

На правах рукописи



Мингараева Екатерина Валерьевна

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕАЭРАЦИИ ВОДЫ НА ТЕПЛОВЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ**

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново – 2018

Работа выполнена в научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор **Шарапов Владимир Иванович**

Официальные оппоненты:

Веселовская Елена Вадимовна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», профессор кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника»

Виноградов Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», доцент кафедры «Химия и химические технологии в энергетике»

Ведущая организация: Открытое акционерное общество «Всероссийский дважды ордена трудового красного знамени теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ»), г. Москва

Защита состоится «14» декабря 2018 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 212.064.01 при ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» по адресу: 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, корпус «Б», ауд. 237.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, 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 ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

Текст диссертации размещен http://ispu.ru/files/Dissertaciya_Mingaraeva.pdf

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

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.064.01,
доктор технических наук, доцент



Бушуев
Евгений Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности являются одними из важнейших задач в энергетике. Научная деятельность многих современных исследователей направлена на разработку новых энергосберегающих технологий, а также на повышение эффективности использования существующего оборудования на тепловых электрических станциях.

На энергетическую эффективность ТЭЦ существенное влияние оказывают технологии деаэрации воды. Качественная противокоррозионная обработка технологических потоков воды при минимально возможной температуре деаэрации приводит к повышению энергетической эффективности теплофикационных турбоустановок и, как следствие, повышению экономичности работы всей тепловой электрической станции.

Степень разработанности темы исследования

Исследованиями термической деаэрации воды и созданием новых конструкций деаэраторов в 50-80-е годы прошлого века занимались НПО ЦКТИ, УралВТИ. Кроме того, в те же годы фундаментальные исследования массообмена и гидродинамики в аппаратах, аналогичных деаэраторам, были проведены в области химической технологии. В настоящее время исследованиями термической деаэрации воды в атмосферных деаэраторах активно занимается научная школа ИГЭУ. Наиболее значимые исследования работы деаэраторов на тепловых электростанциях в последние 40 лет выполнены в УлПИ-УлГТУ, где созданы высокоэкономичные схемы теплофикационных турбоустановок с термическими деаэраторами и доказано, что для повышения энергетической эффективности этих установок следует стремиться к проведению деаэрации воды при минимально возможной температуре теплоносителей.

Цель работы – повышение энергетической эффективности ТЭЦ за счет создания и научного обоснования новой технологии низкотемпературной деаэрации подпиточной воды теплосети и добавочной питательной воды котлов.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Анализ влияния технологий деаэрации подпиточной воды и добавочной питательной воды на энергетическую эффективность ТЭЦ.
2. Анализ традиционных технологий деаэрации воды на ТЭЦ.
3. Разработка технологий низкотемпературной дегазации подпиточной воды теплосети и добавочной питательной воды котлов ТЭЦ.
4. Определение теоретически необходимого удельного расхода природного газа при низкотемпературной дегазации воды на ТЭЦ.
5. Исследование гидродинамических характеристик дегазаторов при использовании в качестве десорбирующей среды природного газа.
6. Исследование энергетической эффективности газовой деаэрации подпиточной воды теплосети на ТЭЦ.
7. Исследование энергетической эффективности низкотемпературной газовой деаэрации добавочной питательной воды котлов ТЭЦ при работе теплофикационных турбин в режимах с малыми пропусками пара в конденсатор.

8. Оценка технико-экономической эффективности и инвестиционной привлекательности проектов низкотемпературной газовой дегазации воды на ТЭЦ.

9. Оценка сферы применения технологии низкотемпературной газовой дегазации в теплоэнергетических установках.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана и научно обоснована принципиально новая технология низкотемпературной деаэрации подпиточной воды теплосети и добавочной питательной воды котлов тепловых электрических станций с использованием в качестве десорбирующей среды природного газа.

2. Определены значения теоретически необходимого удельного расхода природного газа при низкотемпературной дегазации воды на ТЭЦ.

3. Исследованы и определены гидродинамические характеристики деаэраторов при использовании в качестве десорбирующей среды природного газа, в результате чего доказано, что для газовой деаэрации воды могут применяться серийно выпускаемые струйно-барботажные деаэраторы.

4. Разработаны методики расчета энергетической эффективности работы тепловых электрических станций при низкотемпературной деаэрации технологических потоков воды природным газом.

Новизна созданных технических решений подтверждена 8 патентами на изобретения и 4 свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Теоретическая и практическая значимость работы

Полученные при теоретическом обосновании разработанной технологии научные результаты вносят вклад в развитие методов расчета массообмена и гидродинамики деаэраторов, методов расчета энергетической эффективности деаэрации воды и могут использоваться при реализации конкретных проектов низкотемпературной газовой деаэрации воды на ТЭЦ.

Выполненные разработки позволяют существенно повысить энергетическую эффективность турбоустановок благодаря понижению температуры деаэрированной подпиточной воды теплосети и добавочной питательной воды котлов электростанций, а так же за счет повышения на 4-5% КПД турбоустановок в чисто теплофикационных режимах при полностью загруженных отопительных отборах турбины, повысить надежность теплоэнергетических установок, где отсутствуют источники пара или перегретой воды. Часть результатов, связанных с повышением надежности теплофикационных турбоустановок, внедрена на Ульяновской ТЭЦ-1. Новая технология низкотемпературной противокоррозионной обработки подпиточной воды теплосети принята к использованию на Ульяновской ТЭЦ-1. Ее внедрение планируется при реализации проектов модернизации ТЭЦ.

Методология и методы исследования: теоретические методы исследования массообмена и гидродинамики в тепломассообменных аппаратах, основанные на классических законах физики и химии; теоретические методы исследования энергетической эффективности и технико-экономической эффективности разработанных решений; эвристические методы поиска новых технических решений. Разработка программных

продуктов производилась с использованием языка программирования C# и среды разработки Microsoft Visual Studio.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная принципиально новая технология низкотемпературной деаэрации подпиточной воды теплосети и добавочной питательной воды котлов тепловых электрических станций с использованием в качестве десорбирующей среды природного газа.

2. Результаты научного обоснования возможности реализации низкотемпературной деаэрации воды при использовании в качестве десорбирующего агента природного газа на ТЭЦ, которое заключается в исследовании массообмена и гидродинамики в дегазаторах.

3. Результаты исследования энергетической эффективности деаэрации подпиточной воды теплосети природным газом.

4. Результаты исследования энергетической эффективности деаэрации добавочной питательной воды котлов природным газом в режимах работы теплофикационных турбоустановок с малыми пропусками пара в конденсатор.

Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность результатов диссертации обеспечена применением многократно проверенных классических методов исследования массообмена и гидродинамики в теплообменных аппаратах, а также использованием широко апробированных основ расчета энергетической эффективности деаэрации на ТЭЦ, утвержденных в 1996 г. Департаментом науки и техники РАО «ЕЭС России».

Апробация работы

Научные результаты диссертации представлены на XII Международной научно-технической конференции «Современные научно-технические проблемы теплоэнергетики. Пути решения» (2014 г., г. Саратов), в XX Школе-семинаре молодых ученых и специалистов «Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических установках» (2015 г., г. Звенигород), на Международной конференции «IX семинар ВУЗов по теплофизике и энергетике» (2015 г., г. Казань), на VI Международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции», (2015 г., г. Москва), на XV Минском международном форуме по тепло- и массообмену (2016 г., г. Минск), на XIII Международной научно-технической конференции «Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов», (2016 г., г. Саратов), на Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (2017 г., г. Москва).

Все результаты диссертационной работы получены лично автором под научным руководством д.т.н., профессора В.И. Шарапова.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация соответствует формуле паспорта специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты и областям исследования, указанным в паспорте научной специальности (п. 2, 3, 5).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 40 печатных работ, в том числе 12 в журналах из перечня ВАК, 4 статьи в журналах, входящих в международную базу

Scopus, 8 патентов на изобретения, 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, 12 полных текстов докладов.

Структура и объём работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 151 наименования. Общий объём работы составляет 117 страниц печатного текста, включая 29 рисунков, 2 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе приведены анализ этапов развития технологий деаэрации воды на тепловых электрических станциях, оценка влияния технологий дегазации на энергетическую эффективность работы ТЭЦ, сделан вывод о том, что для повышения энергетической эффективности структурных изменений в схемах ТЭЦ необходимо, прежде всего, понижение энтальпии пара, используемого на подогрев теплоносителей до и после деаэрации. Приведены наиболее эффективные существующие схемы для традиционных технологий деаэрации, анализ которых привел к разработке принципиально новой технологии низкотемпературной дегазации технологических потоков воды на ТЭЦ.

На основании поставленной цели и проведенного анализа научных работ сформулированы основные задачи исследования (рис. 1).



Рис. 1. Схема решения проблемы

Во второй главе рассматривается новая технология низкотемпературной деаэрации подпиточной воды теплосети (рис. 2) и добавочной питательной воды котлов (рис. 3),

особенностью которой является использование в качестве десорбирующего агента в деаэраторе не пара или перегретой воды, а природного газа, подаваемого в горелки котлов ТЭЦ. Природный газ после редуцирующих установок имеет весьма низкую, часто – отрицательную температуру. В то же время он практически не содержит коррозионно-агрессивных газов: кислорода и диоксида углерода, благодаря чему может успешно использоваться в качестве десорбирующего агента при деаэрации воды. Благодаря этим факторам деаэрацию производят при относительно низких температурах (10-30°C).

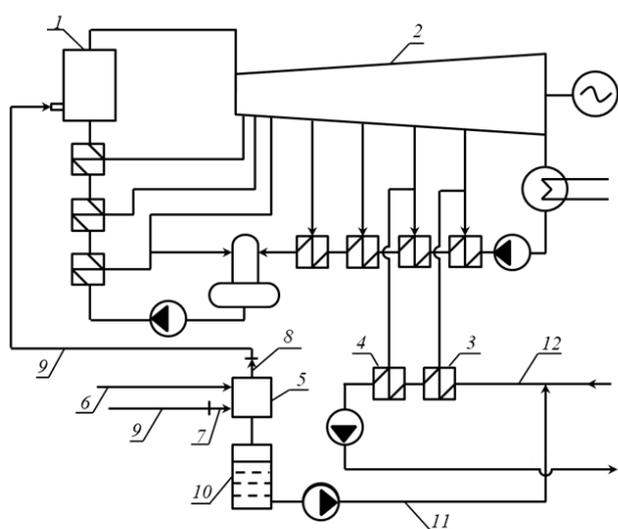


Рис. 2. Схема ТЭЦ с низкотемпературной деаэрацией подпиточной воды теплосети: 1 – паровой котел; 2 – теплофикационная турбина; 3, 4 – нижний и верхний сетевые подогреватели; 5 – деаэратор; 6 – трубопровод исходной воды; 7, 8 – патрубки подвода и отвода десорбирующего агента; 9 – газопровод, 10 – бак-аккумулятор; 11 – трубопровод подпиточной воды; 12 – обратный сетевой трубопровод

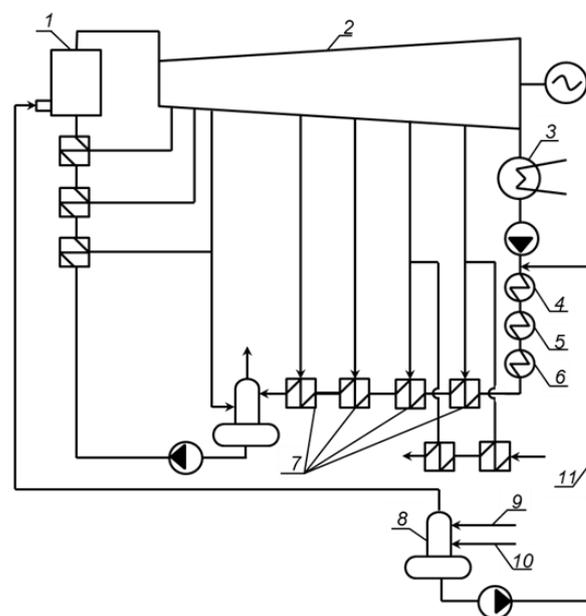


Рис. 3. Схема ТЭЦ с низкотемпературной деаэрацией добавочной питательной воды котлов: 1 – паровой котел; 2 – теплофикационная турбина; 3 – конденсатор; 4 – охладитель основного эжектора; 5 – охладитель пара уплотнений; 6 – сальниковый подогреватель; 7 – подогреватели низкого давления; 8 – деаэратор; 9 – трубопровод исходной воды; 10 – газопровод; 11 – трубопровод деаэрированной добавочной питательной воды

Применение технологии низкотемпературной деаэрации подпиточной воды теплосети природным газом приводит к смешению холодной деаэрированной подпиточной воды с обратной сетевой водой. Это обеспечивает существенное понижение температуры обратной сетевой воды перед нижним сетевым подогревателем, возрастание выработки электроэнергии на тепловом потреблении и, как следствие, повышение экономичности работы тепловой электрической станции.

Технология низкотемпературной деаэрации добавочной питательной воды природным газом позволяет повысить эффективность охлаждения охладителя основных эжекторов, охладителя пара уплотнений турбины и сальникового подогревателя, что позволяет отключить рециркуляцию основного конденсата через ОУ, ОЭ и СП в чисто теплофикационных режимах с малыми пропусками пара в конденсатор. Таким образом, новая технология позволяет избежать потери теплоты в конденсаторе и снизить затраты электроэнергии на привод конденсатного насоса, обеспечивающего рециркуляцию.

В третьей главе для исследования технологической возможности применения технологии низкотемпературной деаэрации воды оценены массообменная эффективность и гидродинамические условия работы деаэратора при использовании в качестве десорбирующей среды природного газа.

В основу методики определения массообменной эффективности, а именно теоретически необходимого удельного расхода природного газа для удаления из воды растворенного кислорода $d_{\text{газа}}^{\text{min}}$, кг/т, положено решение балансовых уравнений процессов массообмена и теплообмена при деаэрации при условии, что на выходе из деаэратора достигается равновесие между фазами. Расчетная схема деаэратора приведена на рис. 4.

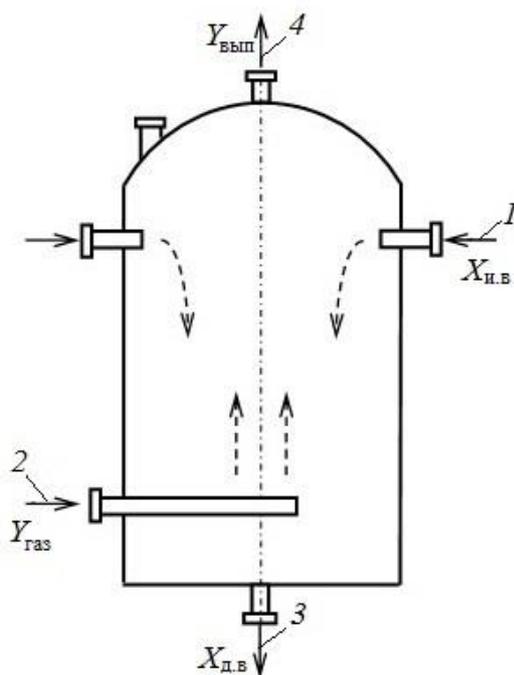


Рис. 4. Схема деаэрационной колонки противоточного типа: 1 – подвод исходной воды; 2 – подвод десорбирующего агента; 3 – отвод деаэрированной воды; 4 – отвод выпара деаэратора

Уравнение материального баланса деаэрации запишем в виде

$$G_{\text{и.в}} X_{\text{и.в}} + D_{\text{газ}} Y_{\text{газ}} = G_{\text{д.в}} X_{\text{д.в}} + D_{\text{вып}} Y_{\text{вып}}, \quad (1)$$

где $G_{\text{и.в}}$ и $G_{\text{д.в}}$ – количество исходной и деаэрированной воды, кг/ч; $D_{\text{газ}}$ – расход природного газа, подаваемого в деаэратор, кг/ч; $D_{\text{вып}}$ – расход выпара деаэратора (смеси выделившихся из воды коррозионно-агрессивных газов и природного газа), кг/ч; $X_{\text{и.в}}$, $X_{\text{д.в}}$ – концентрации кислорода в воде на входе в деаэратор и на выходе из него; $Y_{\text{газ}}$, $Y_{\text{вып}}$ – содержание кислорода в природном газе на входе в деаэратор и в выпаре на выходе из деаэратора.

Согласно закону Дальтона общее давление газовой или парогазовой смеси равно сумме парциальных давлений газов и паров, составляющих смесь. Из закона Генри следует, что концентрация газа, растворенного в воде, пропорциональна парциальному давлению этого газа над поверхностью воды.

Концентрация кислорода в газе на входе в деаэратор $Y_{\text{газ}}$ практически равна нулю. Концентрация кислорода в выпаре, покидающем деаэратор, зависит от схемы движения воды и пара в аппарате. При противоточном движении мольная доля O_2 в парогазовой смеси $Y_{\text{вып}}$ равна

$$Y_{\text{вып}} = K_{\Gamma}^{O_2} X_{\text{и.в}}/p, \quad (2)$$

где $K_{\Gamma}^{O_2}$ – коэффициент Генри (константа фазового равновесия для кислорода), Па; p – давление в деаэраторе, Па.

При противоточной схеме движения воды и природного газа в деаэраторе минимальное количество природного газа составит

$$D_{\text{газ}}^{\min} = G_{\text{и.в}} \frac{p}{K_{\Gamma}^{O_2}} \frac{X_{\text{и.в}} - X_{\text{д.в}}}{X_{\text{и.в}}}, \quad (3)$$

или для удельной величины

$$d_{\text{газ}}^{\min} = \frac{D_{\text{газ}}^{\min}}{G_{\text{и.в}}}. \quad (4)$$

Расчет теоретически необходимого удельного расхода природного газа при низкотемпературной дегазации воды на ТЭЦ, показал, что на 1 т воды требуется около 1 м³ природного газа (рис. 5). В реальных условиях работы деаэратора необходимый удельный расход газа на деаэрацию следует принимать в 3-5 раз больше теоретически необходимого.

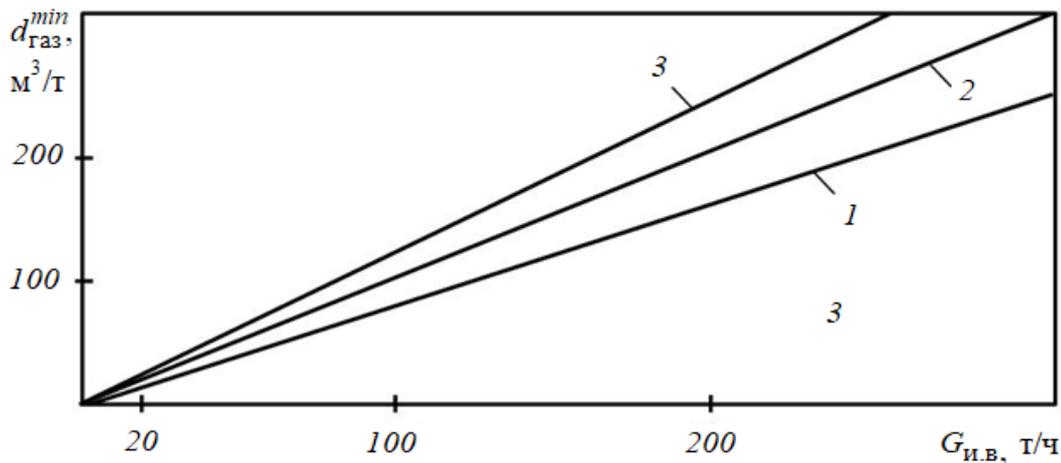


Рис. 5. Теоретически необходимый расход десорбирующего агента – природного газа при противоточном движении воды и газа в деаэраторе (концентрация O_2 в воде на входе в деаэратор: 1 – 8 мг/дм³; 2 – 10 мг/дм³; 3 – 12 мг/дм³)

Таким образом, нормативная массообменная эффективность деаэраторов, на которых в качестве десорбирующей среды используется природный газ, подаваемый в горелки котлов тепловых электростанций, обеспечивается при относительно невысоком расходе газа на деаэрацию.

При исследовании гидродинамических характеристик газового деаэратора необходимыми задачами являются: определение скорости газа в отверстиях барботажного листа, расчет высоты газовой подушки под барботажным листом и обеспечение отсутствия брызгоуноса из деаэратора.

В качестве примера устройства для дегазации воды природным газом был принят серийно выпускаемый струйно-барботажный атмосферный деаэратор ДА-25 с непровальной дырчатой барботажной тарелкой, установленной в нижней части деаэрационной колонки (рис. 6). Выбор этого деаэратора в качестве примера для расчета обусловлен тем, что этот деаэратор имеет достаточно совершенную конструкцию, позволяющую обеспечить весьма высокое качество деаэрации при использовании в качестве рабочего агента водяного пара. Испытания этого деаэратора показали, что на нем можно добиться предельно низкой остаточной концентрации растворенного кислорода в деаэрированной воде – до 2-3 мкг/дм³ при минимальном расходе выпара.

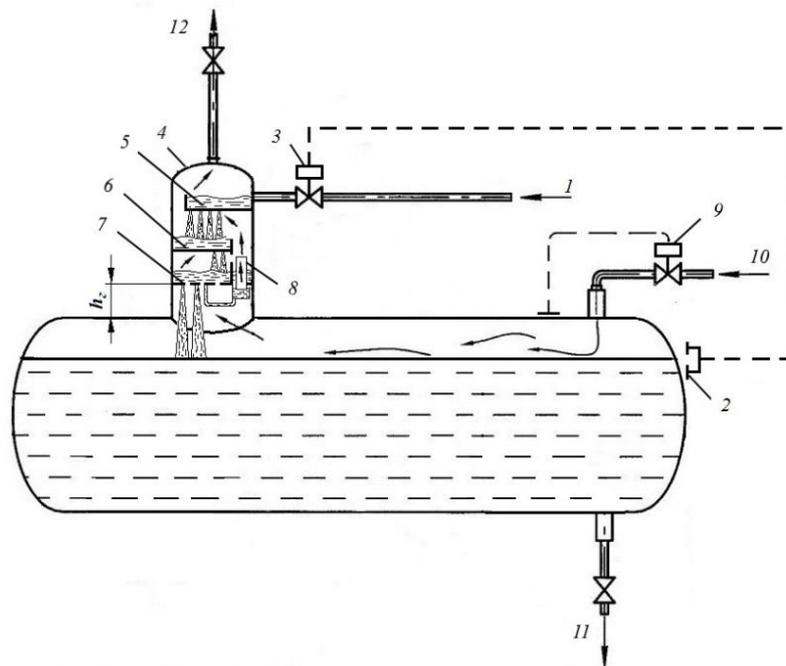


Рис. 6. Схема струйно-барботажного деаэратора: 1 – подвод деаэрируемой воды; 2 – датчик уровня воды в баке-аккумуляторе; 3 – регулятор уровня; 4 – деаэрационная колонка; 5 – верхняя тарелка; 6 – перепускная тарелка; 7 – барботажная тарелка; 8 – перепускное устройство; 9 – регулятор давления; 10 – подвод природного газа; 11 – отвод деаэрированной воды; 12 – отвод газа в горелки котла

Минимальная скорость газа в отверстиях листа для одиночного отверстия определяется по формуле (Оликер И.И., Пермяков В.А.):

$$W_{\text{мин}} = \frac{1,25 \cdot 12 \sqrt{\frac{4\sigma}{(\gamma_{\text{ж}} - \gamma_{\text{п}})d^2}} \sqrt[4]{g^2 \sigma (\gamma_{\text{ж}} - \gamma_{\text{п}})}}{\sqrt{\gamma_{\text{п}}}}, \quad (5)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения системы вода-газ, кг/м; $\gamma_{\text{ж}}$ – удельный вес воды в барботажном устройстве, кгс/м³; $\gamma_{\text{п}}$ – удельный вес газа в паровой подушке барботажного устройства, кгс/м³; d – диаметр отверстий или ширина щелей в барботажном листе, м.

Основным фактором, оказывающим определяющее влияние на величину минимальной необходимой скорости, является удельный вес газа. Скорость газа в отверстиях тарелки, соответствующая беспровальному режиму, не зависит от высоты слоя жидкости, ее свойств, диаметра отверстий и степени перфорации тарелки.

Для определения равномерной раздачи газа через отверстия или щели барботажного листа необходимо обеспечить под ним устойчивую газовую подушку. Высота газовой подушки под листом приближенно определяется соотношением (Кутателадзе С.С., Стырикович М.А.):

$$h = 2 \cdot 3 \sqrt{\frac{2\sigma^2}{(\gamma_{\text{ж}} - \gamma_{\text{г}})^2 d_o}} + \xi \frac{w_{\text{ср}}^2 \gamma_{\text{г}}}{2g(\gamma_{\text{ж}} - \gamma_{\text{г}})}, \quad (6)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения системы вода-газ, кг/м; $\gamma_{\text{ж}}$ – удельный вес воды в барботажном устройстве, кгс/м³; d_o – диаметр отверстий в барботажном листе, м.

Установить наличие или отсутствие брызгоуноса можно по скорости газа в колонке деаэратора. Устойчивый режим нисходящего потока существует при скоростях газа около 15-30 м/с, выше которых происходит брызгоунос.

Скорость газа в колонке деаэратора выражается следующим образом (Рамм В.М.):

$$w_{\text{колон}} = \frac{G_{\text{г}}}{S}, \quad (7)$$

где $G_{\text{г}}$ – расход газа, м³/ч; S – площадь живого сечения, м².

В результате расчета было получено следующее:

1. Расчетная скорость газа в отверстиях барботажного листа $w_{\text{ср}}=57,58$ м/с.
2. Высота газовой подушки под барботажным листом $h=25,5$ см.
3. Скорость газа в колонке деаэратора $w_{\text{колон}}=0,13$ м/с, следовательно брызгоунос отсутствует.

По результатам расчетов можно сделать вывод, что при эксплуатации серийного струйно-барботажного деаэратора с использованием в качестве рабочей среды природного газа выполняются все необходимые гидродинамические условия работы струйной и барботажной ступеней деаэрации.

В четвертой главе проведен анализ энергетической эффективности низкотемпературной газовой деаэрации подпиточной воды теплосети и добавочной питательной воды котлов ТЭЦ при работе теплофикационных турбин в режимах с малыми пропусками пара в конденсатор. Экономичность новой технологии оценивается по

величине годовой экономии условного топлива при переходе от традиционных схем деаэрации технологических потоков воды к схеме дегазации воды природным газом.

Разработанные в диссертации методики расчета энергетической эффективности базируются на основах метода удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении за счет отборов пара на подогрев теплоносителей в тепловой схеме водоподготовки, утвержденных в 1996 г. Департаментом науки и техники РАО «ЕЭС России».

Методика расчета энергетической эффективности низкотемпературной газовой деаэрации подпиточной воды теплосети

Мощность $N_{\text{тф}}^{\text{нсп}}$, кВт, развиваемая турбиной на тепловом потреблении за счет нижнего теплофикационного отбора пара на подогрев потоков сетевой воды в нижнем сетевом подогревателе:

$$N_{\text{тф}}^{\text{нсп}} = \frac{G_{\text{с.в}}(i_o - i_{\text{нсп}})(\tau_1 - \tau_2)c}{i_{\text{нсп}} - i_{\text{кнсп}}} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{м}}, \quad (8)$$

где $G_{\text{с.в}}$ – расход сетевой воды через сетевые подогреватели, т/ч; τ_1 – расчетная температура сетевой воды, подаваемой потребителю после подогрева в сетевых подогревателях, °С; τ_2 – температура обратной сетевой воды после смешения с холодной деаэрированной подпиточной водой, °С; c – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·°С); i_o – энтальпия острого пара, кДж/кг; $i_{\text{нсп}}$ – энтальпия пара нижнего отбора, кДж/кг; $i_{\text{кнсп}}$ – энтальпия конденсата нижнего сетевого подогревателя, кДж/кг; $\eta_{\text{э}} \eta_{\text{м}}$ – электрический и механический КПД турбогенератора.

Мощность, вырабатываемая паром отборов, расходуемым на регенеративный подогрев конденсата пара, используемого для подогрева потоков сетевой воды в нижнем сетевом подогревателе:

$$N_{\text{рег}}^{\text{нсп}} = \frac{G_{\text{с.в}}(\tau_1 - \tau_2)(i_{\text{п.в}} - i_{\text{кнсп}})(i_o - i_{\text{рег}}^{\text{нсп}})c}{(i_{\text{нсп}} - i_{\text{кнсп}})(i_{\text{рег}}^{\text{нсп}} - i_{\text{п.в}})} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{м}}, \quad (9)$$

где $i_{\text{рег}}^{\text{нсп}} = 0,5(i_o + i_{\text{нсп}})$ – энтальпия условного эквивалентного регенеративного отбора, кДж/кг.

Мощность $N_{\text{тф}}^{\text{всп}}$, кВт, развиваемая турбиной на тепловом потреблении за счет верхнего теплофикационного отбора пара на подогрев потоков сетевой воды в верхнем сетевом подогревателе:

$$N_{\text{тф}}^{\text{всп}} = \frac{G_{\text{с.в}}(i_o - i_{\text{всп}})(\tau_1 - \tau_2)c}{i_{\text{всп}} - i_{\text{квсп}}} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{м}}, \quad (10)$$

где $i_{\text{всп}}$ – энтальпия пара верхнего отбора, кДж/кг; $i_{\text{квсп}}$ – энтальпия конденсата верхнего сетевого подогревателя, кДж/кг.

Мощность, вырабатываемая паром отборов, расходуемым на регенеративный подогрев конденсата пара, используемого для подогрева потоков сетевой воды в верхнем сетевом подогревателе:

$$N_{\text{рег}}^{\text{всп}} = \frac{G_{\text{с.в}}(\tau_1 - \tau_2)(i_{\text{п.в}} - i_{\text{квсп}})(i_o - i_{\text{рег}}^{\text{всп}})c}{(i_{\text{всп}} - i_{\text{квсп}})(i_{\text{рег}}^{\text{всп}} - i_{\text{п.в}})} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{м}}, \quad (11)$$

где $i_{\text{рег}}^{\text{всп}} = 0,5(i_o + i_{\text{всп}})$ – энтальпия условного эквивалентного регенеративного отбора, кДж/кг.

Увеличение расхода топлива на дополнительную выработку пара в котле при увеличении расхода пара на нижний и верхний сетевые подогреватели и снижении энтальпии этого пара:

$$\Delta B_{\text{доп}} = \frac{\Delta D(i_o - i_{\text{п.в}})}{Q_{\text{у.т}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \quad (12)$$

где ΔD – увеличение расхода пара при изменении температуры сетевой воды, т/ч; $Q_{\text{у.т}}$ – теплота сгорания условного топлива, кДж/кг; $\eta_{\text{к}}$ – КПД котла.

Годовая экономия условного топлива на ТЭЦ при использовании новой технологии составляет:

$$\Delta B = \left((\Delta N_{\text{тф}} + \Delta N_{\text{рег}}) (b_{\text{э}}^{\text{к}} - b_{\text{э}}^{\text{т}}) 10^{-3} - \Delta B_{\text{доп}} \right) n_{\text{час}}, \quad (13)$$

где $b_{\text{э}}^{\text{к}}$ – удельный расход условного топлива на конденсационную выработку электроэнергии; $b_{\text{э}}^{\text{т}}$ – удельный расход условного топлива на теплофикационную выработку электроэнергии; $n_{\text{час}}$ – число часов использования турбины.

Расчет показал, что на одной установке с турбиной Т-100-130 и котлом паропроизводительностью 500 т/ч достигается годовая экономия условного топлива около 4587 т.

Методика расчета энергетической эффективности низкотемпературной газовой деаэрации добавочной питательной воды котлов ТЭЦ при работе теплофикационных турбин в режимах с малыми пропусками пара в конденсатор

Мощность $N_{\text{тф пнд-1,2}}$, кВт, развиваемая турбиной на тепловом потреблении за счет отопительных отборов пара на подогрев потоков воды в ПНД-1 и ПНД-2:

$$N_{\text{тф пнд-1,2}} = \frac{G_{\text{пнд-1,2}} \left(\tau_{1\text{пнд-1,2}} - \tau_{2\text{пнд-1,2}} \right) (i_o - i_{\text{пнд-1,2}}) c}{i_{\text{пнд-1,2}} - i_{\text{кпнд-1,2}}} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{м}}, \quad (14)$$

где $G_{\text{пнд-1,2}}$ – расход смешанного потока основного конденсата и добавочной питательной воды через ПНД-1 и ПНД-2, т/ч; $\tau_{1\text{пнд-1,2}}$ – температура смешанного потока основного конденсата и добавочной питательной воды после ПНД-2, °С; $\tau_{2\text{пнд-1,2}}$ – температура смешанного потока основного конденсата и добавочной питательной воды перед

ПНД-1, °С; $i_{\text{пнд-1,2}}$ – средняя энтальпия пара 6-го и 7-го отопительных отборов, кДж/кг;

$i_{\text{кпнд-1,2}}$ – энтальпия конденсата 6-го и 7-го отопительных отборов, кДж/кг.

Мощность, вырабатываемая паром отборов, расходуемым на регенеративный подогрев конденсата пара, используемого для подогрева потоков добавочной питательной воды и конденсата, определяется по формуле:

$$N_{\text{рег пнд-1,2}} = \frac{G_{\text{пнд-1,2}} \left(\tau_{1\text{пнд-1,2}} - \tau_{2\text{пнд-1,2}} \right) \left(i_{\text{п.в}} - i_{\text{кпнд-1,2}} \right) \left(i_{\text{о}} - i_{\text{рег пнд-1,2}} \right) c}{\left(i_{\text{пнд-1,2}} - i_{\text{кпнд-1,2}} \right) \left(i_{\text{рег пнд-1,2}} - i_{\text{п.в}} \right)} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{м}}, \quad (15)$$

где $i_{\text{рег пнд-1,2}} = 0,5(i_{\text{о}} + i_{\text{пнд-1,2}})$ – энтальпия пара условного эквивалентного регенеративного отбора, кДж/кг.

Мощность $N_{\text{тф пнд-3,4}}$, кВт, развиваемая турбиной на тепловом потреблении за счет регенеративных отборов пара на подогрев потоков добавочной питательной воды и конденсата в ПНД-3 и ПНД-4:

$$N_{\text{тф пнд-3,4}} = \frac{G_{\text{пнд-3,4}} \left(\tau_{1\text{пнд-3,4}} - \tau_{2\text{пнд-3,4}} \right) \left(i_{\text{о}} - i_{\text{пнд-3,4}} \right) c}{i_{\text{пнд-3,4}} - i_{\text{кпнд-3,4}}} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{м}}, \quad (16)$$

где $G_{\text{пнд-3,4}}$ – расход основного конденсата через ПНД-3 и ПНД-4, т/ч; $\tau_{1\text{пнд-3,4}}$ – температура потока основного конденсата после ПНД-4, °С; $\tau_{2\text{пнд-3,4}}$ – температура потока основного конденсата перед ПНД-3, °С; $i_{\text{пнд-3,4}}$ – средняя энтальпия пара 4-го и 5-го регенеративных отборов, кДж/кг; $i_{\text{кпнд-3,4}}$ – средняя энтальпия конденсата 4-го и 5-го регенеративных отборов, кДж/кг.

Мощность, вырабатываемая паром отборов, расходуемым на регенеративный подогрев конденсата пара, используемого для подогрева потоков добавочной питательной воды и конденсата:

$$N_{\text{рег пнд-3,4}}^{\text{нов}} = \frac{G_{\text{пнд-3,4}} \left(\tau_{1\text{пнд-3,4}} - \tau_{2\text{пнд-3,4}} \right) \left(i_{\text{п.в}} - i_{\text{кпнд-3,4}} \right) \left(i_{\text{о}} - i_{\text{рег пнд-3,4}} \right) c}{\left(i_{\text{пнд-3,4}} - i_{\text{кпнд-3,4}} \right) \left(i_{\text{рег пнд-3,4}} - i_{\text{п.в}} \right)} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{м}}, \quad (17)$$

где $i_{\text{рег пнд-3,4}} = 0,5(i_{\text{о}} + i_{\text{пнд-3,4}})$ – энтальпия пара условного эквивалентного регенеративного отбора, кДж/кг.

Расход топлива на выработку упомянутых в алгоритме расчета расходов пара отборов в котле:

$$\Delta B_{\text{доп}} = \frac{\Delta D_{\text{нов}} (i_{\text{о}} - i_{\text{п.в}})}{Q_{\text{у.т}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \quad (18)$$

где $\Delta D_{\text{нов}}$ – увеличение расхода пара из отборов при использовании новой технологии, т/ч.

Годовая экономия условного топлива на ТЭЦ при использовании новой технологии составит:

$$\Delta B = \left((\Delta N_{\text{тф}} + \Delta N_{\text{рег}}) (b_{\text{э}}^{\text{к}} - b_{\text{э}}^{\text{т}}) \cdot 10^{-3} \pm \Delta B_{\text{доп}} \right) \cdot n_{\text{час}} \quad (19)$$

Технология низкотемпературной деаэрации добавочной питательной воды котлов в режимах с малыми пропусками пара в конденсатор позволяет избежать потери теплоты с рециркуляцией основного конденсата через охладитель эжекторов, охладитель пара уплотнений и сальниковый подогреватель. Величины тепловых потоков через эти теплообменники составляют $Q_{\text{оэ}} = 1,68 \text{ МВт}$, $Q_{\text{оу}} = 0,67 \text{ МВт}$, $Q_{\text{сп}} = 2,56 \text{ МВт}$.

Расчет показал, что при применении новой технологии достигается годовая экономия условного топлива 2519 т в расчете на одну установку с турбиной Т-100-130.

При работе теплофикационных турбин в режимах с малыми пропусками пара в конденсатор актуальна проблема обеспечения герметичности вакуумных систем турбоустановок. Разработаны решения, позволяющие эффективно определять неплотности вакуумных систем, которые также применимы для обнаружения мест присосов воздуха в вакуумных деаэрационных установках.

В пятой главе представлены оценка технико-экономической эффективности и инвестиционной привлекательности проектов низкотемпературной газовой дегазации воды на ТЭЦ и оценка сферы применения технологии низкотемпературной газовой дегазации в теплоэнергетических установках различного назначения.

Для оценки целесообразности промышленного применения новой технологии необходимо определение инвестиционной привлекательности проектов с учетом капиталовложений в них. Наибольшие капиталовложения при внедрении новой технологии требуются в дополнительные газопроводы и регуляторы давления газа. Расчет проведен для двух вариантов подвода природного газа к деаэраторам: 1 вариант – деаэратор включен по рабочей среде в байпас основного газопровода котла, на основном газопроводе перед горелкой котла установлен регулирующий орган регулятора давления, который соединен с датчиком давления, установленным на газопроводе на выходе из деаэратора (рис. 7а); 2 вариант – проведен отдельный газопровод природного газа от ГРП до котлов и деаэраторов (рис. 7б).

В настоящее время одним из наиболее используемых критериев эффективности инвестиционных проектов является чистый дисконтированный доход, который позволяет оценить ожидаемую максимальную доходность проекта.

Интегральный метод определения чистого дисконтированного дохода основан на сопоставлении величины начальных инвестиций с общей суммой дисконтированных денежных поступлений, предполагаемых в течение срока использования инвестиций. Все денежные потоки при этом дисконтируются (приводятся) к расчетному году с помощью коэффициента дисконтирования (ставки дисконта).

В общем виде чистый дисконтированный доход NPV (англ. Net Present Value), руб., для однократного вложения инвестиций рассчитывается по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{\Pi_t}{(1+R)^t} - K_{\text{инв}}, \quad (20)$$

где Π_t – поступления денежных средств в конце периода t , руб.; t – рассматриваемый период времени, год; T – срок жизни проекта, год; R – ставка (норма) дисконта; $K_{\text{инв}}$ – капиталовложения, руб.

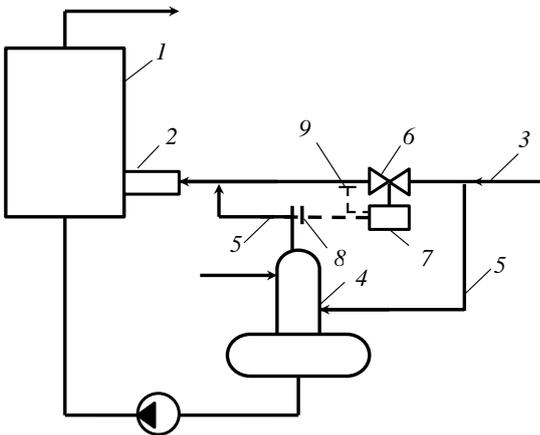


Рис. 7а. Схема подвода природного газа к деаэратору через байпас основного газопровода: 1 – котёл; 2 – горелка; 3 – газопровод природного газа; 4 – деаэратор; 5 – байпас основного газопровода; 6 – регулирующий орган регулятора давления; 7 – регулятор давления; 8, 9 – датчики давления газа на выходе из деаэратора и в основном газопроводе

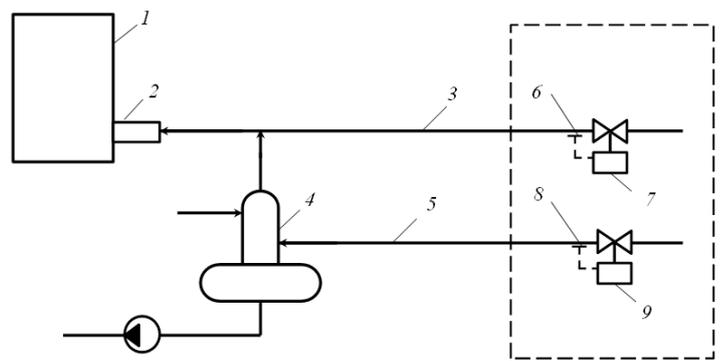


Рис. 7б. Схема подвода природного газа к деаэратору по отдельному газопроводу от ГРП: 1 – котёл; 2 – горелка; 3 – газопровод природного газа на котёл; 4 – деаэратор; 5 – газопровод природного газа на деаэратор; 6 – датчик давления газа в основном газопроводе; 7 – регулятор давления газа на котёл; 8 – датчик давления природного газа для деаэратора; 9 – регулятор давления газа для деаэратора

Величина капитальных затрат при внедрении предлагаемых технологий является сложным параметром, который включает в себя ряд составляющих, но в большей мере определяется суммой затрат на основные конструктивные элементы и затрат, связанных с изготовлением и монтажом этих элементов.

Капитальные затраты для предложенных технологий в общем виде определяются как:

$$K_{\text{инв}} = K_{\text{газ}} + K_{\text{р.д}}, \quad (21)$$

где $K_{\text{газ}}$ – капитальные затраты на газопровод природного газа, руб.; $K_{\text{р.д}}$ – капитальные затраты на регуляторы давления газа, руб.

Также учитываются затраты, связанные с монтажом новых элементов, обычно принимаемые в размере 50% от капитальных затрат.

Из табл. 1 следует, что экономия от внедрения новых технологий деаэрации подпиточной воды теплосети и добавочной питательной воды котлов существенно

превышает капитальные затраты, а срок окупаемости составляет от 9 суток до 2 месяцев, в зависимости от достигнутой экономии условного топлива и уровня капитальных затрат. Малый срок окупаемости всех рассмотренных проектов свидетельствует о высоком инвестиционном потенциале энергосберегающих технологий низкотемпературной газовой деаэрации воды на тепловых электростанциях.

Таблица 1.

Расчет чистого дисконтированного дохода

Наименование	Подпиточная вода теплосети $G_{н.в}=800$ т/ч		Добавочная питательная вода $G_{н.в}=150$ т/ч	
	вариант 1	вариант 2	вариант 1	вариант 2
Чистый денежный приток, руб.	16973611	16973611	9323186	9323186
Капитальные затраты, руб.	396200	1702500	372500	1494500
NPV, руб.	14363461,74	13057161,74	7734618,26	6612618,26
Срок окупаемости, сут.	9	37	15	59

Оценка сферы применения новой технологии показала, что низкотемпературная деаэрация с использованием в качестве десорбирующей среды природного газа является эффективным средством противокоррозионной обработки воды не только на тепловых электрических станциях, но и в районных (квартирных) водогрейных котельных и в автономных системах теплоснабжения, не имеющих источников пара, и где новая технология газовой деаэрации является практически единственным реально осуществимым средством эффективной противокоррозионной обработки воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана и научно обоснована принципиально новая технология низкотемпературной деаэрации подпиточной воды теплосети и добавочной питательной воды котлов тепловых электрических станций с использованием в качестве десорбирующей среды природного газа.

2. Доказано, что нормативная массообменная эффективность деаэраторов, на которых в качестве десорбирующей среды используется природный газ, подаваемый в горелки котлов тепловых электростанций, обеспечивается при относительно невысоком расходе газа на деаэрацию. Оценены теоретически необходимый и реальный удельный расходы природного газа на деаэрацию. Разработан программный продукт для расчета массообменных характеристик деаэраторов «Расчет удельного расхода газа при низкотемпературной дегазации воды природным газом».

3. Определены гидродинамические характеристики струйно-барботажных деаэраторов при использовании в качестве десорбирующей среды природного газа: расчет

скорости газа в отверстиях барботажного листа, высота газовой подушки под барботажным листом, обеспечивающая непривальный режим работы листа, а также скорость газа в струйной ступени, обеспечивающая отсутствие брызгоуноса из деаэрационной колонки. В результате доказано, что для газовой деаэрации воды могут применяться отечественные серийно выпускаемые струйно-барботажные деаэраторы. Разработан программный продукт «Расчет гидродинамических характеристик деаэратора при низкотемпературной дегазации воды природным газом».

4. Разработана методика расчета энергетической эффективности новой технологии деаэрации подпиточной воды теплосети. Разработан программный продукт «Расчет энергетической эффективности ТЭЦ при низкотемпературной дегазации подпиточной воды теплосети природным газом». Расчет показал, что только на одной установке с турбиной Т-100-130 и котлом паропроизводительностью 500 т/ч достигается годовая экономия условного топлива около 4587 т.

5. Разработана методика расчета энергетической эффективности ТЭЦ при низкотемпературной дегазации добавочной питательной воды котлов и использования этой воды для охлаждения вспомогательных теплообменников турбоустановки в режимах с малыми пропусками пара в конденсатор, реализованная в программном продукте «Расчет энергетической эффективности ТЭЦ при низкотемпературной дегазации добавочной питательной воды котлов природным газом». Расчет показал, что при применении новой технологии достигается годовая экономия условного топлива 2519 т в расчете на одну установку с турбиной Т-100-130.

6. Экономия от использования новой технологии низкотемпературной деаэрации подпиточной воды теплосети и добавочной питательной воды котлов существенно превышает капитальные затраты на внедрение технологии. Срок окупаемости технологии зависит от достигнутой экономии условного топлива и уровня капитальных затрат, но не превышает 2 месяцев. Показано, что низкотемпературная деаэрация с использованием в качестве десорбирующей среды природного газа является эффективным средством противокоррозионной обработки воды в теплоэнергетических установках различного назначения.

Список основных работ, опубликованных автором по теме диссертации

Статьи в изданиях из перечня ВАК Минобрнауки России:

1. Шарапов, В.И. Массообменная и энергетическая эффективность низкотемпературной дегазации воды на тепловых электростанциях / В.И. Шарапов, О.В. Пазушкина, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Труды Академэнерго. – 2014. – № 3. С. 48-56.

2. Шарапов, В.И. О возможности повышения энергетической эффективности ТЭЦ путем совершенствования технологий деаэрации подпиточной воды теплосети / В.И. Шарапов, О.В. Пазушкина, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Энергосбережение и водоподготовка. – 2014. – № 4. – С. 3-5.

3. Шарапов, В.И. Способы обнаружения мест разгерметизации теплоэнергетического оборудования, работающего под вакуумом / В.И. Шарапов, М.М. Замалеев, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Проблемы энергетики. Известия вузов. – 2015. – № 3-4. – С. 3-10.
4. Шарапов, В.И. Способы контроля герметичности вакуумных систем турбин и вакуумных деаэраторов / В.И. Шарапов, М.М. Замалеев, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Электрические станции. – 2015. – № 5. – С. 24-27.
5. Шарапов, В.И. Использование природного газа в качестве десорбирующего агента в дегазаторах / В.И. Шарапов, О.В. Пазушкина, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Промышленная энергетика. – 2015. – № 6. – С. 34-37.
6. Шарапов, В.И. Энергоэффективный способ низкотемпературной деаэрации подпиточной воды теплосети на ТЭЦ / В.И. Шарапов, О.В. Пазушкина, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Теплоэнергетика. – 2016. – № 1. – С. 59-63.
7. Шарапов, В.И. Энергетическая эффективность низкотемпературной деаэрации подпиточной воды теплосети / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Электрические станции. – 2016. – № 2. – С. 23-26.
8. Шарапов, В.И. Гидродинамические условия работы деаэраторов на природном газе / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Энергосбережение и водоподготовка. – 2017. – № 1. – С. 13-16.
9. Шарапов, В.И. Массообмен и гидродинамика деаэраторов ТЭС при использовании в качестве десорбирующей среды природного газа / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева), О.В. Пазушкина // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. Т. 19 – № 1-2. – С. 86-94.
10. Шарапов, В.И. О сфере применения газовой деаэрации / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Труды Академэнерго. – 2017. – № 2. – С. 71-83.
11. Шарапов, В.И. Техничко-экономическая оценка применения технологий низкотемпературной деаэрации воды / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Промышленная энергетика. – 2017. – № 6. – С. 23-26.
12. Шарапов, В.И. Деаэрация воды в теплоэнергетических установках, не имеющих источников пара / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Энергетик. 2017. № 8. С. 52-54.

Статьи в журналах, входящих в международную базу Scopus:

13. Sharapov, V.I. Methods for Monitoring the Vacuum Seals of Turbine Systems and Vacuum Deaerators / V.I. Sharapov, M.M. Zamaleev, E.V. Kudryavtseva (Mingaraeva) // Power Technology and Engineering. Vol. 49. No. 4. – 2015. – P. 287-290.
14. Sharapov, V.I. Energy-Effective Method for Low-Temperature Deaeration of Make-up Water on the Heating Supply System of Heat Power Plants / V.I. Sharapov, O.V. Pazushkina, E.V. Kudryavtseva (Mingaraeva) // Thermal Engineering. Vol. 63. No. 1. – 2016. – P. 56-60.
15. Sharapov, V.I. Energy Efficiency of Low-Temperature Deaeration of Makeup Water for a District Heating System / V.I. Sharapov, E.V. Kudryavtseva (Mingaraeva) // Power Technology and Engineering. Vol. 50. No 2. – 2016. – P. 204-207.

16. Sharapov, V.I. Hydrodynamics and mass transfer deaeration of water on thermal power plants when used natural gas as a desorbing agent / V.I. Sharapov, E.V. Kudryavtseva (Mingaraeva) // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. Vol. 891.

Патенты на изобретения:

17. Патент 2537656 Российская Федерация, МПК F 01 К 17/00 Способ работы тепловой электрической станции / В.И. Шарапов, О.В. Пазушкина, Е.В. Кудрявцева (Мингараева); заявитель и патентообладатель Ульянов. Гос. техн. ун.-т. – № 2013134087/06; заявл. 19.07.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1.

18. Патент 2538000 Российская Федерация, МПК F 01 К 17/00 Тепловая электрическая станция / В.И. Шарапов, О.В. Пазушкина, Е.В. Кудрявцева (Мингараева), А.С. Курочкина; заявитель и патентообладатель Ульянов. Гос. техн. ун.-т. – № 2013136439/06; заявл. 02.08.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1.

19. Патент 2548962 Российская Федерация, МПК С 02 F 1/20 Способ деаэрации воды для тепловой электрической станции / В.И. Шарапов, О.В. Пазушкина, Е.В. Кудрявцева (Мингараева), А.С. Курочкина; заявитель и патентообладатель Ульянов. Гос. техн. ун.-т. – № 2013135390/05; заявл. 26.07.2013; опубл. 20.04.2015, Бюл. № 11.

20. Патент 2580768 Российская Федерация, МПК F 01 К 17/02 Способ выработки электроэнергии тепловой электрической станцией / В.И. Шарапов, О.В. Пазушкина, Е.В. Кудрявцева (Мингараева); заявитель и патентообладатель Ульянов. Гос. техн. ун.-т. – № 2014134475/02; заявл. 22.08.2014; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.

21. Патент 2580769 Российская Федерация, МПК F 01 К 17/02 Способ подогрева добавочной питательной воды в тепловой электрической станции / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева); заявитель и патентообладатель Ульянов. Гос. техн. ун.-т. – № 2014134478/02; заявл. 22.08.2014; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.

22. Патент 2580847 Российская Федерация, МПК F 01 К 17/02 Способ контроля герметичности вакуумных систем турбоустановок / В.И. Шарапов, М.М. Замалеев, Е.В. Кудрявцева (Мингараева); заявитель и патентообладатель Ульянов. Гос. техн. ун.-т. – № 2015109331/06; заявл. 17.03.2015; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.

23. Патент 2580850 Российская Федерация, МПК F 01 К 17/02 Способ контроля герметичности вакуумных систем турбоустановок / В.И. Шарапов, М.М. Замалеев, Е.В. Кудрявцева (Мингараева); заявитель и патентообладатель Ульянов. Гос. техн. ун.-т. – № 2015109329/06; заявл. 17.03.2015; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.

24. Патент № 2607439 Российская Федерация, МПК F 01 К 17/04 Вакуумная деаэрационная установка добавочной питательной воды тепловой электрической станции / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева), Л.А. Кольцова; заявитель и патентообладатель Ульянов. Гос. техн. ун.-т. – № 2015152656; заявл. 08.12.2015; опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

25. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611699 Российская Федерация. Расчет гидродинамических характеристик деаэратора при низкотемпературной дегазации воды природным газом / В.И. Шарапов,

Е.В. Кудрявцева (Мингараева), О.В. Пазушкина, (РФ). – № 2017663015; заявл. 13.12.2017; опубл. 06.02.2018.

26. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611701 Российская Федерация. Расчет удельного расхода газа при низкотемпературной дегазации воды природным газом / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева), О.В. Пазушкина, (РФ). – № 2017663017; заявл. 13.12.2017; опубл. 06.02.2018.

27. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611702 Российская Федерация. Расчет энергетической эффективности ТЭЦ при низкотемпературной дегазации добавочной питательной воды котлов природным газом / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева), О.В. Пазушкина, (РФ). – № 2017663018; заявл. 13.12.2017; опубл. 06.02.2018.

28. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611704 Российская Федерация. Расчет энергетической эффективности ТЭЦ при низкотемпературной дегазации подпиточной воды теплосети природным газом / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева), О.В. Пазушкина, (РФ). – № 2017663019; заявл. 13.12.2017; опубл. 06.02.2018.

Материалы конференций:

29. Шарапов, В.И. Оценка теоретически необходимого расхода десорбирующего агента при низкотемпературной дегазации воды в теплоэнергетических установках / В.И. Шарапов, О.В. Пазушкина, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Materials of the I International scientific and practical conference, «Science and Education». Technical sciences. Sheffield. Vol. 20. – 2014. P. 12-17.

30. Шарапов, В.И. Об особенностях работы теплофикационных турбин в режимах с малыми пропусками пара в конденсатор / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Проблемы теплоэнергетики: Сборник научных трудов по материалам XII Международной научно-технической конференции. Выпуск 3. – Саратов: СарГТУ, 2014. – С. 95-99.

31. Кудрявцева (Мингараева), Е.В. Низкотемпературная дегазация воды на тепловых электростанциях / Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических установках: Труды XX школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева. – Звенигород, 2015. – С. 115-118.

32. Кудрявцева (Мингараева), Е.В. Повышение энергетической эффективности ТЭЦ путем совершенствования технологий деаэрации подпиточной воды теплосети / Е.В. Кудрявцева (Мингараева), В.И. Шарапов // IX Семинар вузов по теплофизике и энергетике: Сборник материалов докладов Международной конференции. Т. 3. – Казань: КГЭУ, 2015. – С. 91-99.

33. Кудрявцева (Мингараева), Е.В. Разработка энергоэффективной технологии подготовки воды для систем теплоснабжения / Е.В. Кудрявцева (Мингараева), В.И. Шарапов // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: Сборник докладов VI Международной научно-технической конференции. – 25-27 ноября 2015 г. М.: НИУ МГСУ, 2015. – С. 229-235.

34. Кудрявцева (Мингараева), Е.В. Массообменная эффективность низкотемпературной деаэрации и декарбонизации подпиточной воды теплосети на ТЭЦ / Е.В. Кудрявцева (Мингараева), В.И. Шарапов // Тезисы докладов и сообщений XV Минского международного форума по тепломассообмену. Т. 3. – Минск, Беларусь. 23-26 мая 2016 г. С. 352-355.

35. Шарапов, В.И. Технологии обнаружения мест разгерметизации вакуумных систем турбин и вакуумных деаэрационных установок / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса. – Сборник научных трудов. Выпуск 8. Материалы XIII Международной конференции. – 01-03 ноября 2016 г. Саратов: СарГТУ. 2016. – С.157-161.

36. Шарапов, В.И. Определение характеристик массообмена, гидродинамики и энергетической эффективности низкотемпературной деаэрации воды на ТЭС / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса. – Сборник научных трудов. Выпуск 8. Материалы XIII Международной конференции. – 01-03 ноября 2016 г. Саратов: СарГТУ. – 2016. – С. 175-178.

37. Шарапов, В.И. Показатели массообмена и гидродинамики дегазаторов при использовании в качестве десорбента природного газа / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева), О.В. Пазушкина // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: Сборник научных трудов Седьмой Международной научно-технической конференции. Т. 2. – Ульяновск: УлГТУ. – 2017. – С. 172-179.

38. Шарапов, В.И. Оценка возможностей обработки воды с использованием в качестве десорбента природного газа в установках различного назначения / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: Сборник научных трудов Седьмой Международной научно-технической конференции. Т. 2. – Ульяновск: УлГТУ. – 2017. – С. 197-211.

39. Шарапов, В.И. Гидродинамика и массообмен процесса деаэрации воды на тепловых электрических станциях при использовании в качестве десорбирующего агента природного газа / В.И. Шарапов, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Современные проблемы теплофизики и энергетике. Материалы Международной конференции. – 9-11 октября 2017 г. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – С. 245-246.

40. Шарапов, В.И. Determination of the parameters of the mass exchange and hydrodynamics at low-temperature deaeration / В.И. Шарапов, О.В. Пазушкина, Е.В. Кудрявцева (Мингараева) // Строительство и энергосбережение в 21 веке: Сборник научных трудов Международной научной конференции. – 19-20 марта 2018 г. Ульяновск: УлГТУ. – 2018. – С. 276-288.

Мингараева Екатерина Валерьевна

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕАЭРАЦИИ ВОДЫ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

Подписано в печать 2018 г. Формат 60x84/16 Печать плоская. Усл. печ. л. 1,16. Тираж 100 экз. Заказ № ____

ФГБОУВО «Ульяновский государственный технический университет»

432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, 32. Отпечатано в УлГТУ