На правах рукописи



СУСЛОВ Сергей Юрьевич

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ РЕАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ АМИНОВ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ ТЭС И КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ ЭНЕРГОБЛОКОВ ПГУ

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново 2013

Работа выполнена в Отделении водно-химических процессов тепломеханического оборудования ТЭС Открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ»)

Научный руководитель:
Кирилина Анастасия Васильевна, кандидат технических наук

Официальные оппоненты:
Бушуев Евгений Николаевич, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов»
Верховский Андрей Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», доцент кафедры «Технология воды и топлива»

Ведущая организация:
ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет»

Защита состоится «23» декабря 2013 г. в $14^{.00}$ часов на заседании диссертационного совета Д 212.064.01 при ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина» по адресу: 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, корпус «Б», аудитория 237.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, Ученый совет ИГЭУ. Тел.: (4932)38-57-12, 26-98-61, факс: (4932)38-57-01.
e-mail: uch_sovet@ispu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

Автореферат разослан «…» ноября 2013г

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.064.01,
доктор технических наук, профессор Шувалов Сергей Ильич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В настоящее время накоплен значительный отечественный и зарубежный опыт эксплуатации теплоэнергетического оборудования на аминосодержащих реагентах. Традиционно применяемые реагенты: аммиак, гидразин и фосфаты не могут в полной мере удовлетворять современным требованиям к водно-химическим режимам.

Преимущество водно-химического режима (ВХР) с применением аминов заключается в его многофункциональности. Помимо ведения самого ВХР обеспечивается консервация внутренних поверхностей барабанного энергетического котла, котла-утилизатора блока с парогазовыми установками (ПГУ), обеспечивается защита проточной части турбины и системы регенерации. С учетом положительных свойств комплексных реагентов (КР) на основе аминов, необходимо разработать рекомендации по их применению в зависимости от состава. Требуется изучить влияние компонентов на формирование защитных пленок на поверхностях нагрева, влияние КР на ионообменные материалы установок обработки воды, предложить схему дозировки растворов реагентов в паро-водяной тракт энергоблока и способы контроля ВХР в соответствии с нормативами.

Целью работы является разработка и обеспечение требований водно-химического режима, защита поверхностей нагрева паровых энергетических котлов и котлов-утилизаторов энергоблоков ПГУ при коррекционной обработке аминосодержащими реагентами и подпитке котлов обессоленной водой за счет использования свойств комплексных аминосодержащих реагентов.

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

1. Защита поверхностей нагрева котлов от коррозии и накипеобразования путем создания стойких магнетито-аминовых пленок при ведении водно-химического режима на основе аминосодержащих реагентов.

2. Определение оптимальной схемы дозировки аминосодержащих реагентов в зависимости от тепловой схемы котла и обеспечение нормируемых показателей качества теплоносителя.

3. Разработка норм и методов контроля ВХР с применением аминов.

4. Обеспечение эффективной безаварийной работы оборудования средствами ВХР в различных режимах эксплуатации, адаптированных к современным условиям диспетчерского регулирования нагрузки на энергоблоках ТЭС с форсированным снижением и набором нагрузки.

Научная новизна работы

1. Получены новые данные, позволяющие обосновать возможность применения аминосодержащих реагентов с учетом их свойств для ведения водно-химического режима и обеспечения антикоррозионной защиты поверхностей нагрева парового тракта котла.

2. Получены новые данные, подтверждающие высокие пассивирующие свойства комплексных аминосодержащих реагентов группы цетаминовых в конденсатно-питательном тракте и испарительных поверхностях при ведении водно-химического режима на их основе.

3. Получены новые данные о влиянии компонентов КР на катиониты, позволяющие дать рекомендации по выбору реагентов при их обработке на установках очистки (блочные или автономные обессоливающие установки) конденсата ТЭС.

Теоретическая и практическая ценность работы

1. Установлено влияние композиции комплексных аминосодержащих реагентов, их концентрации и условий применения (температуры, давления, среды) на металл при очистке и консервации оборудования.

2. Установлено влияние компонентов различных марок аминосодержащих реагентов на ионообменные материалы при наличии в схеме энергоблока обессоливающей установки (блочной или автономной).

3. Разработаны рекомендации по выбору и дозировке аминосодержащих реагентов, обеспечивающие работу тепломеханического оборудования без коррозии и накипеобразования.

4. Разработан проект стандарта организации (СТО), регламентирующий использование комплексных аминосодержащих реагентов на тепловых электростанциях.

Положения, выносимые на защиту

- рекомендации по использованию различных композиций ПОА и нейтрализующих аминов в комплексных реагентах для ведения водно-химического режима теплоэнергетического оборудования;

- результаты лабораторных исследований и промышленных испытаний защитных свойств пленок, созданных на поверхностях металла теплоэнергетического оборудования с помощью композиций аминов;

- схема дозировки растворов комплексных реагентов в тракт энергоблоков в зависимости от их тепловой схемы;

- результаты промышленных испытаний ведения водно-химического режима с использованием комплексных реагентов;

- комплексная методика исследования влияния КР на основе аминов на состояние ВХР котлов ТЭС.

Соответствие паспорту специальности. Работа соответствует паспорту специальности: ***в части формулы специальности:*** «проблемы совершенствования … и обоснования новых технологий … и методов оптимизации …водных режимов»; ***в части области исследования*** – пункту 2. «Исследование, … моделирование процессов, протекающих в агрегатах, системах и общем цикле тепловых электростанций»; пункту 3. «Разработка, исследование … и освоение новых технологий … водных и химических режимов»; пункту 5. «Повышение надежности и рабочего ресурса агрегатов, систем …»; пункту 6. «Разработка вопросов эксплуатации систем и оборудования тепловых электростанций».

Достоверность и обоснованность результатов работы обеспечивается использованием сертифицированных комплексных аминосодержащих реагентов и стандартизованных методов анализа растворов и пленок, совпадением данных лабораторных исследований на стендовых моделях с результатами промышленных испытаний, согласованием отдельных результатов с данными других авторов и результатами исследований других пленкообразующих аминов (ПОА).

Реализация результатов работы. Результаты работы реализованы при выдаче рекомендаций по проектированию узлов коррекционной обработки, во время предпусковых (Уфимская ТЭЦ-2 и Киришская ГРЭС) и эксплуатационных (Молдавская ГРЭС) отмывок и при ведении водно-химического режима с применением комплексных реагентов на основе аминов. Результаты работы использованы при разработке проекта стандарта организации по ведению водно-химического режима с применением комплексных реагентов.

Личное участие автора. При непосредственном участии автора были выполнены исследования свойств различных аминосодержащих реагентов в лабораторных и промышленных условиях. Автор принимал активное участие в разработке схем коррекционной обработки теплоносителя энергоблоков ТЭС, разрабатывал проектные и схемные решения по предпусковым и эксплуатационным очисткам оборудования ТЭС, являлся руководителем работ по внедрению аминосодержащих реагентов на энергоблоке ПГУ-800 Киришской ГРЭС, ПГУ-60 Уфимской ТЭЦ-2, энергоблоке 200МВт Молдавской ГРЭС и на ряде других.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы прошли апробацию на международных конференциях и отраслевых научно-технических совещаниях, в том числе:

Международная конференция "Опыт внедрения новых водоподготовительных установок и водно-химические режимы ТЭС", (19–22 мая 2008 года, г. Москва, ОАО «ВТИ»); Международная конференция «Водоподготовка и водно-химические режимы», (25 – 28 мая 2009 года, г. Москва, ОАО «ВТИ»); Международное научно-техническое совещание «Применение воды в теплоэнергетике», (17 – 19 мая 2011 года, г. Москва, ОАО «ВТИ»); Международная конференция «Водоподготовка и водно-химические режимы. Цели и задачи», (21 – 23 мая 2013 год, г. Москва, ОАО «ВТИ»); 3rd International Conference "Interaction of Organics and Organic Cycle Treatment Chemicals with Water, Steam, and Materials", (май 2012, Германия, г. Хейдельберг);

Также по результатам исследований и промышленного внедрения получены положительные решения ФИПС на разработанные патенты: «Способ организации водно-химического режима на основе комплексного аминосодержащего реагента для пароводяного тракта энергоблока с парогазовыми установками», «Способ эксплуатационной очистки и пассивации внутренней поверхности котельных труб энергетического барабанного котла и способ эксплуатационной очистки и пассивации внутренней поверхно-

сти котельных труб энергетического котла-утилизатора парогазовой установки (варианты)».

Публикации. Материалы диссертации нашли отражение в 23 опубликованных работах, в том числе в восьми статьях в ведущих рецензируемых журналах (по списку ВАК) и в 15 статьях в сборниках докладов конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения по работе, списка использованных источников из 98 наименований и приложений. Работа изложена на 128 страницах машинописного текста, включает 53 рисунка и 3 таблицы, кроме того приложения на 28 стр.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель и задачи диссертации, научная новизна, практическая значимость полученных результатов, основные положения, выносимые на защиту, обоснована принадлежность диссертации заявленной научной специальности, достоверность результатов и дана общая характеристика структуры работы.

В первой главе приведен обзор литературных данных по проблемам эксплуатации как энергетических котлов, так и котлов-утилизаторов энергоблоков ПГУ, на которых применяются традиционные водно-химические режимы. Показано, что применявшийся многие годы подход к водно-химическим режимам котлов-утилизаторов на основе норм для энергетических барабанных котлов, сжигающих органическое топливо, требует пересмотра. Показаны основные проблемы повреждаемости и «узкие» места при эксплуатации оборудования, связанные с ведением традиционных водно-химических режимов.

К таким проблемам следует отнести коррозионно-эрозионный износ металла котлов в одно- и двухфазной среде при ведении водно-химического режима с использованием только летучих щелочей для всего тракта, в том числе и котловой воды, и щелочное охрупчивание при ведении водно-химического режима с применением твердых (нелетучих) щелочей – для котловой воды.

Проведен анализ мероприятий по решению указанных проблем повреждаемости (ужесточение требований к качеству добавочной воды, увеличение величины pH в контурах при ведении аммиачного режима, изменение водно-химических режимов) и их эффективность. Показано, почему проводимые мероприятия не могут решить проблему повреждаемости, в частности, в испарительных поверхностях котлов-утилизаторов энергоблоков ПГУ.

Выполнен обзор альтернативных водно-химических режимов с использованием органических добавок, начиная с самых простых (зерновой крахмал), и заканчивая последними – кислородопоглотителями на основе аминов, нейтрализующими аминами, пленкообразующими аминами.

Анализ опыта эксплуатации традиционных котлов барабанного типа и котлов-утилизаторов комбинированных схем показывает, что эти аминосодержащие реагенты позволят снять ряд проблем, в том числе и проблему коррозионно-эрозионного износа. Особую роль при ведении аминосодержащего режима имеет правильный выбор компонентного состава комплексного реагента.

Показан методический подход к выбору аминосодержащих реагентов, который требует учитывать качество добавочной воды для подпитки котлов, соотношение в реагентах нейтрализующих аминов, значение коэффициента распределения для ведения водно-химического режима, функции каждого компонента, важность их количества в каждом комплексном реагенте. Представлен опыт эксплуатации российских ТЭС с блоками ПГУ, применяющих различные водные режимы, в том числе и с использованием для коррекционной обработки комплексных реагентов на основе аминов. Особое внимание уделено нейтрализующим аминам, показаны коэффициенты распределения наиболее распространенных из них, а также диспергантам, играющим большую роль при их использовании для ряда операций.

В заключение сделаны обобщающие выводы по рассмотренному материалу, на основании которых сформулированы задачи работы.

Во второй главе проведено методическое обоснование выполненных экспериментов, рассматриваются предпосылки использования аминов для ведения водно-химического режима и создания защитных пленок.

Применение нейтрализующих аминов вместо аммиака позволяет снизить процессы коррозионно-эрозионного износа во втором контуре атомных электростанций. На некоторых тепловых электростанциях среднего давления используются смеси нейтрализующих аминов, как правило, циклогексиламина и морфолина, а также амины-кислородопоглотители (диэтилгидроксиламин).

Однако эти реагенты применяются только для ведения водно-химического режима одного контура. Для ведения водно-химического режима котла-утилизатора, имеющего два или три контура циркуляции, требуется такой реагент, который мог бы обеспечить требуемую величину pH как в контурах циркуляции, так и во всех остальных точках тракта. Реагент, содержащий оптимальную пропорцию нейтрализующих аминов, способен поддерживать pH в котловой воде при различных давлениях.

Применение аминов с коэффициентом распределения более низким, чем у аммиака, позволит поднять величину pH в жидких пленках испарительных контуров, сохраняя высокие значения величины pH в паре. Пленкообразующие амины, входящие в состав комплексных реагентов и обладающие высокой температурой конденсации, также могут внести свой вклад в снижение коррозионно-эрозионных процессов за счет модификации свойств поверхности труб и изменения свойств собственно теплоносителя. Показана возможность создания защитных пленок на трубопроводах даже при незначительном содержании реагента в тракте.

Для проведения экспериментальных исследований были разработаны и созданы стенды для проведения работ по трем направлениям.

1 Для определения возможностей работы КР при аминном ВХР в паровой среде, был разработан стенд (Рис. 1) и выбраны параметры его работы, марки применяемых реагентов (цетамин, эпурамин) и методы оценки их эффективности применительно к условиям эксплуатации паровых котлов и котлов-утилизаторов блоков ПГУ. Рабочая температура водокислородной среды 180÷300 ºС, давление начальное 25,0 МПа редуцировалось до 7,0 – 15,0 МПа, скорость движения потока регулировалась в соответствии с программой.



Рис. .1 Экспериментальный стенд ВТИ

В процессе исследований определялись очищающие и пассивирующие свойства различных марок комплексных реагентов, проводились исследования и оптимизация регламента ведения водно-химического режима с применением аминосодержащих реагентов путем оценки их влияния на формирование защитной пленки.

На установке предусмотрена система подачи аминосодержащего реагента в контур перед экспериментальным участком, состоящая из насосов-дозаторов с регулируемой производительностью и бака-мерника рабочего раствора. Для определения концентрации реагента в рабочей среде стенда предусмотрен отбор пробы перед регулирующими расход теплоносителя вентилями.

2 Для проведения исследований по определению возможности формирования защитных молекулярных слоев пленкообразующими аминами был использован экспериментальный стенд НЦ «Изностойскость».

При выполнении стендовых исследований по изучению взаимодействия металла с жидкой фазой теплоносителя, для получения сравнения эффективности аминосодержащих реагентов при создании защитных пленок был выбран реагент с достаточно высоким содержанием пленочных аминов, а именно Cetamine V-211. В качестве реагента сравнения был выбран октадециламин (ОДА), т.к. на его основе накоплен значительный опыт выполнения консервации оборудования на длительный срок.

Образцы из стали Ст.3, выполненные в виде пластин, помещались в рабочую емкость, изготовленную из нержавеющей стали. Ёмкость заполнялась сначала водным раствором Cetamine V-211 с рабочими концентрациями 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 мг/дм^3, время экспонирования составляло 24 часа при температуре 20^{0}С; 80^{0}С и 120^{0}С. Затем был проведен опыт с водной эмульсией ОДА с рабочими концентрациями 10; 30; 50 и 70 мг/дм^3, время экспонирования составляло 24 часа при температуре 80^{0}С и 120^{0}С. Создание на поверхности образцов защитной пленки проводили в динамических условиях.

3 Для проведения исследований по влиянию комплексных реагентов на катионит были разработаны лабораторная установка и методика проведения эксперимента. Были выбраны следующие решения методических вопросов, возникших в ходе постановки работы: 1) выбор компонента для индикации концентрационного профиля и метода индикации – непрерывная pH-метрия; 2) интерпретация получаемых экспериментальных данных – сравнение с работой при использовании неорганического загрязнителя (NaOH); 3) регенерация отработанного катионита – метод комплексной регенерации. В исследованиях сравнивалось влияние на катионит хеламина и цетамина.

При выполнении диссертационной работы по исследованию свойств аминосодержащих реагентов и их влиянию на состояние поверхностей теплоэнергетического оборудования ТЭС были применены следующие методы и методики:

-оценка капельным методом коррозионной стойкости магнетито-аминовых пленок, созданных как в процессе выполнения стендовых исследований, так и в промышленных условиях на поверхности металла труб;

- методика определения влияния аминов на обменную емкость катионитов, применяемых в схемах конденсатоочистки на ТЭС;

- оценка коррозионной стойкости защитных пленок на поверхностях образцов с помощью снятия поляризационных кривых;

- методики аналитического и приборного контроля, применяемые на ТЭС.

- металлографический анализ структуры отложений: исследование микроструктуры поверхностного слоя с использованием сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения и определение элементного состава поверхностного слоя с использованием системы энергодисперсионного рентгеновского анализа;

Все вышеперечисленное, а также сравнение результатов с данными других авторов и промышленные испытания на действующем оборудовании позволяют считать результаты достоверными.

В третьей главе представлены результаты экспериментов по всем трем направлениям работы и выполнен их анализ.

Для первого эксперимента были выбраны Cetamine V-211, содержащий только нейтрализующие амины и ПОА, и Cetamine V-2000, содержащий в составе еще и дисперсант.

По результатам экспериментов первого направления были сделаны следующие выводы:

1 При использовании Cetamine V-211 коррозионные потери на металле отсутствуют, очищающая способность реагента в паре незначительная, стойкость созданной защитной пленки – нормальная (Рис. 2).

2 При использовании Cetamine V-2000 на поверхности образца появились бугристые отложения, которые представляют собой дисперсант, входящий в состав реагента (Рис. 3).



Рис. 2 - Состояние внутренних поверхностей образцов после обработки Cetamine V-211.



Рис. 3 - Состояние внутренних поверхностей образцов после обработки Cetamine V-2000

Следствия из второго вывода:

А. Реагент с дисперсантом нельзя применять для паровых продувок;

Б. Реагент, содержащий дисперсант, не может быть применен для ведения водно-химического режима, если регулирование температуры перегретого пара производится впрыском питательной воды.

По результатам экспериментов второго направления – определение свойств комплексного реагента в водной среде – можно сделать следующие выводы:

1. При консервации теплоэнергетического оборудования сроком до 6 месяцев рекомендуется применять Cetamine V-211, на более длительный период – ОДА. Для оценки возможности более длительной консервации с применением Cetamine необходимо выполнить дополнительные исследования с концентрацией Cetamine равной той, что была исследована в случае с растворами ОДА.

2. Эффект отмывки ОДА получается более существенным для образцов, имеющих высокую степень загрязненности. Для отмывки образцов с малой степенью загрязненности можно рекомендовать применение Cetamine V-211. Степень отмывки существенно повышается при нагружении образцов тепловым потоком (Рис. 4).



Рис. 4. Отмывочный эффект после обработки в течение 8 час при t=60°С (слева – ОДА, С=30мг/дм^3, справа – Cetamine V-211, С=4,5мг/дм^3)

3. Металлографические исследования образцов показали наличие в исследованных образцах промежуточного защитного слоя. Средняя толщина слоя взаимодействия достигает 100 мкм и может отличаться по своей внутренней структуре, по расположению, размеру и порядку следования слоев. Общая толщина поверхностного слоя колеблется в пределах от 5 до 141 мкм в зависимости от образца (Рис. 5).

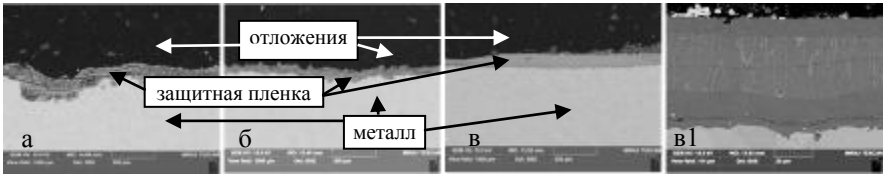


Рис. 5. - Характер изменения структуры и состава защитного слоя по глубине (а,б,в); в1 – увеличенный фрагмент слоя рисунка в.

Таким образом, можно заключить, что экспериментально полученные результаты по влиянию пленкообразующих аминов Cetamine V-211 на работу основного энергетического оборудования пароводяного контура и его водно-химический режим позволяют рекомендовать его для защиты оборудования ТЭС.

Результаты эксперимента третьего направления по воздействию комплексных реагентов различных марок и композиционного состава на иониты позволили сделать следующие выводы:

1) Сравнительный анализ реагентов разных торговых марок показал отличие в составах компонентов, входящих в их состав; 2) Установлено, что сорбция пленкообразующего компонента хеламинов приводит к необратимому снижению обменной емкости катионита (до 40% после однократного насыщения) непосредственно в ходе ионного обмена, пленкообразующий компонент цетаминов не снижает обменную емкость катионита; 3) Отличается и характер влияния дисперсантов в этих композициях: наличие дисперсанта в хеламине приводит к образованию коллоидной пленки на

поверхности частиц. В случае с цетамином подобного влияния дисперсанта не зафиксировано. 4) Выявлена последовательность сорбции компонентов хеламина в процессе катионного обмена: 1- нейтрализующие амины, 2- пленкообразующие амины, 3-дисперсант.

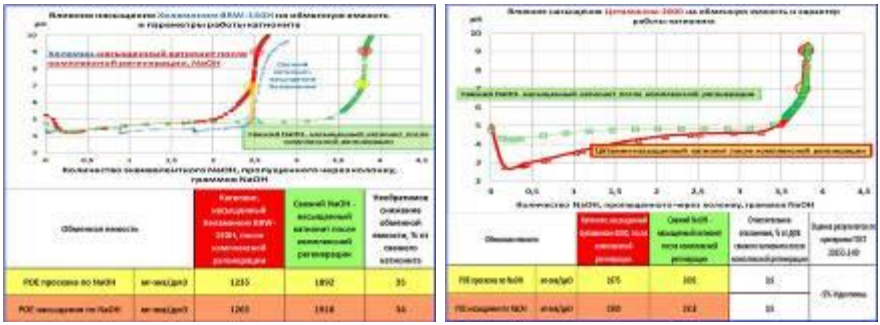


Рис. 6 - Влияние реагентов различных марок с одинаковым компонентным составом на рабочую обменную емкость (РОЕ) катионита

Главный вывод, представляющий интерес для эксплуатации и проектных организаций, заключается в следующем: при очистке конденсатов на автономных (АОУ) или блочных (БОУ) обессоливающих установках необходимо учитывать состав и марку применяемых аминосодержащих реагентов.

В четвертой главе предложены способы решения дозировки комплексных реагентов в зависимости от типа и тепловой схемы котла, предложены основные критерии контроля ВХР при ведении аминных режимов.

Для учета поведения компонентов, входящих в состав КР введены понятия:

1 Коэффициент распределения ($К_р$) – отношение содержания вещества в паре к его содержанию в котловой воде.

2 Коэффициент возврата ($К_в$) – отношение содержания компонента в конечной точке к его содержанию в начальной.

Коэффициент возврата зависит от множества факторов. В частности, для нейтрализующих аминов, когда $К_р$ является величиной постоянной, количество возвращаемого амина зависит от количества и состава примесей, поступающих в котел с питательной водой, термолиза амина в пароперегревателе, а также продуктов термолиза примесей. Чем ниже коэффициент распределения, тем больше нейтрализующего амина остается в котловой воде, обеспечивая в ней более высокий pH. Нейтрализующие амины с высоким $К_р$ обеспечивают в большей степени величину pH в паровом тракте. На коэффициент возврата компонента влияют присосы углекислоты или ухудшенное качество добавочной воды, при этом, в зависимости от вида примеси, каждый из нейтрализующих аминов может расходоваться в разной степени, а коэффициент возврата будет меняться. Для ПОА коэффициент возврата зависит от состояния защитных пленок на металле и термолиза в высокотемпературной части тракта и не зависит от качества добавочной

воды, поступающей в котел. Коэффициент распределения ПОА, полученный в лабораторных условиях, будет отличаться от значений, полученных в реальных условиях эксплуатации оборудования.

С учетом вышеизложенного были предложены основные принципы организации дозировки реагентов в тракт энергоблока. На примере барабанного котла показаны (Рис. 7) основные точки дозировки и различие при их использовании.

Для точки Т1: $(C_к - C') \times (1 + q_{нп}) + d_р \times (1 + q_{нп}) = C_п + C_{кв} \times q_{нп}$

Для точки Т2; $(C_к - C') \times (1 + q_{нп}) + d_р = C_п + C_{кв} \times q_{нп}$

Отсюда следует, что дозировка в точку Т1 приводит к большему расходу реагентов, однако, это не означает, что ее необходимо исключать их схемы.

На примере тепловых схем котлов-утилизаторов энергоблоков ПГУ показано, что обязательно должна существовать точка ввода реагента в конденсат для защиты газового подогревателя конденсата. Расчет узла коррекционной обработки котла-утилизатора обязательно должен учитывать тепловую схему (последовательная или параллельная), количество контуров и рабочие параметры – давление в барабанах котла, а также наличие или отсутствие БОУ.

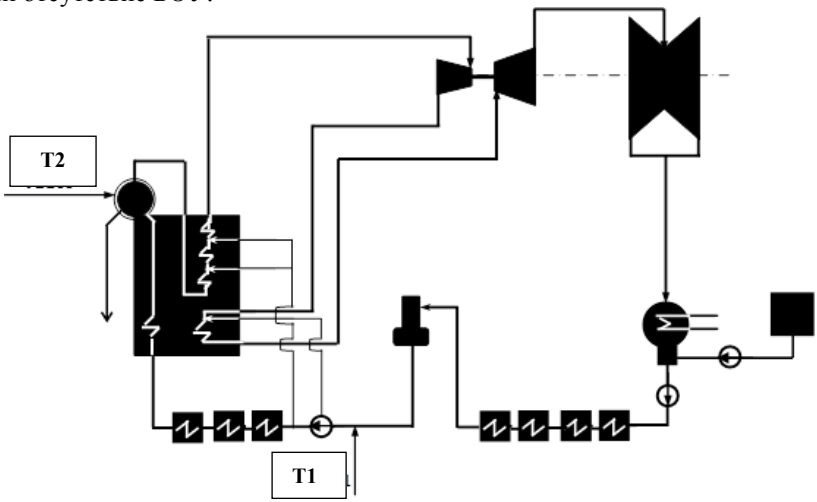


Рис. 7. Точки ввода реагентов для барабанного котла

Показана значимость и роль каждой точки дозирования реагентов при ведении водно-химического режима для различных тепловых схем котлов.

Для аминных ВХР не существует специально разработанных норм, однако ряд показателей может быть взят из ПТЭ. Вместе с тем следует обратить внимание на показатели pH и электропроводности в различных точках тракта.

Основной контролируемой величиной при ведении водно-химического режима должна быть величина pH, которая зависит как от количества примесей в воде и паре, так и от соотношения нейтрализующих компонентов в

реагентах. Электропроводность пара должна соответствовать нормам ПТЭ. В то же время, помимо pH следует ориентироваться на другой объективный показатель состояния тракта энергоблока – содержание пленкообразующих аминов (ПОА). Наличие ПОА в тракте говорит о том, что существует возможность защиты тракта в случае повреждения защитных пленок.

Пятая глава посвящена результатам опытно-промышленного внедрения комплексных реагентов на основе аминов на различных энергоблоках.

Внедрение проводилось в соответствии с разработанными методами и состояло из выбора реагентов, отмывки поверхностей нагрева (эксплуатационной или предпусковой), ведения ВХР на основе разработанной технологии и мероприятий по консервации. Показаны три примера.

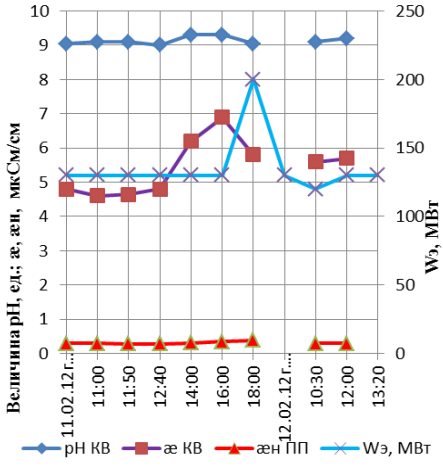


Рис. 8. Показатели качества котловой воды и пара при ведении аминосодержащего водно-химического режима

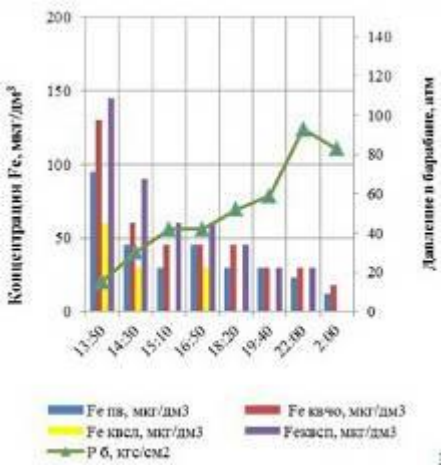


Рис. 9. Содержание железа в тракте э/б ст. № 10 при пуске 27.05.2012 г. *Простой блока – 16 дней. 12:20 – розжиг котла. 14:37 – включен в сеть.*

В первом примере рассматриваются результаты внедрения водно-химического режима с использованием реагента Epuramine на энергоблоке 210 МВт ЗАО «Молдавская ГРЭС», с барабанным котлом ТГМ-104С и турбиной К-210-130. По разработанным программам были проведены «выварка» и перевод энергоблока на аминный ВХР. В результате «выварки» были подтверждены отмывочные и пассивирующие свойства реагентов: снижение количества отложений в экономайзере с 850 до 130–300 г/м^2, а в экранных трубах со 150 до 60 г/м^2, стойкость защитных пленок – высокая. Контроль показателей водно-химического режима выявил зависимость между величиной pH и удельной электропроводностью котловой воды. В результате наладки ВХР были получены результаты, подтверждающие соблюдение норм (Рис. 8). Высокие защитные свойства реагента также были подтверждены при вырезке образцов через 7 месяцев эксплуатации и во время пусков из резерва (Рис. 9).

Во втором случае показаны результаты внедрения ВХР на энергоблоке ПГУ-60 Уфимской ТЭЦ-2, с котлом-утилизатором двух давлений, выполненный по «последовательной» схеме. Показаны результаты после проведения наладки (Рис. 10), а также результаты контроля ПОА (Рис. 11) при ведении ВХР. Отличием этого котла является подпитка аминированной водой, поэтому наличие ПОА в тракте показывает роль комплексного реагента при ведении ВХР.

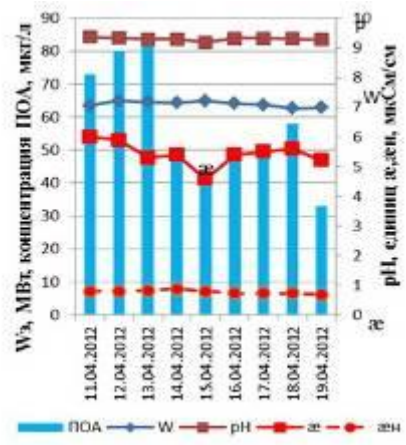


Рис. 10. Показатели качества воды перед ГПК

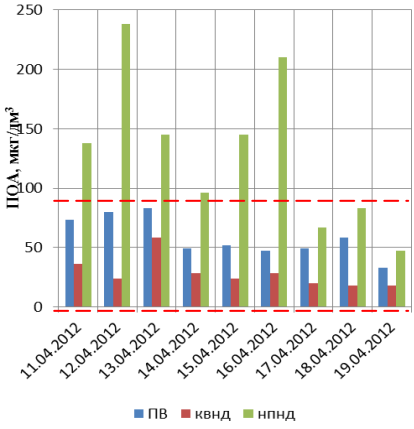


Рис. 11. Содержание ПОА в тракте НД

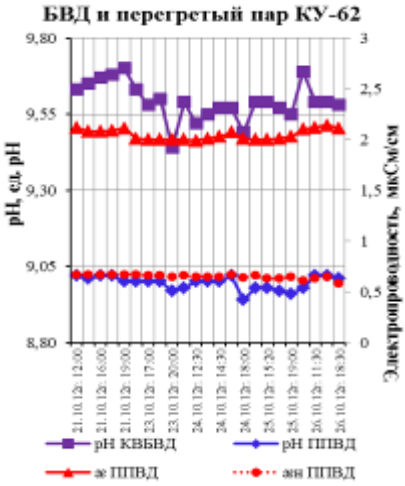


Рис. 12. Соотношение между величиной pH котловой воды и пара в контуре ВД

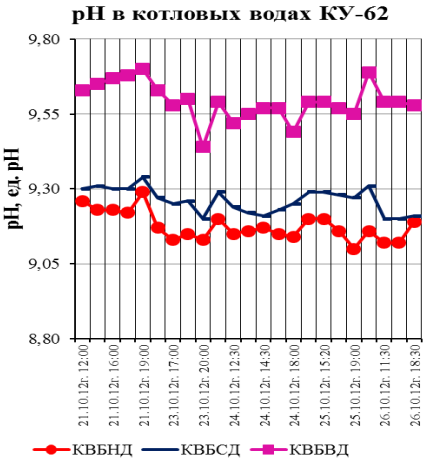


Рис. 13. Соотношение между значениями pH в барабанах котла-утилизатора

Результаты наладки ВХР на энергоблоке ПГУ-800 Киришской ГРЭС показаны ***на третьем примере***. На рис. 12 приведены данные по величине pH котловой воды БВД и показатели качества пара, соответствующие этим

значениям. На рис. 13 приведено сравнение значений pH котловой воды барабанов всех давлений, из которых следует, что они зависят от коэффициентов распределения нейтрализующих аминов. На этом блоке были подтверждены экспериментальные данные по воздействию КР на ионообменные материалы: обменная емкость фильтров БОУ после регенерации не изменилась, фильтры обеспечили качество конденсата на выходе на уровне 0,07 мкСм/см.

Также в главе показан экономический эффект при ведении аминного ВХР.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1) Лабораторные и стендовые исследования подтвердили создание защитных пленок на поверхностях металла при использовании комплексных реагентов (КР) на основе аминов.

2) Проведено промышленное внедрение водно-химических режимов, которое показало, что при правильном выборе реагент обеспечивает–нормируемые показатели без дополнительных корректирующих добавок.

3) Разработаны и проверены на действующем оборудовании ТЭС технологии предпусковых и эксплуатационных отмывок энергетического оборудования, которые доказали свою эффективность.

4) Показано, что возможно использование КР при очистке вод на ионообменных фильтрах, при этом необходимо учитывать состав реагентов.

5) Разработаны критерии выбора схемы и оптимальные точки дозирования реагентов в тракт энергоблоков. Дозировка КР в тракт энергоблоков должна учитывать тепловую схему котла и энергоблока.

6) Разработаны основные критерии контроля теплоносителя при ведении аминных водно-химических режимов. Обязательными нормируемыми показателями должны быть величина pH, электропроводность, содержание ПОА.

7) Не все комплексные реагенты способны обеспечить предъявляемые к ним требования.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в изданиях по списку ВАК

1. Федосеев Б.С., Кирилина А.В., **Суслов С.Ю.,** Бенько О.Н., Стельмашенко Т.В., Романская О.И. Опыт эксплуатации барабанных котлов на эпураминном ВХР. Энергетик, №11, 2007
2. Кирилина А.В., **Суслов С.Ю.** Новые требования к качеству добавочной воды для подпитки энергоблоков. Энергетик, № 7, 2009.
3. Богачев В.А., Кирилина А.В., **Суслов С.Ю.,** Школьникова Б.Э. Исследование экранов барабанных котлов с аминным водным режимом. Электрические станции. № 8, 2011
4. **Суслов С.Ю.,** Кирилина А.В. О выборе реагентов при ведении аминных режимов. Энергетик, № 1, 2011.
5. Богачев В.А., Кирилина А.В., Пшеченкова Т.А, **Суслов С.Ю**., Школьникова Б.Э. Об отдулинах на экранных трубах котла ТМ-104А Шатурской ГРЭС на аминном водном режиме. Электрические станции, №1, 2011.

6. Кирилина А.В., **Суслов С.Ю**., Соколова Е.А, Суслов И.С. Опыт ведения водно-химического режима с использованием цетамина на Шатурской ГРЭС (*или как загубить идею*). Энергетик, №6, 2011.

7. **Суслов С.Ю**., Кирилина А.В., Сергеев И.А., Соколова Е.А., Суслов И.С., Бороздина Л.А. Опыт ведения водно-химического режима с применением хеламина на энергоблоках ПГУ-39 Сочинской ТЭС. Теплоэнергетика, №7, 2012, с.15-21

8. **Суслов С.Ю.,** Кирилина А.В., Сергеев И.А., Соколова Е.А., Суслов И.С., Суслов П.С. Некоторые особенности и свойства комплексных реагентов на основе аминов и водно-химический режим. Энергетик, №2, 2013

Публикации в других изданиях

1. **Суслов С.Ю**., Кирилина А.В. Некоторые проблемы ведения водно-химических режимов. Международное научно-техническое совещание «Опыт внедрения новых водоподготовительных установок и водно-химические режимы ТЭС», ОАО «ВТИ», 2007.

2. Кирилина А.В., **Суслов С.Ю**. Водно-химические режимы энергоблоков ПГУ. Международное научно-техническое совещание «Опыт внедрения новых водоподготовительных установок и водно-химические режимы ТЭС», ОАО «ВТИ», 2007.

3. **Суслов С.Ю.** Новые требования к качеству добавочной воды. Международное научно-техническое совещание «Водоподготовка и водно-химические режимы», ОАО «ВТИ», 2009.

4. **Суслов С.Ю.** Водно-химический режим для обработки котловой воды. Международное научно-техническое совещание «Водоподготовка и водно-химические режимы», ОАО «ВТИ», 2009.

5. Суслов И.С., **Суслов С.Ю.**, Кирилина А.В., Колбягин Н.П., Сивоволов В.А. Измерение общего органического углерода. Международное научно-техническое совещание «Водоподготовка и водно-химические режимы», ОАО «ВТИ», 2009.

6. **Суслов С.Ю**. Котлы: конструкции, реконструкции и водный режим. Новый подход к получению чистого пара. Международное научно-техническое совещание «Водоподготовка и водно-химические режимы», ОАО «ВТИ», 2009.

7. **Суслов С.Ю**. Некоторые проблемы эксплуатации котлов-утилизаторов энергоблоков ПГУ. Международная научно-техническая конференция «Применение воды в теплоэнергетике», ОАО «ВТИ», 2011, с.67-75.

8. Кирилина А.В., **Суслов С.Ю**., Соколова Е.А., Суслов И.С. Опыт ведения водно-химического режима с использованием цетамина на Шатурской ГРЭС. Международная научно-техническая конференция «Применение воды в теплоэнергетике», ОАО «ВТИ», 2011, с.182-193

9. **S.Yu. Suslov**, A.V. Kirilina. Experience with Amine in Russia. 3rd International Conference Interaction of Organics and Organic Plant Cycle Treatment Chemicals with Water, Steam, and Materials (Heidelberg, 2012).

10. **Суслов С.Ю.,** Кирилина А.В. Некоторые проблемы эксплуатации котлов-утилизаторов энергоблоков ПГУ. Новое в российской энергетике, №4. 2012.

11. **Суслов С.Ю.**, Кирилина А.В., Сергеев И.А., Суслов П.С. Общие вопросы водно-химических режимов котлов-утилизаторов. Международная научно-техническая конференция «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС. Цели и задачи», ОАО «ВТИ», 2013, с.25-36.

12. Сергеев И.А., **Суслов С.Ю**., Тимофеев Н.В. Обзор и сравнение аналитических методик на определение содержания полиаминов в котловых водах и конденсатах ТЭС. Международная научно-техническая конференция «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС. Цели и задачи», ОАО «ВТИ», 2013, с.45-53.

13. Кирилина А.В., **Суслов С.Ю.,** Зезюля Т.В., Соколова Е.А., Суслов И.С., Сергеев И.А., Еремина Е.В. Опыт применения комплексных реагентов на основе аминов для различных технологических операций на энергоблоках ТЭС. Международная научно-техническая конференция «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС. Цели и задачи», ОАО «ВТИ», 2013.

14. Мелентьев Д.Н., Кирилина А.В., **Суслов С.Ю**., Сергеев И.А. Исследование работы

сильнокислотного катионита в контакте с комплексными аминосодержащими реагентами. Международная научно-техническая конференция «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС. Цели и задачи», ОАО «ВТИ», 2013, с.129-139.

15. Ходырев Б.Н., Кирилина А.В., **Суслов С.Ю**., Сергеев И.А. Некоторые проблемные вопросы водно-химических режимов ТЭС. Международная научно-техническая конференция «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС. Цели и задачи», ОАО«ВТИ», 2013,с.191-201.

СУСЛОВ Сергей Юрьевич

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ РЕАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ АМИНОВ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ ТЭС И КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ ЭНЕРГОБЛОКОВ ПГУ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать _____. Формат 60Х84 1/16.
Печать плоская. Усл. печ. л. 1.Тираж 100 экз. Заказ № ___.
ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»
153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.
Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ