

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Лаптева Анатолия Григорьевича на диссертацию **Ларина Андрея Борисовича «Разработка метода химического контроля на основе измерений электропроводности и рН и совершенствование систем обеспечения водно-химического режима на ТЭС»**, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»

Актуальность темы исследования определяется состоянием теплоэнергетики России в настоящее время и выражается в необходимости создания современных средств и систем химического контроля на тепловых электростанциях. С одной стороны, в большом количестве вводятся в эксплуатацию новые энергоблоки с парогазовыми установками (ПГУ), с другой стороны, в работе остается большое количество энергетических котлов высокого и сверхвысокого давлений советского производства. Как одни, так и другие должны обеспечивать качество воды и пара высокой степени чистоты и выдерживать нормы водно-химического режима (ВХР) согласно отраслевых нормативов или требований предприятий – изготовителей теплоэнергетического оборудования.

На зарубежных электростанциях (США, Канада, страны Западной Европы и др.) используются как традиционные приборы химического контроля (кондуктометры, кислородомеры, потенциометры), так и анализаторы высокой степени индивидуального разрешения такие, например, как ионные хроматографы и анализаторы общего органического углерода (ТОС). В нормативных документах на качество воды и пара устанавливаются жесткие требования по большому числу показателей, включая концентрации натрия, хлоридов, аммиака, общего органического углерода.

Российская теплоэнергетика не может ориентироваться на дорогостоящие импортные приборы и системы. Поэтому данная работа, направленная на создание приборов и систем автоматического химического контроля на базе отечественных анализаторов – кондуктометров и рН-метров – и не уступающих лучшим мировым аналогам, является актуальной и

своевременной. Показательно, что достижение цели в данной работе осуществляется путем использования математических моделей химико-технологических процессов водного теплоносителя на ТЭС, т.е. путем реализации интеллектуального потенциала, чем всегда отличалась Россия, в том числе и теплоэнергетика. Актуальность работе добавляет стремление автора к реализации разработок в практической энергетике, как в основном контуре, так и в системах обеспечения водно-химического режима и внедрение отдельных результатов на электростанциях России.

Достоверность результатов и выводов и обеспечивается использованием как классических теорий водных растворов, так и хорошо зарекомендовавших себя приборов – кондуктометров и рН-метров, проведением большого числа лабораторных опытов в сочетании с промышленными испытаниями методик, алгоритмов, приборных систем и разработкой новых технических и технологических решений, а так же согласованием отдельных результатов с данными штатных лабораторий и других авторов.

Степень обоснованности научных положений выводов и рекомендаций базируется, с одной стороны, на задачах и проблемах теплоэнергетики, с другой стороны, на высоко научном, профессиональном построении математических моделей поведения примесей водного теплоносителя, обеспечивающем косвенное определение ряда основных показателей по измерениям электропроводности и рН в потоках охлажденных проб воды и пара.

Новизна результатов и выводов заключается в разработке новых методик, алгоритмов, новых приборов и систем химико-технологического мониторинга, получивших одобрение в России и зарубежом, получением новых технических и технологических решений, отмеченных патентами на изобретение Российской Федерации, получением новых научных данных по водным растворам электролитов, представленным на многочисленных всероссийских и международных конференциях.

Значимость результатов для науки и практики определяется развитием теории электролитов на предельно разбавленные растворы смеси

электролитов, характерных для технологических вод и паровых растворов современных теплоэнергетических систем, получением новых научных и технических решений, отмеченных выше, созданием новых систем и внедрением отдельных результатов в энергетическое производство на ТЭС России.

Общий анализ содержания диссертации

Во введении дана общая характеристика работы, представлены цель и определены основные задачи исследования.

В первой главе дан анализ проблемы, показано состояние вопросов на текущий момент, обоснована разработка нового метода автоматизированного химического контроля качества воды и пара на ТЭС, определены пути совершенствования систем обеспечения ВХР и представлена структура выполнения работы.

Заслугой автора на этом этапе следует признать использование опыта научной школы ИГЭУ и определение в качестве конечных задач исследования разработку промышленных систем химического контроля и совершенствование систем обеспечения ВХР ТЭС.

Во второй главе представлена методика выполнения работы. Особенностью этой части была необходимость методически соединить ограниченный объем измеренных (исходных) данных с возможностями решения сложной математической модели ионных равновесий для условий питательной, котловой воды и конденсата пара энергетических котлов. Первым этапом автор правильно выбрал лабораторные исследования на модельных растворах, т.е. предельно разбавленных растворах одного и смеси электролитов известного состава и концентрации. Это позволило обосновать эмпирические параметры, без которых невозможно аналитическое решение системы уравнений. Однако, такой подход потребовал создания лабораторных стендов, обеспечивающих физико-химическое моделирование потоков охлажденных проб водного теплоносителя и адекватные условия измерения электропроводности, рН и других показателей.

Следует отметить – с этой задачей автор успешно справился, что позволило ему обосновать схему структуры выполнения работы для барабанных, прямоточных котлов и блоков ПГУ.

В третьей главе представлены результаты исследований по применению нового метода для химического контроля и диагностики состояния ВХР барабанных котлов с давлением 13,8 МПа, т.е. типовых котлов ТЭС России.

Проведение лабораторных исследований и предварительные опыты на промышленных котлах позволили автору подобрать и уточнить эмпирические коэффициенты: «b» - щелочной коэффициент (1,0-1,3), «K_к» - коэффициент концентрирования примесей питательной воды в котле (8-10, солевой отсек), «n» - отношение концентрации гидрокарбонатов и хлоридов в Н-катионированной пробе (0,1-1,0). Заслугой автора следует считать выполненную оценку диапазона измерений основного параметра – расчетной концентрации тринатрийфосфата во всех диапазонах изменения эмпирических коэффициентов. Измерения концентрации тринатрийфосфата укладывались в допустимый для промышленного контроля 10%-ый диапазон, что подтверждено испытаниями на промышленных котлах ряда ТЭС.

Таким образом, автор теоретически обосновал и практически реализовал расчетное определение концентраций фосфатов, а также содержания котловой воды (солевой и чистой отсеки) по измерениям удельной электропроводности Н-катионированной пробы питательной и котловой воды. Разработанный метод прошел длительную проверку (в течение более двух лет) на котле ТП-87 Ивановской ТЭЦ-3, был представлен на российских и международных конференциях, подтвержден патентами на изобретение России.

В четвертой главе автор решает подобную предыдущей задаче для условий водно-химического режима котлов-утилизаторов энергоблоков ПГУ. Здесь другое решение математической модели питательной и котловой воды, другие эмпирические параметры, но тот же минимальный набор измеряемых величин: удельная электропроводность охлажденных проб (χ , χ_n), pH,

определяемый требованиями предприятий производителей и рекомендуемый ВТИ. Применение метода автора в этом случае позволяет значительно расширить объем информации о состоянии водного режима котла-утилизатора, диагностировать изменения ВХР, составлять рекомендации для разработки отраслевых нормативных показателей качества воды и пара.

Заслуженой автором, кроме решения математической задачи расчета концентраций примесей, можно считать выделение из множества энергоблоков ПГУ блоков невысокого давления (менее 7 МПа) и небольшой электрической мощности, имеющих упрощенную тепловую схему и систему обработки питательной воды (ГТЭС «Терешково», г. Москва) и, в следствие этого, ухудшенное качество пара.

В пятой главе приведены результаты исследования разработанного метода для оценки ВХР прямоточных котлов сверхкритических и суперсверхкритических параметров (СКД и ССКП). Основное внимание автор закономерно уделяет определению органических примесей, которые в условиях сверхчистой питательной воды становятся важным фактором состояния ВХР и нормируются показателем «общий органический углерод» (ТОС). Ввиду высокой единичной стоимости таких анализаторов (около двадцати тысяч долларов США) необходима разработка простого и надежного метода определения содержания органических веществ в питательной воде. Анализируя принципы работы ТОС-приборов, автор предлагает простой способ контроля агрессивной части органических примесей – потенциально-кислых веществ (ПКВ), используя свой метод измерения удельной электропроводности охлажденных проб питательной воды ($\chi_{Н,пв}$) и пара ($\chi_{Н,оп}$). Решение задачи может быть востребованным для практического применения.

В шестой главе автор обобщает выполненные исследования и предлагает на их основе новые технические и технологические разработки, применимые на большом числе энергетических котлов ТЭС.

К числу таких разработок можно отнести следующее:

- систему химико-технологического мониторинга барабанных котлов ($P_0 > 10$ МПа);

- систему автоматизированного химического контроля энергоблоков ПГУ;
- методику косвенного определения концентрации ПКВ в питательной воде прямоточных котлов;
- автоматический анализатор минеральных примесей конденсата и питательной воды (АПК-051).

Высокий уровень этих разработок определяется привлечением к участию ведущих отечественных фирм – производителей приборов АХК для ТЭС и АЭС – НПП «Техеноприбор», г. Москва и ООО «ВЗОР», г. Н. Новгород.

Седьмая глава посвящена вопросам совершенствования установок и технологии водообработки вспомогательных систем на основе разработанного метода.

Глава получилась большой по объему (более 80 страниц) , затронуты вопросы не только химического контроля, но и вопросы повышения эффективности, экологичности установок и управления водным режимом систем. Такой подход представляется верным, учитывая современные требования российской и мировой теплоэнергетики.

Для вновь строящихся установок водоподготовки важным является вопрос выбора технологии водообработки. Акцентируя внимание на природных водах центра и севера России, отличающихся невысокой минерализацией, но повышенным (иногда очень высоким) содержанием органических веществ, в диссертации предлагается ряд схем предочистки. Отдельные стадии таких схем известны, но компоновка их по разным типам природных вод составляет новизну и показывает высокую степень очистки воды: снижение «перманганатной окисляемости» до 70-80% от исходных значений.

Для принятых к исследованию природных вод автор справедливо выделяет обработку воды ионитами и дает результаты обширных лабораторных и промышленных исследований, включая вопросы глубокой утилизации стоков – на примере химводоочистки Костромской ГРЭС. Следует отметить, что предложенные схемы предварительной очистки могут

обеспечить приемлемое качество воды и для установок обратного осмоса, широко внедряемых на ТЭС России в настоящее время.

Подготовка добавочной воды паровых, водогрейных котлов и тепловых сетей включает обязательным этапом деаэрацию воды. Весьма интересным, с научной точки зрения, представляется анализ, сделанный в диссертации по оценке эффективности декарбонизации воды в атмосферных деаэраторах.

Из других задач обращает внимание предложение по контролю и регулированию величин рН циркуляционной воды системы оборотного охлаждения статора электрогенератора, разработанные для Конаковской ГРЭС.

При этом, как правило, все разработки этой части выполнены на основе предлагаемого метода, часть из них защищена патентами Российской Федерации.

В заключении автор дает выводы по работе и предлагает рекомендации в отраслевой стандарт по водоподготовке, водному режиму и химическому контролю.

По диссертационной работе имеются следующие замечания

1. В предшествующих работах школы ИГЭУ представлена обобщенная математическая модель ионных равновесий питательной (и котловой) воды. Почему автор уходит от ее прямого использования и дает частные решения для разных типов теплоэнергетического оборудования?

2. В третьей главе диссертации представлено преобразование математической модели ионных примесей воды с вводом трех эмпирических коэффициентов. В работе нет обоснования, чем вызвано введение именно таких параметров. Возможно ли использование иных величин? Так для условий энергоблоков ПГУ выбраны другие эмпирические коэффициенты.

3. Большой объем исследований, данный в седьмой главе в отношении установок водоподготовки не содержит результатов, касающихся мембранных технологий с установками обратного осмоса (УОО). Такое упущение сужает результаты работы в этой части, учитывая широкое распространение УОО на электростанциях России.

4. Возможно ли применение методики расчета электропроводности не только для Н-катионированных проб, но и для ОН-анионированных проб фильтрата. Каким образом изменится методика расчета электропроводности водных растворов с увеличением концентрации электролитов?

5. Почему изменяется методика расчета ионных равновесий в питательной воде котла-утилизатора блока ПГУ по сравнению с методикой расчета для барабанных котлов СВД?

6. Как учитывается в методике расчета ионных равновесий котловой воды и пара котлов-утилизаторов ПГУ возможность перехода с щелочно-фосфатного ВХР котловой воды на другой режим?

7. Чем обусловлен выбор аниоактивного среднемолекулярного флокулянта АН 923 VHM при коагуляции сырой воды на ХВО ИвПГУ (Ивановские ПГУ)?

Представленные замечания не снижают общей положительной оценки данной диссертационной работы, ее научной новизны, практической ценности и имеют частный характер. Работа является законченным научным трудом, обладает внутренним единством и актуальна для энергетики РФ.

Заключение

Диссертационная работа Ларина Андрея Борисовича является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие теплоэнергетики страны.

Развитие теплоэнергетики России идет в настоящее время по пути освоения высоко экономичных паро-газовых энергоблоков при продлении ресурса действующего оборудования «стареющих» ТЭС. В этих условиях важное значение имеет водно-химический режим (ВХР), его контроль и управление им. Данная работа, как в теоретическом плане, так и в практическом аспекте, решает ряд важных задач обеспечения высокого качества ВХР и вносит значительный вклад в развитие ТЭС.

В работе приведены сведения о практическом использовании ее научных результатов, получены опытно-промышленные образцы, пригодные

для широкого применения на ТЭС. Основные результаты докладывались на многочисленных российских и международных конференциях, защищены патентами РФ, достаточно отражены в публикациях автора в рецензируемых изданиях (лично и в соавторстве). Автореферат верно и в достаточной степени отражает содержание диссертации.

Таким образом, диссертация Ларина Андрея Борисовича отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», в частности, пунктов 9-14, утвержденного правительством РФ от 24.09.2013 г. №842 и оценивается **положительно**. Соискатель Ларин Андрей Борисович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой

«Технология воды и топлива»

ФГБОУ ВО «Казанский государственный

энергетический университет», доктор технических наук,

профессор



Лаптев Анатолий Григорьевич

Шифр специальности, по которой

защищена докторская

диссертация А.Г. Лаптева:

05.17.18 – Процессы и аппараты

химической технологии



Адрес: ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51; e-mail: tvt_kgeu@mail.ru; Web-сайт: <http://kgeu.ru>; тел.: (843) 519-42-54(53)