

Отзыв

официального оппонента Чичировой Наталии Дмитриевны
на диссертацию Фёдорова Алексея Ивановича

«Научно-техническое обеспечение эффективности сепарационных устройств, выносных солевых отсеков и циркуляционных контуров барабанных котлов ТЭС»,

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.14.14 - «Тепловые электрические станции,
их электрические системы и агрегаты»

Представленная на рассмотрение диссертация содержит введение, пять глав, список литературы и заключение. Диссертация изложена на 327 страницах основного текста, включает 27 таблиц, 132 рисунка, библиографический список из 183 наименований работ российских авторов.

Актуальность работы

Особенностью ТЭС России являются большая доля барабанных котлов, а в последнее время котлов-утилизаторов ПГУ. При этом на барабанных котлах происходят многочисленные неполадки, в том числе повреждения поверхностей нагрева.

В качестве причин этого следует отметить недостаточно полную информацию о процессах, происходящих в ступенях испарения при двухсторонних солевых отсеках, неэффективности наружных трубопроводов: линии солевой кратности и линии солевого выравнивания, вопросы, связанные с надежностью циркуляции в сепарационных схемах котлов высокого давления при наличии барботажно-промывочных устройств, ненадежным водно-химическим режимом и химическим контролем.

В связи с этим для повышения надежности и эффективности работы барабанных котлов весьма актуальными являются выполненные в представленной диссертационной работе исследования, цель которых (в формулировке автора) заключается в создании научных и методических основ процессов во внутрикотловых устройствах путём комплексных исследований гидравлических и тепломеханических режимов и на их базе разработка методик расчета, моделей процессов, рекомендаций и технических решений по повышению надёжной и эффективной работы сепарационных устройств барабанов, выносных солевых отсеков и циркуляционных контуров паровых котлов ТЭС.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Во введении обоснована актуальность работы, поставлена цель, показана ее новизна, практическая ценность и реализация результатов, даны сведения об апробации работы, публикациях, показан личный вклад автора и представлены результаты, вынесенные на защиту.

В первой главе приведен литературный обзор внутрикотловых устройств и схем барабанных котлов ТЭС и выполнен анализ их работы.

В отечественной энергетике большинство котлов выполняется со ступенчатым испарением КВ. При расчетах схем ступенчатого испарения

принимается, что солесодержание КВ последней ступени испарения равняется солесодержанию непрерывной продувки ($S_{\text{КВ}} \text{ II(III)} = S_{\text{н.пр}}$), а уравнения солевого баланса составляются как для односторонних СО, тогда как большинство двухсторонние. Это приводит к искажению распределения концентрации солей в ступенях испарения. Большинство котлов выполнены с выносными СО, которые в зависимости от мощности и схем включения выносных циклонов проектируются по одному, по два, по три выносных циклона на сторону котла. Гидравлический и солевой режим в СО, имеющем по два или три циклона на сторону котла, гораздо сложнее, чем при одном циклоне на сторону и изучен недостаточно. На всех котлах ВД со ступенчатым испарением устанавливаются ЛСК и ЛСВ. ЛСВ были разработаны для выравнивания концентрации солей между двухсторонними СО. Опыт применения ЛСК показал, что их эффективность очень низкая, что связано прежде всего с неправильным включением их в циркуляционные схемы котлов. Для устранения этих трудностей и корректировки имеющихся методик расчета ЛСК и ЛСВ необходимы были дополнительные исследования. Разрешение приведенных выше проблем, разработка научно обоснованных методик расчета и моделей, оптимизация конструктивных решений и в конечном итоге повышение надежности и эффективности гидравлического и теплотехнического режима являлись целью комплексных исследований, приведенных в диссертации.

Во второй главе приведены результаты комплексных исследований гидравлического и теплотехнического режимов в барабанах, выносных солевых отсеках и циркуляционных контурах, замкнутых на них. На основании исследований промышленных котлов установлено, что даже при небольших продольных скоростях воды в барабанах, равных 0,6 – 0,8 см/с, скорость турбулентной диффузии недостаточна для выравнивания концентрации солей по длине барабана. Впервые на основании результатов исследований гидравлического и солевого режимов и статистической обработки пульсирующих циркуляционных характеристик разработана модель распределения концентрации солей в СО с двумя выносными циклонами на сторону котла, замкнутых, каждый на одну экранную поверхность нагрева с верхним и нижним коллекторами без перегородок. Исследования показали, что концентрация солей распределяется таким образом, что в контуре ближнего циклона она приблизительно в два раза выше, чем была бы во второй ступени при трехступенчатом испарении, а в контуре дальнего циклона концентрация приблизительно в три раза выше, чем в контуре ближнего циклона. Повышенная концентрация в контуре ближнего циклона вызвана перебросом в него части КВ контура дальнего циклона по экраным трубам, число которых меняется в следствии циркуляционных пульсаций. Впервые разработана и экспериментально проверена методика расчета схем ступенчатого испарения для двухсторонних солевых отсеков при перебросах из одного из них котловой воды в чистый отсек по пароперепускным окнам (трубам), ЛСК и опускным трубам, при солевых перекосах по длине барабана, позволившая выявить несоответствие

в распределении концентрации солей в ступенях испарения с существующими методиками. Применение этой методики позволило углубить понимание гидравлических и теплехимических процессов в схемах ступенчатого испарения и тем самым повысить надежность эксплуатации внутрикотловых устройств за счет улучшения водного режима. Разработана уточненная методика расчета линий солевого выравнивания (ЛСВ), которая раскрыла несоответствие в обосновании применения ЛСВ в существующей методике с условиями естественной циркуляции в двусторонних СО при перекосах по теплу между их панелями и показывающая, что эти линии при перекосах по теплу между панелями СО не приводят к снижению солевых перекосов. Достоверность разработанной методики расчета подтверждена экспериментально на котле ТГ-104. Показано, что ЛСВ не устраняют солевые перекосы между отсеками. Анализ различных схем включения линий солевой кратности между солевыми и чистыми отсеками показал недостаточную в большинстве случаев эффективность этих линий. Выполненные в диссертации исследования ЛСК позволили уточнить методику их расчета, оптимизировать место включение в циркуляционные контуры котла и тем самым повысить их эффективность. Экспериментально установлено, что для исключения солевых перекосов по длине барабана необходимо применять перебросы среды от места запитки в опускные трубы до ввода пароводяной смеси в барабан на расстоянии $2 \div 3$ продольных шагов между рядами опускных труб.

В третьей главе приведены результаты исследований и разработки эффективных сепарационных устройств барабанных котлов ТЭС. Результаты исследований и расчетов солевых балансов для котлов с $P_6 = 15,2$ МПа и двухступенчатой схемой испарения показали, что барботажно-прямоточное устройство на них можно не устанавливать в следующих случаях: а) для котлов ГРЭС при $SiO_2^{пв} < 30$ мг/дм³ (норма ПТЭ) и продувке $p > 0,5$ %; б) для котлов ТЭЦ с производственными отборами при $SiO_2^{пв} < 50$ мг/дм³ и $p > 0,5$ %; с соблюдением качества пара согласно норм ПТЭ. Отказ от применения БПУ в сепарационных схемах улучшает гидравлику в барабане и циркуляционных контурах и повышает надежность котлов. Было проведено математическое моделирование физических процессов в водяном объеме барабана с использованием программного комплекса Ansys Fluent. Система уравнений, описывающих движение жидкости, теплопередачу и диффузию примесей в турбулентном потоке, решалась методом конечных объемов. Было получено распределение скоростей, концентрации солей и температур в объеме барабана. На основании исследований гидравлики и солевого режима в барабанах и математического моделирования была разработана внутрикотловая схема для КУ ПК-85 без БПУ, показавшая высокую эффективность.

В четвертой главе исследованы вопросы надежности испарительных поверхностей нагрева топочных экранов. Исследовано влияние на надежность поверхностей нагрева площади сечения трубы питания СО, площади сечения вводов в выносные циклоны, места вывода непрерывной

продувки из выносного СО, а так же водно-химического режима. Разработана расчетно-экспериментальная методика определения допустимой по условиям прочности толщины стенки лобовой, боковой и тыльной части испарительных труб с применением температурных вставок оригинальной конструкции и фактических характеристик прочности. Показано, что с применением этой методики обеспечивается надежность при меньшей допустимой толщине стенки, чем при упрощенной методике. Исследована и расчетно обоснована величина минимально-допустимой кратности циркуляции для топочных испарительных поверхностей нагрева с односторонним обогревом для котлов с давлением $P_6 = 15,2$ МПа для чистых отсеков до 4,5, а для выносных СО до 5,0.

Исследована причина повреждения труб одностороннего выносного СО с 2-мя циклонами с последовательным питанием по воде и замкнутых на одну экранную поверхность нагрева. Показано, что при выполнении непрерывной продувки из ближнего циклона и нормировании водного режима по этому циклону, концентрация солей в дальнем циклоне приблизительно в 3 раза выше, чем в ближнем, что приводило к повышению концентрации фосфатов выше допустимых величин в особенности в периоды разгрузки котлов, что и служило причиной повреждения труб из-за коррозионных процессов

В пятой главе исследовано влияние режимов и условий эксплуатации на надежность работы котлов. Выполненное исследование влияния температуры питательной воды показало, что при ее снижении увеличивается величина конденсации пара на БПУ, что ведет к снижению кратности циркуляции, а значит и надежности. При отказе от применения БПУ кратность циркуляции увеличивается на $0,5 \div 0,8$. Исследование снижения давления в котле ниже номинального при $Q_k = \text{const}$, показало увеличение кратности циркуляции в контурах, а значит и повышении надежности. Исследование влияния перекоса по расходу газа по горелкам показало, что различие в концентрации солей между панелями из-за различия в тепловосприятии может составлять 40% и более, поэтому работа котлов при перекосах по горелкам или из-за шлаковки поверхностей нагрева приводит к снижению надежности. Экспериментально установлено, что при перекосах по теплу между левыми и правыми панелями СО линии солевого выравнивания не устраняют солевые перекосы. Исследование подачи ПВ в линию ввода фосфатов в барабан показало, что химический перекося по длине барабана снижается приблизительно в два раза. Исследование влияния продолжительности периодических продувок выносных СО на надежность гидравлики и температурного режима поверхностей нагрева, замкнутых на них, показало, что при продувке через штуцер $d_{\text{вн}} = 20$ мм даже до 2 мин надежность циркуляционных контуров не снижается. Наличие ЛСВ приводит к меньшему снижению уровней воды в выносных циклонах.

Анализ степени новизны и обоснованности научных положений диссертации

В диссертационной работе разработан комплекс научно-обоснованных методических положений, направленных на совершенствование анализа работы барабанных котлов тепловых электрических станций, повышения их надежности и эффективности. К научным достижениям следует отнести уточнённую методику расчета схем ступенчатого испарения с двухсторонними солевыми отсеками; уточнённую методику расчета линий солевого выпаривания между солевыми отсеками; модель распределения концентрации солей в выносных солевых отсеках, имеющих по две пары выносных циклонов на сторону котла и замкнутых, каждый, на одну экранную поверхность нагрева; новую эффективную внутрикотловую схему для барабанных котлов-утилизаторов высокого давления ПГУ без барботажно-промывных устройств; условия обеспечения надежного температурного режима в топочных испарительных поверхностях нагрева с односторонним обогревом, с обоснованием для котлов с $P=12,5$ МПа увеличения кратности циркуляции с 4 до 4,5 для чистых отсеков и до 5,0 для выносных солевых отсеков.

В рамках исследования разработано большое количество дополнительных и вспомогательных методик анализа работы оборудования, в том числе конструкторских и технико-экономических, а также нормативно-техническая документация.

Значительная часть исследований проведена в условиях внедрения разработанных и научно-обоснованных технических решений: сепарационные устройства для котлов-утилизаторов ПГУ с одноступенчатой схемой испарения, технологии температурного контроля с примесями температурных вставок ВТИ. Все это подтверждает справедливость выдвинутых оценок и положений.

Совокупность разработанных положений составляет научную новизну исследования.

Применение всех методов обосновано, а достоверность результатов подтверждается использованием апробированных методик исследования и расчетов, верификацией разработанных математических моделей с использованием результатов экспериментальных исследований гидравлического и теплотехнического режимов на реальных объектах энергетики, сопоставимостью данных по иным источникам.

Практическую значимость диссертации составляют следующие результаты. Проведено большое количество научно-прикладных работ для энергетических предприятий РФ, а именно:

Разработаны: «Рекомендации по наладке внутрикотловых сепарационных устройств барабанных котлов». СО 34.26.729 Реестр действующих в электроэнергетике НТД на 01.07.2003; схема температурного контроля экранов топки с применением температурных вставок ВТИ оригинальной конструкции на котле БКЗ-420-140 Ново-Зиминской ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго»; сепарационные устройства для двух барабанов ВД без

БПУ для КУ ПК-85 с одноступенчатой схемой испарения ПГУ Новогорьковской ТЭЦ.

Выполнена реконструкция сепарационных устройств котла БКЗ-75-39 Сакской ТЭЦ для обеспечения надежной работы с солесодержанием питательной воды $S_{\text{пв}} < 500 \text{ мг/дм}^3$ и $p < 5,0 \%$; внутрикотловых устройств чистых и выносных солевых отсеков на котлах ТПЕ-208 Череповецкой, Псковской ГРЭС и ТГ-104 Сургутской ГРЭС-1 для повышения их надежности и эффективности.

По результатам работы имеется четыре авторских свидетельства и патента на изобретение.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Федорову А.И., они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимости.

Работа прошла широкую апробацию. Основное содержание выполненных исследований, научных и практических разработок изложено в 76 публикациях, в том числе в 35 статьях в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, и в их числе в 12 публикациях, рецензированных в международных базах данных Scopus, в четырех патентах на изобретение, одном учебно-методическом пособии, одном отраслевом нормативном документе. В опубликованных материалах достаточно полно отражены основные результаты диссертационной работы. По результатам работы сделано 12 докладов на международных и российских конференциях и семинарах.

Вместе с тем по работе имеются замечания и вопросы.

Замечания и вопросы по диссертации

Замечания

1. Библиографический список составляет 183 работы только российских авторов, и в нем ссылки на 43 работы самого автора. И хотя во введении дается объяснение этому, хотелось бы видеть хотя бы анализ работы зарубежных авторов по гидравлическим процессам в циркуляционных контурах.

2. Работа имеет четко выраженный прикладной характер. В практической значимости перечислены ТЭС, где внедрены результаты исследований. Тем не менее, в работе нет ни одного подтверждающего документа, актов внедрения или использования результатов работы на объектах энергетики РФ

3. На протяжении всей работы наблюдаются некорректные формулы химических веществ: PO_4 вместо PO_4^{3-} , Na вместо Na^+

Вопросы

4. В разделе диссертации «Результаты исследований и разработка рекомендаций, технических решений по проектированию линий

регулирования солевой кратности между солевыми и чистыми отсеками» на рис. 2.28 приведены результаты исследования гидравлики и солевого режима на котле ТПЕ-208 с односторонним солевым отсеком, линий солевой кратности при ее отключении и включении, при этом показано, что при включении в работу ЛСК уровни воды в выносных циклонах солевых отсеков снижаются. В чем причина этого процесса?

5. Какие требования к организации водно-химического режима с меньшей подачей фосфатов для котлов с эффективно работающими линиями солевой кратности?

6. В разделе диссертации «Исследование влияния подачи питательной воды в линию ввода фосфатов на равномерность их распределения по барабану» выполнена экспериментальная проверка РД и Инструкции по фосфатированию котловой воды, где дана рекомендация непосредственно перед барабаном производить разбавление фосфатов питательной водой. Непонятно, с чем связаны экстремальные зависимости удельной электрической проводимости и pH по длине барабана котла (рис. 5.4.)?

7. В пункте 11 заключение диссертации отмечается, что для контроля надежности и водно-химического режима котлов рекомендуется дополнить объём штатных схем контроля отборами проб котловой воды, в том числе из опускной трубы панели экрана при наличии систематических повреждений в этом экране. Какова необходимость такого дополнения? И в целом, насколько усложнят штатную схему контроля котловой воды все перечисленные дополнения?

Заключение по диссертации

Указанные замечания не затрагивают существа основных положений, выводов и рекомендаций диссертации.

Тема, содержание и полученные результаты диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты» по следующим направлениям исследования: п. 4 «Разработка конструкций теплового и вспомогательного оборудования и компьютерных технологий их проектирования и диагностирования»; п. 5 «Повышение надежности и рабочего ресурса агрегатов, систем и тепловых электростанций в целом»; п. 6 «Разработка вопросов эксплуатации систем и оборудования тепловых электростанций»

Диссертационная работа выполнена на высоком теоретическом и профессиональном уровне и представляет собой комплекс знаний, описывающих взаимосвязанные процессы гидравлического, температурного и солевого режима в барабанах, выносных солевых отсеках и циркуляционных контурах, замкнутых на них. Этот комплекс включает в себя методики, экспериментальные данные, модели процессов и результаты расчетных исследований. В работе изложены научно-обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный экономический эффект в развитие энергетики страны.

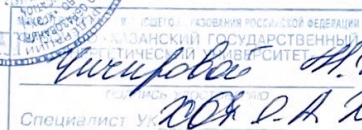
Докторская диссертация Федорова Алексея Ивановича «Научно-техническое обеспечение эффективности сепарационных устройств, выносных солевых отсеков и циркуляционных контуров барабанных котлов ТЭС» представляет собой научно-квалификационную работу и соответствует критериям, предъявляемым к докторским диссертациям (пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней») (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842), а ее автор заслуживает присвоение ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

доктор химических наук, профессор,
Директор Института теплоэнергетики,
заведующий каф. «Атомные и тепловые
электрические станции», Федеральное
государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Казанский
государственный энергетический
университет», адрес: Красносельская ул.,
51, Казань, Респ. Татарстан, 420066.
тел. 8843519-43-60

E-mail: ndchichirova@mail.ru

Сайт: <http://kgeu.ru/>

Чичирова
Наталья Дмитриевна



Специалист у:

Чичирова Н.Д.
2008 г. А. А. Рабеев
28.09.2014