

На правах рукописи



ЗИДИХАНОВА Аида Альбертовна

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АМИНОСОДЕРЖАЩИХ
ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Специальность: 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

Научный руководитель:

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

Официальные оппоненты:

Николаева Лариса Андреевна, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», заведующий кафедрой «Инженерная экология и безопасность труда»;

Егошина Ольга Вадимовна, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», доцент кафедры «Теоретические основы теплотехники им. М.П. Вукаловича».

Ведущая организация:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет», г. Ульяновск

Защита состоится «20» декабря 2024 года в 15:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.303.01 при ФГБОУ ВО «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_Zidihanova_A.A..pdf

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

Автореферат разослан « ___ » _____ 20__ г.

Учёный секретарь
диссертационного совета 24.2.303.01



Бушуев
Евгений Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Надежность эксплуатации основного энергетического оборудования играет ключевую роль в обеспечении эффективности, безопасности и технологической независимости энергетики Российской Федерации от внешних факторов. По состоянию на 1 января 2020 года, в Единой энергосистеме России эксплуатировались тепловые электростанции общей установленной мощностью 164 612 МВт, что составляет 66,8 % от общей мощности электростанций ЕЭС России.

В настоящее время на паровых энергетических котлах, котлах-утилизаторах ТЭС широко применяются комплексные реагенты, содержащие азот в составе молекул и определяемые общим названием «амины». Наибольшее распространение в России получили импортные комплексные реагенты торговых марок Helamin BRW-150H, Helamin-906H, Cetamin-V211. Обладая преимуществами при применении на энергоблоках ПГУ, по сравнению с фосфатным и гидратным водно-химическими режимами (ВХР), аминоксодержащий ВХР имеет некоторые недостатки. Прежде всего – это высокая стоимость и значительный расход комплексного реагента. Производители не раскрывают состав компонентов, входящих в комплексные реагенты, что затрудняет разработку нормативных документов по их использованию. В России полномасштабные испытания отечественного реагента ВТИАМИН КР-33 были выполнены на энергоблоке ПГУ-60 с 14 марта 2017 г. и до конца 2017 г, на блоке ПГУ-800 – с октября до конца 2022 г.

В настоящее время наблюдается новый этап в освоении аминоксодержащих ВХР, связанный, прежде всего, с разработкой отечественных комплексных реагентов на основе аминов и поиском условий их наилучшего применения. Некоторые результаты таких исследований приведены в данной работе.

Степень разработанности темы диссертации. Научные исследования по совершенствованию ВХР паровых энергетических котлов на основе аминоксодержащих реагентов (АСР), прежде всего, блоков ПГУ проводились в России с конца прошлого века, вплоть до настоящего времени. Основными разработчиками были крупные организации ВТИ и МЭИ, а также небольшие предприятия типа «Хеламин проект», которые занимались внедрением АСР на основе импортных реагентов. Первой работой по исследованию АСР на основе отечественных компонентов – аналогов импортных реагентов были разработки ВТИ (Сулов С.Ю., Кириллина А.В., Сергеев И.А.), которые легли в основу при создании комплексного реагента ВТИАМИН КР-33

(патент РФ №2557036 от 20.07.2015 г., Бюл. №20). Ряд работ по изучению свойств нейтрализующих аминов, как составной части аминокислотсодержащих реагентов, представлен фирмой «Траверс» под руководством Гусевой О.В., начиная с публикации патента РФ №2500835 (10.12.2013 г.) и включая диссертационную работу Бутаковой М.В. (МЭИ, 2020 г.). Обобщая результаты научных исследований, можно заключить, что магистральным направлением решения проблем предотвращения отложений и коррозии в системах теплообмена на ТЭС является разработка и применение отечественных комплексных реагентов широкого спектра действия.

Целью диссертации является повышение эффективности водно-химического режима систем основных контуров ТЭС с использованием новых отечественных реагентов семейства ВТИАМИН для снижения интенсивности образования отложений и коррозии на теплопередающих поверхностях в широком диапазоне параметров теплоэнергетического оборудования.

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

1. Обобщение результатов исследований и промышленных испытаний комплексных реагентов для ведения водно-химического режима на энергетических котлах различного давления и имеющих индивидуальные особенности эксплуатации.

2. Разработка комплексной методики оценки защитных свойств пленкообразующих аминов (ПОА) для лабораторных исследований и промышленных испытаний свойств аминокислотсодержащих реагентов в условиях работы теплоэнергетических установок.

3. Исследование пассивирующих свойств комплексных реагентов и индивидуальных компонентов, а также их термической стойкости.

4. Разработка новых АСР, способных заменить импортные аналоги, проведение опытно-промышленных испытаний ВХР на их основе на ряде паровых энергетических котлов и котлов-утилизаторов электростанций и промышленных предприятий.

5. Обеспечение условий импортозамещения, оценка эффективности и технико-экономического эффекта при ведении водно-химического режима с использованием новых комплексных реагентов на промышленных объектах.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы»: **в части направлений исследований** – пункту 1: «Разработка научных подходов исследования общих свойств и принципов функционирования ... показателей качества ...»

энергетических установок на органическом топливе ...»; пункту 2: «...натуральные исследования физико-химических и рабочих процессов, протекающих в энергетических системах и установках на органическом топливе...»; пункту 3: «Разработка, исследование... новых технологий ... водно-химических режимов...».

Научная новизна работы:

1. Разработан метод формирования компонентного состава и оценки защитных свойств комплексного аминосодержащего реагента (АСР) в условиях контакта водной среды с поверхностями в широком диапазоне параметров теплоэнергетических установок, отличающийся тем, что подбор пленкообразующих аминов (ПОА) в комплексный реагент производится с учетом качества водного теплоносителя, термостойкости амина и вида металла конкретной теплоэнергетической установки. Оценка защитных свойств АСР производится как с использованием известных методик («капельный метод» по РД 153-34.0-37.411-2001, определение удельной сорбции ПОА по РД 34.20.596-97), так и с применением разработанной с участием автора аттестованной «Методики измерения массовой концентрации барьерных веществ аминной природы» с ГСО, повышающей достоверность анализа и исключающей применение прекурсора (уксусной кислоты).

2. Получены новые данные о свойствах ПОА по результатам лабораторных высокотемпературных исследований на образцах двух видов стали, используемых в качестве конструкционных материалов на теплоэнергетическом оборудовании.

3. Разработан новый вид водно-химического режима на основе комплексных реагентов ВТИАМИН, включающих пленкообразующие, нейтрализующие амины и дисперсанты, отличающихся использованием отечественной рецептуры и превосходящих по основным свойствам импортные аналоги для широкого спектра теплоэнергетических параметров и парогенерирующих установок. Разработаны рекомендуемые нормы качества теплоносителя при ведении аминосодержащего водно-химического режима.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке и обосновании расчетно-экспериментального метода, позволяющего дать качественную и количественную оценку состояния аминного водно-химического режима основного теплоэнергетического оборудования ТЭС по показателям, характеризующим коррозию конструкционных элементов и возможность образования отложений на поверхности теплообмена.

Практическая значимость результатов работы:

1. Исследованы адсорбционные свойства и термостойкость ряда аминокислотсодержащих реагентов – ПОА, применяемых для эффективного водно-химического режима паровых энергетических котлов разного типа, включая котлы-утилизаторы ПГУ.

2. Разработаны отечественные комплексные реагенты марки ВТИАМИН – заменители импортных реагентов Хеламин, Цетамин и др., и обеспечивающие нормативное качество водного теплоносителя ТЭС.

3. Разработанная методика оценки защитных свойств аминокислотсодержащих реагентов и результаты лабораторных исследований и опытно-промышленных испытаний могут быть использованы для разработки нормативных и руководящих документов по ведению АСР (аминокислотсодержащего ВХР) различных типов паровых энергетических установок.

Методология и методы исследования определяются целью и задачами работы, сложившимися научными подходами и направлены на ускоренное освоение нового водно-химического режима основного теплоэнергетического оборудования ТЭС. По существу, методология базируется на разработке расчетно-аналитического метода, основанного на достоверных и воспроизводимых данных о состоянии водного режима с применением аминокислотсодержащих реагентов, полученных на реальных промышленных объектах с использованием набора стандартных методик определения состава и массы отложений и скорости коррозии образцов-свидетелей.

Степень достоверности результатов проведенных исследований. Достоверность подтверждается использованием апробированных методов и средств физического моделирования химико-технологических процессов теплообменного оборудования, достоверных расчетных методик и методик химического анализа подпиточной, питательной и котловой воды, и пара, ГОСТированных методик оценки скорости коррозии, а также совпадением, в пределах погрешности экспериментальных данных, значений отдельных показателей, полученными разными методами, в т.ч., другими авторами.

Положения, выносимые на защиту:

1) Комплексный метод оценки противокоррозионных защитных свойств ПОА для аминокислотсодержащего ВХР, апробированный в лабораторных и промышленных условиях;

2) Результаты лабораторных исследований адсорбционных свойств и термической стойкости отдельных ПОА и комплексных реагентов в водных растворах при высоких параметрах состояния;

3) Результаты ОПИ аминокислотсодержащих ВХР на различных типах энергетических установок;

4) Результаты сравнения импортных реагентов и отечественных реагентов 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 комплексным методом, в разработке рекомендаций по применению реагентов марки ВТИАМИН для коррекции водно-химических режимов ряда паровых котлов ТЭС, в подготовке публикаций по тематике исследования.

Апробация работы. Результаты работы представлены на X международной научно-технической конференции «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС. Цели и задачи» (г. Москва, ОАО ВТИ, 2023), международной (XXII Всероссийской) научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (Бенардосовские чтения)» (ИГЭУ, г. Иваново, 2023 г.), научно-практической конференции «Теоретические и практические вопросы применения приборов контроля ВХР в энергетике» (г. Нижний Новгород, ООО «ВЗОР», 2019 г.), XXII, XXIII международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (МЭИ, г. Москва, 2016, 2017 г.); научно-технических семинарах кафедры ХХТЭ ИГЭУ (г. Иваново, ИГЭУ, 2023 г.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 15 печатных работ, в том числе 9 статей в изданиях по перечню ВАК, 6 тезисов и полных текстов докладов конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 198 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 114 наименований и 7 приложений. Работа содержит 74 рисунка и 34 таблицы.

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 основных контуров теплоэнергетических установок (паровых котлов различных давлений и котлов-утилизаторов), основанный на использовании традиционных и аминокислотсодержащих реагентов. Основным направлением решения проблем ВХР, коррозии и

отложений, является применение комплексных реагентов (ингибиторов) отечественного производства, обеспечивающих высокий эффект по снижению скорости коррозии и не нарушающих экологические требования промышленной безопасности. Показано, что исследования по применению ингибиторов следует проводить с учетом качества добавочной воды, специфики технологической схемы, процессов и оборудования в условиях их эксплуатации.

Во второй главе представлен методический подход к решению задач исследования. Подход предусматривает разработку нового метода и состоит в создании стендовой установки (лабораторного стенда), объединении методик лабораторных исследований и опытно-промышленных испытаний, с целью определения характеристик существующих и разработки более эффективных ВХР на базе новых отечественных реагентов семейства ВТИАМИН. Схема лабораторных исследований представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. Схема организации лабораторных исследований состояния поверхностей образцов-свидетелей и термической стойкости аминоксодержащих реагентов

Конструкция лабораторного автоклава для испытания образцов стали в среде АСР при повышенных параметрах состояния представлена на рисунке 2.

Основная задача опытно-промышленных испытаний (далее по тексту - ОПИ) аминоксодержащего водно-химического режима решается путем реализации методики ОПИ на конкретном энергетическом объекте: паровом котле, котле-утилизаторе и др. Этапу ОПИ предшествует предварительная оценка состояния рабочего ВХР с

определением интенсивности коррозионных процессов, соответствия качества рабочей среды (питательная и котловая вода, пар) нормативным показателям, соответствия эксплуатации оборудования режимной карте. На основании этого этапа осуществляется подбор отдельных компонентов в состав комплексного реагента и разрабатывается временная режимная карта на период ОПИ.

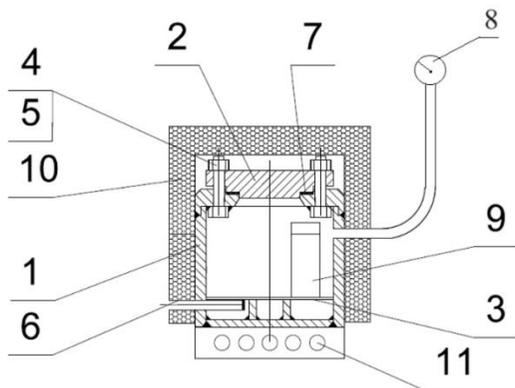


Рисунок 2. Конструкция используемого лабораторного автоклава

1 – корпус (сварной), 2 – крышка, 3 – сетка, 4 – гайки, 5 – шайбы, 6 – трубка термопары, 7 – прокладка, 8 – манометр, 9 – контейнеры проб, 10 – теплоизоляция, 11 – нагреватель.

Период ОПИ может продолжаться от 2-3 месяцев до года с разработкой постоянной режимной карты эксплуатации энергетического объекта. Обработка и оценка результатов ОПИ производится в формате технического документа (отчета) и передается эксплуатационному персоналу.

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».

В третьей главе представлены результаты лабораторных исследований защитных свойств монорастворов пленкообразующих аминов и растворов некоторых композиций при контакте с образцами-свидетелями из стали Ст.20 и Ст.3 после выдержки в автоклаве в течение нескольких часов при максимальной температуре до 450⁰С. Приведены результаты анализа растворов с образцами стали Ст.20 после автоклавирования для девяти растворов при выдержке на температуре 380 °С (общее время пребывания в зоне высоких температур составило 13 часов). Все исследуемые образцы показали снижение массы осадка в

растворе и уменьшение удельной электропроводности раствора (УЭП) по сравнению с контрольным раствором, не содержащим коррекционных компонентов (рисунок 3).

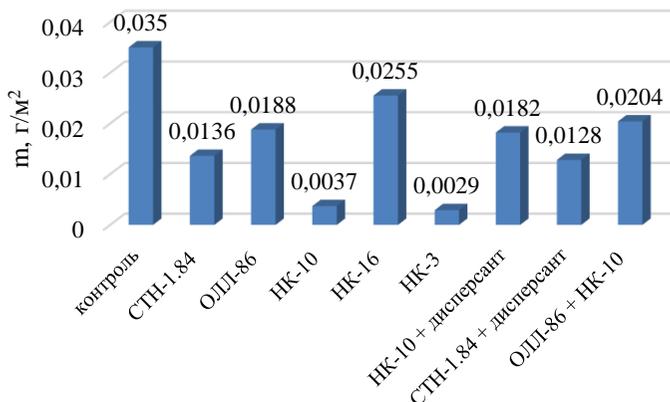


Рисунок 3. Масса осадка исследуемых рабочих растворов

Типы композиций подбирались как возможные компоненты для будущих ингибиторов и как заместители импортных аналогов. Далее на образцах проведена оценка коррозионной стойкости согласно РД 153.34.0-37.411.2001. Наибольшее количество язв наблюдалось в контрольном образце. Результаты оценки коррозионной стойкости образцов капельным методом показаны в таблице 1.

Таблица 1. Оценка коррозионной стойкости исследуемых образцов

№ образца	Наименование образца	Середина	Верх	Низ
0	Контроль	60 сек	10 сек	10 сек
1	СТН-1.84	> 5 мин	1,5 мин	4 мин
2	ОЛЛ-86	>5 мин	3 мин	3 мин
3	НК-10	>5 мин	>5 мин	>5 мин
4	НК-16	>5 мин	>5 мин	4 мин
5	НК-3	3,5 мин	3 мин	>5 мин
6	НК-10 + дисперсант	4,5 мин	>5 мин	>5 мин
7	СТН-1.84 + дисперсант	>5 мин	>5 мин	>5 мин
8	ОЛЛ-86 + НК-10	>5 мин	4,5 мин	>5 мин

Таким образом, по испытаниям можно заключить, что реагент НК-10 в сочетании с ОЛЛ-8 показал хорошие результаты, по состоянию индикаторной пластины, высшую степень коррозионной стойкости защитной пленки, низкую массу осадка и величину УЭП рабочего

раствора. Вещество НК-10 изготавливается на 100%-ом российском сырье, что обеспечивает условие импортозамещения. Компонент НК-10 можно рекомендовать в качестве компонента комплексного реагента и представить к проведению опытно-промышленных испытаний.

В четвертой главе отражены результаты опытно-промышленных испытаний аминосодержащего водно-химического режима с применением реагентов ВТИАМИН и результаты использования предложенного метода оценки его эффективности.

Опытно-промышленные испытания АСР на блоке ПГУ-450

Состав основного оборудования энергоблока ПГУ-450 (рисунок 4):

- Газотурбинные установки ГТЭ-160 (2 шт.);
- Котлы-утилизаторы Е-229/50,2-7,85/0,59-507/227 (2 шт.);
- Паровая турбина К-160-7,5 (1 шт.).

Котел-утилизатор (КУ) двух давлений с естественной циркуляцией горизонтального профиля, с параллельным питанием барабана низкого (БНД) и высокого давления (БВД). Деаэрация конденсата производится в деаэраторе повышенного давления.

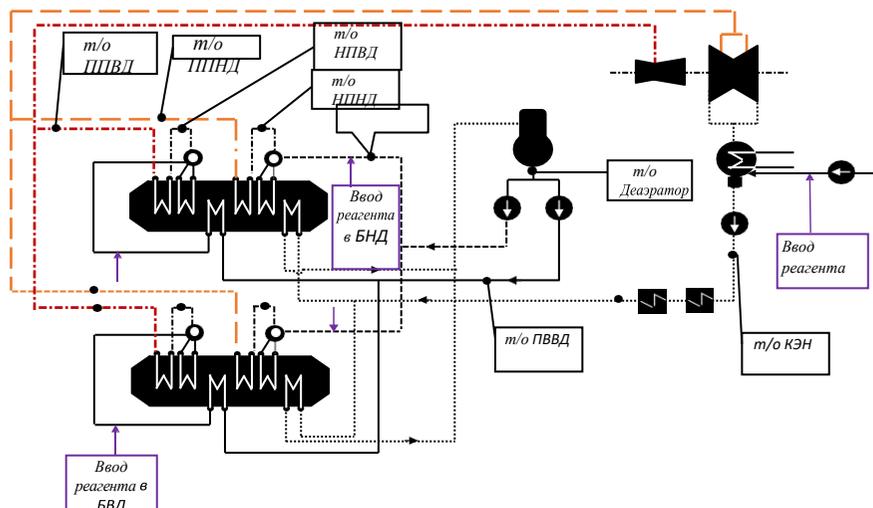


Рисунок 4. Принципиальная тепловая схема энергоблока ПГУ-450 с параллельным питанием водой контура низкого (КНД) и высокого давления (КВД): *m/o* – точка отбора пробы;

--- - питательная вода КНД; ———- питательная вода КВД.

Целью ОПИ, начатых в феврале 2019 года, была замена импортного реагента «Helamin» на отечественный «ВТИАМИН КР-33». Некоторые результаты химико-аналитических измерений показателей качества воды и пара в период ОПИ представлены в таблице 2.

Таблица 2. Данные химического контроля состояния ВХР в период ОПИ на энергоблоке ПГУ–450

Точка отбора пробы	Дата	Измерения				
		pH	χ , мкСм/см	χ_n , мкСм/см	$[Fe]$, мкг/дм ³	$[Na]$, мкг/дм ³
<i>Питательная вода</i>						
ПВ	18.03.19	8,96	3,16	0,28	0,57	2,0
	31.03.19	8,92	3,11	0,31	1,60	2,02
<i>котловая вода</i>						
КВ НД	18.03.19	9,48	9,5	3,20	4,70	3,5
	31.03.19	9,33	9,01	6,21	35,5	-
КВ ВД	18.03.19	9,16	5,13	0,66	47,3	21
	31.03.19	8,95	4,43	0,57	4,7	46
<i>перегретый пар</i>						
ПП НД	18.03.19	8,83	3,17	0,21	-	-
	31.03.19	8,96	3,02	0,24	-	2,6
ПП ВД	18.03.19	8,93	3,20	0,24	-	-
	31.03.19	8,92	3,06	0,38	-	5,9

На основании данных химического контроля показателей качества водно-химического режима КУ ст.№1,2 ПГУ-450 можно сделать вывод о том, что за период работы с применением реагента «ВТИАМИН КР-33» не выявлено нарушений и отклонений водно-химического режима.

По полученным данным по КУ ст.№1 установлено, что:

– величина pH котловой воды контура низкого давления КУ ст.№1 находится в пределах от 9,0 до 9,5;

– величина pH котловой воды контура высокого давления КУ ст.№1 находится в пределах от 8,9 до 9,3;

– содержание железа в котловой воде низкого давления минимально составляло 1,6 мкг/дм³, максимально не превышало значения 60мкг/дм³.

– содержание железа в котловой воде высокого давления не превышало величину 50 мкг/дм³;

– содержание пленкообразующих аминов, определяемое по СТО 34.004-2013, в основном, находилось в избытке до 16 мкг/дм³.

Результаты ОПИ реагента «ВТИАМИН» на барабанном энергетическом котле ($P_6=13,8$ МПа).

Основное оборудование ТЭЦ, в частности котлы БКЗ-420-140 НГМ, характеризуется переменным режимом эксплуатации, без четко обозначенного графика пусков и остановов, что не позволяет применять предусмотренные методы консервации. При обследовании ВХР ТЭЦ была найдена возможность оптимизировать существующий на ТЭЦ ВХР основного оборудования. Предлагалось, сохраняя имеющийся налаженный водно-химический режим с использованием аммиака,

элиминокса и фосфатов, изменить подход к консервации и защите всего конденсатно-питательного тракта от коррозионных процессов.

ОПИ комбинированной технологии ведения совмещенного аммиачно-гидразинно-полиаминного (КТ АГП) водно-химического режима на ТЭЦ состояли из следующих этапов:

1. Обследование ВХР, в ходе которого поддерживался традиционный тип водно-химического режима с дозированием раствора аммиака, элиминокса и тринатрийфосфата.

2. Опытный этап – использование существующего ВХР с одновременным дозированием реагента ВТИАМИН КР-31 в барабан котлоагрегата ПК-2.

В течение всего опытного этапа такие показатели ВХР, как pH, электропроводность (рисунок 5), содержание ионов натрия, кремния, аммиака находились в стабильных нормируемых значениях.

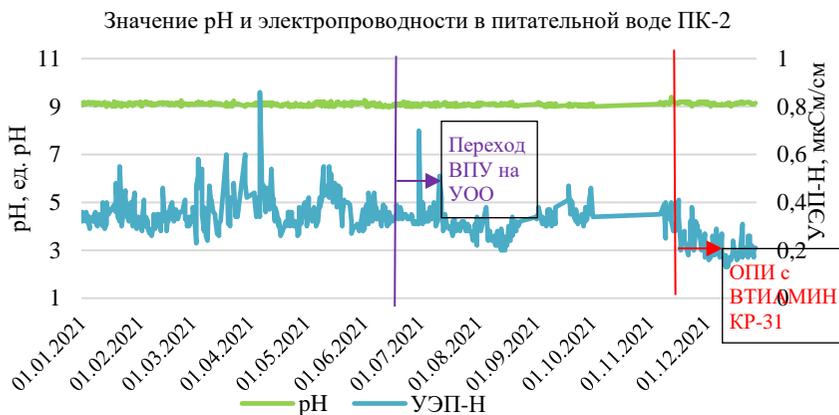


Рисунок 5. Значение pH и электропроводности в питательной воде в период обоих этапов ОПИ

В котловой воде чистого и солевых отсеков концентрация реагента ВТИАМИН КР-31 наблюдалась практически на достаточном уровне (не менее 10 мкг/дм^3) для формирования защитной пленки. В перегретом паре и конденсате избыток реагента присутствовал периодически, в предельно малых количествах и только на начальном этапе дозирования. С учетом поддержания избытка полиаминов в котловой и питательной воде на уровне не более 100 мкг/дм^3 , полиамины в паре и конденсате присутствовали в концентрациях ниже предела определения, однако достаточных для формирования защитного слоя в паровом и конденсатном тракте. Для проведения сравнительной оценки состояния поверхностей нагрева на данном этапе ОПИ были

произведены вырезки образцов экранных труб. Вырезанные образцы подвергали испытанию на коррозионную устойчивость в условиях агрессивной коррозионной среды, имитирующей мокрую атмосферную коррозию. В результате проведения ОПИ с применением реагента ВТИАМИН КР-31 экранные поверхности котла показали во всех тестах высшую степень защиты от коррозии.

Таким образом, в результате проведения ОПИ комбинированной технологии ведения совмещенного аммиачно-гидразинно-полиаминного ВХР на ТЭЦ с дозированием реагента ВТИАМИН КР-31 на котлоагрегате БКЗ-420-140НГМ все поставленные цели и задачи выполнены. При этом показано, что комбинированная технология обеспечивает защиту поверхностей теплоэнергетического оборудования от различных коррозионных процессов, в т.ч. в периоды его планового или вынужденного простоя.

ОПИ реагента «ВТИАМИН КР-34» на паровых котлах среднего давления ($P_0=3,9$ МПа)

ОПИ ответственного комплексного реагента ВТИАМИН КР-34 проведены на паровом котле среднего давления ДЕ-30-39, и в работе представлены результаты анализов проб водного теплоносителя и индикаторов коррозии, установленных в барабаны котлов, работающих на новом аминоксодержащем водно-химическом режиме.

На паровых котлах среднего давления применялся щелочно-фосфатный ВХР с высокой гидратной щелочностью. В процессе обследования установлено, что питательная вода имеет переменное качество, которое меняется в довольно широком диапазоне по показателям рН, солесодержания, содержания железа и растворенного кислорода. Содержание кислорода в разы превышало нормируемое значение (30 мкг/дм³) и достигало значений в 5200 мкг/дм³ (табл. 3). Поддерживаемый тип ВХР не выполнял свою задачу в части защиты поверхностей нагрева котлоагрегата от образования отложений и коррозии, о чем свидетельствовал осмотр верхнего и нижнего барабанов.

Специалистами ООО «ВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» при активном участии автора был разработан и апробирован альтернативный ВХР с использованием комплексного реагента ВТИАМИН КР-34 взамен традиционно применяемого фосфатирования котловой воды.

В состав комплексного реагента ВТИАМИН КР-34 входят дисперсанты и барьерные органические вещества аминной природы. Аминные вещества обеспечивают образование защитной пленки на поверхностях теплообмена. Компоненты, входящие в состав реагента, не оказывают значительного влияния по снижению рН питательной и котловой воды, но способны предохранить поверхности нагрева от

осаждения веществ различной природы, обладают хорошим отмывочным эффектом по отношению к карбонатным и железистоокисным отложениям.

Таблица 3. Показатели качества питательной и котловой воды котлоагрегата ДЕ-30-39 ст.№4 на момент начала ОПИ с ВТИАМИН КР-34

Показатель	Питательная вода		Котловая вода	
	До ОПИ	После ОПИ	До ОПИ	После ОПИ
рН	10,78	10,45	11,77	11,84
Солесодержание, мг/дм ³	90	90,1	803	807
Щелочность по фенолфталеину, мг-экв/дм ³	0,8	1,1	7,1	8,5
Щелочность общая, мг-экв/дм ³	0,9	1,1	7,7	8,7
Жесткость общая, мг-экв/дм ³	0,01	0,01		-
Концентрация О ₂ , мкг/дм ³	420	5200		-
Концентрация Fe, мкг/дм ³	320	0,06	390	0,08

Исходя из данных (таблица 3), в результате ОПИ с дозированием ВТИАМИН КР-34 в питательную воду парового котла ДЕ-30-39 ст.№4 наблюдается тенденция по снижению и стабилизации содержания растворенного железа, как в питательной, так и в котловой воде, несмотря на значительно возросшее содержание кислорода вследствие исключения из схемы термической деаэрации. В период ОПИ проводилось сравнение исследуемого ВХР с традиционным (фосфатным) ВХР на основании обработки индикаторов коррозии, установленных в барабаны параллельно работающим паровым котлов ДЕ-30-39, эксплуатируемых при различных реагентных режимах.

Полученные данные обрабатывались по стандартной методике и представлены в таблице 4. Анализ полученных результатов подтверждает высокую степень эффективности реагента ВТИАМИН КР-34 в части защиты водопарового тракта котла от коррозионных процессов в сложных условиях его работы.

Таблица 4. Сравнение скоростей коррозии образцов-свидетелей при различных ВХР

Параметр	ПК №4 ВХР: ВТИАМИН КР-34		ПК №1 ВХР: Фосфатирование	
	Водяная зона барабана	Паровая зона барабана	Водяная зона барабана	Паровая зона барабана
Скорость общей коррозии, мм/год	0,0266	0,0108	0,1230	0,2427
Характеристика общей коррозии	Очень слабая	Очень слабая	Сильная	Сильная

Результаты ОПИ на различных типах паровых энергетических котлов с разным сроком эксплуатации показали следующее:

- отечественные комплексные реагенты марки ВТИАМИН способны заменить импортные аналоги (Хеламин, Цетамин и др.) с повышением качества водно-химического режима на всех типах исследованного оборудования;

- состав выбранного комплексного аминосодержащего реагента (определяющий его главные значимые свойства) постоянен и определяется составом оборудования, тепловой схемой, качеством питательной воды. Дополнительные компоненты в незначительных количествах (менее 0,5%) могут добавляться для усиления свойств основного состава и/или нивелирования изменяющихся факторов среды (качества теплоносителя, условий эксплуатации оборудования);

- раствор комплексного реагента может дозироваться в одну или две точки тепловой схемы на базе штатного оборудования;

- дальнейшие исследования в промышленных условиях реагентов марки ВТИАМИН позволят унифицировать состав и дозировки реагентов по типам оборудования и условиям его эксплуатации.

В пятой главе дано обоснование эффективности применения комплексных реагентов ВТИАМИН, замещающих импортные аналоги Helamin, Cetamine и др. Разработанные реагенты ВТИАМИН предназначены для обработки пароводяного тракта энергетических котлов и котлов-утилизаторов давлением от 1,4 до 16,0 МПа.

Был выполнен расчет технико-экономического эффекта при переходе на ВХР с применением реагента ВТИАМИН для энергоблоков Черепетской ГРЭС и Приуфимской ТЭЦ с подтверждением эффективности такого перехода.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Обобщены результаты исследований и промышленных испытаний комплексных АСР для ведения водно-химического режима на энергетических котлах различного давления (в т.ч. КУ блоков ПГУ) и имеющих индивидуальные особенности эксплуатации.

2. Разработана комплексная методика исследования состояния водно-химического режима основных контуров паровых энергетических котлов, давлением от 1,4 до 16,0 МПа, включая котлы-утилизаторы ПГУ, которая позволяет в условиях работы электростанции выполнить количественную оценку эффективности как применяемых, так и вновь созданных реагентов, в частности, реагентов ВТИАМИН. Методика обеспечивает возможность исследования образования защитной пленки на поверхностях теплообмена, скорости

коррозии и качества водного теплоносителя с получением показателей эффективности водно-химического режима на базе физико-химических анализов образцов-свидетелей и вырезок экранных труб.

3. Проведены лабораторные исследования пассивирующей способности и термической стойкости ряда аминокислотосодержащих реагентов в водных монорастворах и растворах их смеси при температурах до 450°C и даны рекомендации по их использованию в составах комплексных реагентов-ингибиторов коррозии и отложений в условиях работы энергетических установок.

4. Разработаны новые аминокислотосодержащие реагенты марки ВТИАМИН, способные заменить импортные аналоги, и проведены на их основе опытно-промышленные испытания ВХР на ряде паровых энергетических котлов и котлов-утилизаторов электростанций и промышленных предприятий.

Результаты ОПИ с применением реагентов ВТИАМИН показали:

– высокое качество пара энергоблока ПГУ-450 ($УЭП_n < 0,3$ мкСм/см и $pH = 8,8 \div 9,1$) при замене реагента Helamin на реагент ВТИАМИН;

– эффективность применения комплексной технологии аммиачно-гидразинно-полиаминного ВХР на котлах ПуТЭЦ с образованием защитной пленки по пароводяному тракту, позволяющей отказаться от проведения мероприятий по консервации и расконсервации оборудования;

– возможность снижения скорости коррозии и массы отложений на поверхностях теплообмена паровых котлов среднего давления на примере котла ДЕ-30-39, и котлах с сезонным режимом работы на примере котла Е-120-7,0-500ГМ, с получением пара нормативного качества.

5. Дано технико-экономическое обоснование эффективности использования комплексных реагентов ВТИАМИН в рамках аминокислотосодержащего ВХР по отношению к принятому водно-химическому режиму.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в изданиях по списку ВАК

1. Ларин, Б.М. Импортозамещающие технологии водно-химического режима на основе аминокислотосодержащих реагентов для котлов ПГУ / Б.М. Ларин, С.Ю. Сулов, А.В. Кирилина, В.В. Козловский, А.А. Зидиханова // Теплоэнергетика. – 2023. – № 6. – С. 74-81.

2. Кирилина, А.В. Импортозамещение реагентов для организации водно-химического режима блоков ПГУ с последовательной схемой /

А.В. Кирилина, С.Ю. Суслов, Е.Ф. Нартя, В.В. Козловский, **А.А. Зидиханова** // Электрические станции. – 2023. – № 1 (1098). – С.15-21.

3. Кирилина, А.В. Модернизация водно-химического режима паровых барабанных котлов на основе реагента ВТИАМИН / А.В. Кирилина, С.Ю. Суслов, Е.Ф. Нартя, В.В. Козловский, **А.А. Зидиханова**, А.Б. Ларин // Электрические станции. – 2023. – № 3 (1100). – С.9-17.

4. Суслов, С.Ю. Комбинированный водно-химический режим на энергоблоках с большой подпиткой / С.Ю. Суслов, А.В. Кирилина, Е.Ф. Нартя, **А.А. Зидиханова**, В.В. Козловский // Электрические станции. – 2023. – № 6 (1103). – С. 8-11.

5. Суслов, С.Ю. Водно-химический режим с использованием ВТИАМИН для блоков ПГУ / С.Ю. Суслов, А.В. Кирилина, Е.Ф. Нартя, **А.А. Зидиханова**, В.В. Козловский // Электрические станции. – 2023. – № 8 (1105). – С.9-13.

6. Ларин, Б.М. Химический контроль органических веществ для коррекции водно-химических режимов на ТЭС / Б.М. Ларин, С.Ю. Суслов, А.В. Кирилина, Е.Ф. Нартя, **А.А. Зидиханова**, А.Б. Ларин, Е.Г. Ухалова // Электрические станции. – 2024. – № 3 (1112). – С.20-29.

7. Суслов, С.Ю. Защита оборудования от коррозии: ПОА вместо гидразина / С.Ю. Суслов, А.В. Кирилина, Е.Ф. Нартя, **А.А. Зидиханова** // Энергетик. – 2024 – №2. – С.36-39.

8. **Зидиханова, А.А.** Ведение ВХР с применением реагентов ВТИАМИН на ТЭС с сезонным режимом работы / **А.А. Зидиханова**, А.Б. Ларин // Вестник ИГЭУ. – 2024. – №. 2. – С. 5-14.

9. Суслов, С.Ю. Органические вещества в тракте ТЭС и их контроль / С.Ю. Суслов, А.В. Кирилина, Е.Ф. Нартя, **А.А. Зидиханова**, Б.М. Ларин, А.Б. Ларин, Е.Г. Ухалова // Энергетик. – 2024. – №6. – С.25-30.

Тезисы и полные тексты докладов конференций

10. **А.А. Зидиханова А.А.** Оценка внедрения водно-химического режима на основе пленкообразующих аминов / **А.А. Зидиханова**, К.А. Орлов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тезисы докладов Двадцать второй международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 25–26 февраля 2016 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2016. – С. 125.

11. **А.А. Зидиханова** Анализ ведения водно-химического режима с использованием реагентов на основе пленкообразующих аминов в котле-утилизаторе парогазовой установки / **А.А. Зидиханова**, К.А. Орлов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тезисы

докладов Двадцать третьей международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 2-3 марта 2017 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2017. – С. 139.

12. **А.А. Зидиханова** Проведение опытно-промышленных испытаний по применению комплексного реагента для обработки сетевой воды контура теплофикационной установки Уфимской ТЭЦ-3 / **Зидиханова А.А.**, Козловский В.В., Нартя Е.Ф., Кирилина А.В., Суслов С.Ю. // V Научно-практическая конференция «Теоретические и практические вопросы применения приборов контроля ВХР в энергетике»: тезисы докладов, г. Нижний Новгород, 18-20 сентября 2019 г. – Нижний Новгород, 2019. – С.33.

13. А.Б. Ларин, **А.А. Зидиханова** Водно-химический режим паровых барабанных котлов на основе реагента «ВТИАМИН» / А.Б. Ларин, **А.А. Зидиханова** / Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXII Бенардосовские чтения): Материалы международной научно-технической конференции, Иваново, 31 мая – 02 июня 2023 года. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2023. – С. 101-103.

14. А.Б. Ларин, **А.А. Зидиханова** Водно-химический режим энергоблоков ПГУ на основе аминоксодержащих реагентов / А.Б. Ларин, **А.А. Зидиханова** // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXII Бенардосовские чтения): Материалы международной научно-технической конференции, Иваново, 31 мая - 2 июня 2023 года – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2023. – С.103-105.

15. **А.А. Зидиханова** Водно-химический режим с применением аминоксодержащих реагентов на ТЭЦ с сезонным режимом работы/ **А.А. Зидиханова**, А.Б. Ларин // X международная научно-техническая конференция «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС. Цели и задачи»: сборник докладов, Москва, 14 декабря 2023 г. – Москва, ОАО «ВТИ», 2023. – С.62-70.

ЗИДИХАНОВА Аида Альбертовна
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АМИНОСОДЕРЖАЩИХ ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ
РЕЖИМОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 14.10.2024 г. Формат 60x84¹/₁₆ Печать плоская. Усл. Печ. л. 1,1,16.

Тираж 100 экз. Заказ №185.

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