

На правах рукописи



Филимонова Антонина Андреевна

**НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
ИНДУСТРИАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

05.14.01 – Энергетические системы и комплексы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Казань – 2021

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», на кафедре «Химия и водородная энергетика»

Научный консультант:

Аракелян Эдик Койрунович

доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления тепловыми процессами» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

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»

Первов Алексей Германович

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение»

Щербаков Владимир Иванович

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», профессор кафедры «Гидравлика, водоснабжение и водоотведение»

Ведущая организация:

ОАО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт», г. Москва


Защита состоится 22 марта 2022 года в 11 ч 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.082.06, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», по адресу: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, ауд. Д-224, тел./факс (843) 519-42-55.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, с указанием контактных данных и заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, КГЭУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.082.06.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Казанского государственного энергетического университета и на официальном сайте КГЭУ <https://kgeu.ru/Diss/Dissertant/273?idDiss=127>

Автореферат разослан «___» _____ 20___ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ш.Г. Зиганшин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В последние годы вода по значимости становится на одну ступень с энергоресурсами, а ресурсосбережение является одним из приоритетных направлений концепции устойчивого развития ООН на период до 2030 года. Из 17 целей в области устойчивого развития (ЦУР) следует особо подчеркнуть ЦУР 6 «Чистая вода и санитария», ЦУР 7 «Недорогостоящая и чистая энергия», ЦУР 11 «Устойчивые города и населенные пункты». Работа энерготехнологических систем, производящих тепловую и электроэнергию, сопровождается использованием большого количества природной воды и сбросом засоленных жидких отходов разного уровня загрязненности, что увеличивает экологическую нагрузку на регион и ухудшает состояние водного бассейна. Повышается уровень минерализации природных водоемов, который приводит к росту затрат на водоподготовку и увеличению количества стоков. Энергетика является одной из самых ресурсоемких отраслей промышленности. В республике Татарстан - регионе с развитыми производственными мощностями и обеспечивающей их энергосистемой проблема большого объема загрязненных сточных вод имеет особое значение. Так энергосистема региона потребляет 55% от всего забора «свежей» воды на производственные цели и сбрасывает 39% от всех сточных вод. Наибольшую экологическую нагрузку на Волжско-Камский бассейн оказывают Казанский, Нижнекамский и Альметьевский промышленные узлы.

В условиях ограниченности водных ресурсов и ухудшения состояния природных объектов при постоянном повышении требований контролирующих органов к качеству стоков оценка масштабов воздействия индустриально-энергетического комплекса на водоемы становится одной из приоритетных задач, от решения которой зависит прогноз развития энергетики в целом. Постоянный рост затрат на использование пресной и сброс сточных вод, а также лимиты и штрафы за их превышение стимулируют поиск решений по сокращению водопотребления, повторному использованию стоков и созданию малоотходных технологий по их переработке в большинстве промышленно развитых стран.

Все большее признание в мировой энергетике получают энергопредприятия, характеризующиеся минимальным потреблением свежей воды и сбросом жидких отходов. Значительные успехи в этом направлении достигнуты в странах Европы и США, где на ряде электростанций созданы бессточные системы водопользования. «Нулевой сброс» в этих странах рассматривается как эффективная стратегия при создании экологически чистых объектов энергетики. Однако, практикуемую при этом технологию упаривания стоков с выделением твердых солей, их складированием или захоронением нельзя признать эффективной с точки зрения экономии ресурсов. Также вызывает сомнение экологичность такого подхода, поскольку фактическое решение проблем экологии откладывается на будущее.

Степень научной разработанности проблемы

Проблемами по сокращению и утилизации стоков в России занимались и занимаются: Рихтер Л.А. (МЭИ), Иванов Е.Н. (Всероссийский теплотехнический институт), Ларин Б.М. (Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина), Очков В.Ф. (МЭИ), Пантелеев А.А. (МЭИ), Петрова Т.И. (МЭИ), Парыкин В.С. (научно-исследовательский центр «Икар»), Путилов В.Я. (МЭИ), Седлов А.С. (МЭИ), Шищенко, В.В. (ОАО «ВНИПИЭНЕРГОПРОМ»), Юрчевский Е.Б. (Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного энергетического машиностроения). Седлов А.С. и Шищенко В.В. ввели понятие «экологически безопасные ТЭЦ».

Из зарубежных можно выделить научную школу Фейзиева Г.К (Азербайджан), Campione A. (Italy), Grant S.B. (USA), Grobmyer W.P. (USA), Gurreri L. (UK) Havelka J. (Czech), Koter S. (Poland), Salgot M. (Spain), Tong T. (USA), Scheldon D. Strauss (USA), Yaqub M. (Republic of Korea) и др.

В странах Европы, США, Китае, Японии ученые с 1880-х годов занимаются разработкой организации малосточных и бессточных технологий для промышленных предприятий и объектов энергетики в связи с остро стоящей повесткой по сбережению пресной воды. Концепция «нулевого сброса» появилась в США в начале 20 века и включала технологию выпаривания и кристаллизации стоков с получением твердых осадков, их складированием и/или захоронением. Можно констатировать, что за 120 лет эта стратегия не поменялась и представляет преимущественный метод обращения с жидкими отходами.

В то же время активно ведутся исследования, целью которых являются поисковые изыскания в области малосточных ресурсосберегающих экологических технологий. Наиболее перспективными и современными показывают себя мембранные методы, а также их различные комбинации и прогрессивные разработки, в том числе, установки переработки сточных вод, работающие от альтернативных источников энергии и способные сами производить электроэнергию.

В России в течение последних десятилетий проводились масштабные исследования по совершенствованию системы водопользования на объектах энергетики, с целью сокращения объема стоков и их минерализации. Тем не менее, несмотря на имеющиеся научные достижения в этой области в связи с постоянным усложнением и совершенствованием систем водооборота необходимо продолжать разрабатывать и развивать далее технологии водо- и ресурсосбережения для индустриально-энергетического комплекса.

Выбор и обоснование направления исследований

Для энергетических предприятий России характерно избыточное потребление ресурсов (вода, реагенты) для обеспечения производства тепловой и электроэнергии. Изначально заложенный избыток в конечном итоге формирует ядро производственных сточных вод. Поэтому реализация ресурсосберегающих технологий неизбежно приведет к снижению высокоминерализованных стоков и уменьшению экологической нагрузки на регион.

Направлением решения проблемы сбросов может быть извлечение ценных компонентов и их повторное использование в цикле водопользования индустриально-энергетического комплекса. Эти решения, очевидно, могут быть успешными при условии утилизации концентрированных жидких отходов непосредственно с установок технического водооборота объекта энергетики определенным методом в зависимости от состава и типа сбрасываемых с него стоков и желаемого эффекта от их переработки. Последующие операции смешивания (взаимная нейтрализация) жидких отходов и разбавления ведут к превращению в сточные воды сложного состава, переработка которых экономически нецелесообразна.

В связи с этим задача взаимоувязанной комплексной водоподготовки и переработки жидких отходов с выделением ценных химических компонентов и воды и повторно-последовательным использованием технологических вод для индустриально-энергетического комплекса является весьма актуальной.

Цель работы: теоретическое обоснование и разработка ресурсосберегающих технологий при создании малосточной системы водопользования индустриально-энергетического комплекса Республики Татарстан.

Объект исследования: системы водопользования индустриально-энергетического комплекса Республики Татарстан.

Задачи исследования:

1. Формирование системы критериальной оценки экологического и экономического совершенства энергопроизводства.
2. Системный анализ структуры водопользования индустриально-энергетических комплексов Республики Татарстан (РТ): определение источников, объема и состава жидких отходов узлов и установок технологического водооборота.
3. Разработка ресурсосберегающих малосточных технологий водооборота на основе системного анализа структуры водопользования индустриально-энергетических комплексов.
4. Экспериментальная проверка возможности применения современных высокоэффективных методов водообработки (баромембранных, электромембранных) и замкнутых локальных циклов для создания малосточных ресурсосберегающих систем водопользования.
5. Отладка технологий на различных уровнях инженерно-конструкторского воплощения предлагаемых технических решений на предприятиях энергетики: лабораторном, макетном, опытно-промышленном, промышленном.
6. Техничко-экономическое обоснование разработанных технологий водопользования и критериальная оценка их воздействия на экономику и экологию региона РТ.

Методология и методы исследования

Методология основана на системном анализе структуры энергосистем и комплексов и разработке перспективных технологий, направленных на повышение экономичности, безопасности, надежности и снижения вредного воздействия на окружающую среду. Для решения поставленных задач использовались теоретические положения химической термодинамики, электрохимии, гидродинамики, теории растворов, системологии, информатики. Исследования проводились с использованием средств математического моделирования. Результаты лабораторных исследований и промышленных экспериментов на объектах энергосистемы согласуются с данными, полученными с использованием разработанных математических моделей.

Научная новизна исследования:

1. Предложена система критериальной оценки технологического совершенства энергопроизводства, включающая 6 критериев оценки экологичности, экономичности, ресурсосбережения структуры водопользования.
2. Разработана методология системного анализа энерготехнологической системы. Создана и апробирована математическая модель структуры водооборота на энергетических предприятиях РТ в виде операторных схем, матриц потоков и связей, водного и компонентного балансов систем технического водопользования, отличающаяся полнотой отображения всех процессов и связей.
3. Разработаны научные основы ресурсосберегающих технологий организации структуры водооборота энерготехнологической системы, в которых используются современные безреагентные, мембранные технологии и «концевые» аппараты, в том числе:
 - 3.1 электромембранной переработки продувочной воды испарительной водоподготовительной установки, включающей в качестве основных элементов диффузионно-диализный экстрактор и электродиализный концентратор, результатом которой является получение рекуперированного реагента и 100 % безреагентная переработка избытка продувочной воды испарительной установки;
 - 3.2 «каскадной» регенерации химвеществообессоливающей ионитной водоподготовительной установки, основанной на повторном и повторно-последовательном использовании всех фракций регенерационных и промывочных растворов, позволяющей снизить технологические стоки на 60%, удельные расходы реагентов на 20%;

3.3 электромембранной переработки жидких отходов химобессоливающих ионитных водоподготовительных установок, включающей электромембранное разделение, очистку и повторное использование отработанных регенерационных растворов с экономией щелочи на 40%;

3.4 малосточной баромембранной водоподготовки с производственным циклом поэтапного отделения примесей и повторным использованием промежуточных технологических вод со снижением уровня сброса сточных вод до 2,5% от производительности;

3.5 организации замкнутых локальных циклов водооборота, включающие подсистемы оборотного охлаждения, водоподготовки, теплоснабжения, со 100 % исключением сбросов сточных вод оборотных систем;

3.6 синхронизации материальных потоков на установках водооборота, включающие автоматизированный контроль и управление входными/выходными потоками, позволяющие снизить потери воды и реагентов от 10 до 30%;

3.7 способа ведения водно-химического режима и регенерации баромембранной водоподготовительной установки с экономией реагентов в 2,5 раза и высокими экологическими и экономическими показателями;

3.8 утилизации жидких и твердых отходов водоподготовки, отличающиеся совместной безреагентной конверсией на универсальной установке утилизации сточных вод с выделением и обезвоживанием малорастворимых соединений, позволяющие снизить эмиссию загрязнений в 3 - 6 раз.

Практическая значимость полученных результатов:

1. На основе разработанной теоретической базы сформированы практические рекомендации применения ресурсосберегающих малосточных технологий водопользования для индустриально-энергетического комплекса.

2. Разработаны технические решения и получены конкретные результаты по сокращению удельного расхода ресурсов и снижению объема высокоминерализованных стоков на Нижнекамском, Казанских, Набережночелнинском, Альметьевском индустриально-энергетических комплексах.

3. Разработанные технологии и установки по утилизации отходов и сокращению ресурсопотребления прошли стадию опытно-промышленных испытаний, приняты к внедрению и внедрены полностью или частично на АО «Татэнерго», АО «ТГК-16», ПАО «Татнефть» с подтверждающими документами о внедрении.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается использованием комплекса методов физико-химического анализа по ГОСТ; апробированных методов математического моделирования химических равновесий в многокомпонентных средах; согласованием результатов расчета по разработанной математической модели с данными контроля рабочих параметров системы водопользования энергопредприятий; непротиворечивостью результатам подобных исследований других авторов и основным положениям науки в области водоподготовки, термодинамики, гидродинамики, химии; использованием сертифицированного контрольно-измерительного оборудования, а также применением математического анализа при обработке полученных результатов с использованием современных средств вычислительной техники.

Положения, выносимые на защиту:

1. Система критериальной оценки экологического и экономического совершенства технологий энергопроизводства.

2. Методология системного анализа структуры водо-, ресурсооборота индустриально-энергетического комплекса региона.

3. Технологическое описание структуры систем водопользования индустриально-энергетических комплексов РТ.

4. Ресурсосберегающие малосточные технологии водооборота подсистем, узлов и установок энерготехнологических систем РТ.

5. Технологические схемы, конструкции аппаратов и установок утилизации (переработки) высокоминерализованных жидких отходов энергопредприятий РТ.

6. Результаты экспериментальных работ по отладке разработанных технологий на индустриально-энергетических комплексах РТ.

7. Техничко-экономическое обоснование реализации разработанных технологий для индустриально-энергетического комплекса и оценка их влияния на экологию региона.

Реализация результатов работы:

На Нижнекамской ТЭЦ-1 запущена и прошла испытания экспериментальная опытно-промышленная установка электромембранной утилизации отработанных регенерационных и промывочных растворов анионитных фильтров химобессоливающей ВПУ.

Разработана и прошла опытно-промышленные испытания малосточная «каскадная» технология регенерации ионитных фильтров химобессоливающих ВПУ на Казанской ТЭЦ-3.

Произведены проект и монтаж, опытно-промышленные испытания установки электромембранной утилизация продувочных вод испарительной ВПУ на Казанской ТЭЦ-3.

Разработаны и внедрены ресурсосберегающие технологии стабилизации и синхронизации потоков воды сопряженной и несопряженной СОО на Казанской ТЭЦ-3, Набережночелнинской ТЭЦ.

2017 г. – Проект Российского фонда фундаментальных исследований «Разработка теоретических основ электромембранной технологии обработки высокоминерализованных сточных вод ТЭЦ и создания замкнутых бессточных малоотходных систем водопользования на предприятиях топливно-энергетического комплекса» № 17-48-160401\17.

2017 г. - НИОКР с АО "Татэнерго". «Разработка и технико-экономическое обоснование внедрения мероприятий по достижению в месте сброса в теплообменной воде Заинской ГРЭС установленного нормативного температурного режима и значений концентрации растворенного кислорода» № 216.

2017 г. - НИОКР с ОАО "ТаграС". «Разработка рецептуры унифицированных корректирующих и отмывочных композиций и водно-химического режима систем химводоподготовки котельных «Ашальчи» и «Ашальчи-2» и установки подготовки сточных вод (УПСВ) котельной «Ашальчи» ПАО «Татнефть»» № 4.

2018 г. – Выполнение проектно-изыскательских работ «Техническое перевооружение оборудования установки нейтрализации сточных вод с обезвоживанием гипсового осадка» №23-1713/2018 от 18.12.2018.

2016-2019 гг. - Федерально-целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы». «Разработка энергоэффективных ресурсосберегающих систем водопользования с применением модульных электромембранных аппаратов на предприятиях большой энергетики» № 14.577.21.0238 от 03.10.2016 г.

2019 г. - Проект и монтаж, испытание установки по комплексной очистке жидких высокоминерализованных сульфатсодержащих отходов и твердых отходов предочистки ионитной ВПУ с обезвоживанием осадка на КТЭЦ-3 №23-1713/2018 от 18.12.2018.

Соответствие диссертации паспорту специальности 05.14.01 «Энергетические системы и комплексы» по формуле специальности: исследования по региональной энергосистеме Республики Татарстан – энергопредприятиям с комплексной выработкой энергии. Разработка перспективных технологий с целью повышения их экономичности и снижения вредного воздействия на окружающую среду.

По областям исследований:

п.1. Разработка научных основ принципов функционирования энергетических систем региона РТ.

п.3. Использование методов математического моделирования с целью исследования и оптимизации структуры водопользования энерготехнологических систем.

п.4. Разработка научных подходов, методов, алгоритмов, программ и технологий по снижению вредного воздействия энергетических систем на окружающую среду.

п. 5. Разработка и исследование в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве тепловой и электрической энергии.

п.6. Исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем и комплексов, на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования.

Апробация результатов исследования

Основное содержание диссертации изложено в 50 работах, из которых 16 опубликованы в научных журналах из перечня ВАК РФ, 13 в международных базах цитирования Scopus и Web of Science, 2 патента на изобретение, 1 монография. Результаты работы доложены автором очно на 10 международных и всероссийских конференциях. Автор являлся исполнителем в 2 грантах (РФФИ, ФЦП).

Результаты работы доложены автором на следующих конференциях:

1. Разработка ресурсосберегающих систем водопользования для предприятий большой энергетики на основе электромембранных технологий / I Международная научно-техническая конференция. Инженерные системы и энергоэффективность в строительстве. Природообустройство. 17-21 сентября 2018, республика Крым.

2. Industrial experiment on electrodialed separation of highly concentrated multicomponent technological solutions at thermal power plants / International Scientific and Technical Conference SES – 2019. 18 - 20 September, 2019, Kazan.

3. Express method for determining of organic substances matter in the production water of energy-technological complexes of thermal power plant – petrochemical enterprise / International Scientific and Technical Conference SES – 2019. 18 - 20 September, 2019, Kazan.

4. Физико-химические методы контроля органических примесей в питательных водах котлов-утилизаторов ТЭЦ / Всероссийская научная конференция с международным участием «XI Семинар вузов по теплофизике и энергетике. 21-23 октября 2019, Санкт-Петербург.

5. Технологии мониторинга и очистки возвратного производственного конденсата в энерготехнологическом комплексе ТЭЦ-нефтехимическое предприятие / Всероссийская научная конференция с международным участием «XI Семинар вузов по теплофизике и энергетике. 21-23 октября 2019, Санкт-Петербург.

6. Перспективные технологии возобновляемой энергетики / Молодежный форум Татэнерго 2019 «Будущее компании за нами», 2019, Казань.

7. Study of methods and skill experience of diagnostics of the main heating network state diagnostics using a robotized diagnostic complex / INFORINO, 2020, Moscow.

8. Технологии водосбережения в большой энергетике и нефтехимическом комплексе / Татарстанский нефтегазохимический форум, посвященный 100-летию образования ТАССР. Секция №3 XV Всероссийской научно-практической конференции

«Промышленная экология и безопасность» им. А.И. Щеповских: «Чистая вода», 3 сентября 2020, Казань.

9. «Бессточные» технологические схемы организации баромембранной водоподготовительной установки / Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Международный научный семинар им. Ю.Н. Руденко. 21 – 26 сентября 2020, Казань

10. Математическое моделирование и совершенствование энерго-ресурсосберегающих технологий ионитной химводоочистки в энергетике / XV Международная научно-техническая конференция «Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов», 6-9 октября 2020, Саратов.

11. Повышение эффективности использования ресурсов охлаждающей воды на объектах энергетики / Международный симпозиум «Устойчивая энергетика и энергомашиностроение – 2021: SUSE-2021» 18-20 февраля 2021, Казань

12. Organic matter in the process waters of thermal power plants with combined-cycle gas turbines / Международный симпозиум «Устойчивая энергетика и энергомашиностроение – 2021: SUSE-2021» 18-20 февраля 2021, Казань

13. Технологии водо- и ресурсосбережения в большой энергетике / International Scientific and Technical Conference SES – 2021. 21 - 24 September, 2021, Kazan.

Работа доложена в полном объеме на расширенном межкафедральном заседании с участием сотрудников кафедр «Теоретические основы теплотехники им. Вукаловича» и «Тепловые электрические станции» национального исследовательского университета «МЭИ» 25.05.2021 года.

Связь диссертационной работы с приоритетными научно-исследовательскими работами

Диссертационная работа соответствует:

- Цели устойчивого развития 6 концепции преобразования нашего мира на период до 2030 года. Пункт 6.3 подразумевает максимально повторное использование воды, уменьшение загрязнения природных источников и сброс сточных вод;

- Направлению из Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года: «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии»;

- Приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации (утв. Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. №899): «Рациональное природопользование»;

- Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в республике Татарстан (утв. от 14 ноября 2017 года N 2957-р): 1. Рациональное природопользование, экология и охрана окружающей среды. 2. Энергетика, энергоэффективность и энергоресурсосберегающие технологии.

- Стратегии социально-экономического развития Республики Татарстан до 2030 года, стратегической цели 6: «Природные ресурсы: природные ресурсы эффективно используются на базе принципов устойчивого развития».

Отдельные разделы диссертации разработаны автором в рамках конкурсов на получение грантов и договоров на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (стр. 7).

Личный вклад автора

Автору принадлежат постановка проблемы и задач исследования, разработка и обоснование всех положений, определяющих научную новизну и практическую значи-

мость. Автор осуществлял руководство и принимал основное участие в разработке математических моделей и компьютерных программ, проведении системного анализа водопользования индустриально-энергетического комплекса РТ, расчетно-экспериментальных исследований, формулировании научно-технических решений, промышленных испытаниях на энергопредприятиях, подготовке отчетов и результатов внедрения работы на объектах энергетики. Автор лично проводил анализ и обобщение результатов, формулировал выводы и составлял рекомендации.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов, списка использованных источников из 354 наименований и приложений. Работа изложена на 376 страницах машинописного текста и включает 95 рисунков, 80 таблиц.

Автор благодарит своего научного консультанта, д.т.н., заслуженного работника высшей школы, почетного энергетика СССР, проф. кафедры Автоматизированных систем управления тепловыми процессами МЭИ Эдика Койруновича Аракеляна.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, изложены научная новизна, цели и задачи исследования, практическая значимость работы, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены и классифицированы виды, происхождение, состав, объем, экологическая опасность сточных вод индустриально-энергетического комплекса региона, охарактеризованы традиционные и «малосточные» методы переработки жидких отходов энергопроизводственных объектов и способы снижения стоков, проведен анализ отечественного и зарубежного опыта использования технологий утилизации производственных стоков на энергопредприятиях. Показано, что энергосистема является самым значимым водопользователем. В республике Татарстан потребление «свежей» воды на нужды энергетики составляет 35,4% от общего, сброс сточных вод - более 39%, загрязненных сточных вод - около 7,5%, что существенно влияет на экологию региона.

Анализ литературных данных и результатов эксплуатации оборудования, задействованного в техническом водообороте, показал, что в последние десятилетия в связи с произошедшей модернизацией на большинстве электростанций России водоподготовка в основном стала осуществляться ионитными и мембранными методами. А так как именно водоподготовительные установки поставляют самый большой процент высокоминерализованных сточных вод с объектов энергетики, то задача по их переработке и утилизации становится приоритетной. Следующей по количеству и солесодержанию образующихся стоков стоит система оборотного охлаждения с башенными испарительными градирнями, где актуальны решения, направленные на повышение эффективности и ограничение накипеобразующей активности.

Традиционные технологии обработки сточных вод перед сбросом, хотя и преследуют цель оптимизации водооборота, в конечном счете не достигают ее, так как в лучшем случае способствуют экономии воды, редко реагентов, зачастую неся при этом большие материальные затраты. Анализ состояния проблемы обращения с отходами на объектах большой энергетики показывает, что от 10 до 30% от общего количества жидких и твердых отходов повторно используется на ТЭЦ, большая же часть до 80% размещается на полигонах и в шламохранилищах.

В мире в стремлении достижения концепции «нулевого сброса» разрабатываются эффективные, но не всегда ресурсосберегающие технологии, в основе своей являющиеся примерами экологического или экономического максимализма, преследую-

щие какую-то одну цель, например, экономию воды, в ущерб всем остальным составляющим процесса водоподготовки (экономия топлива, реагентов, влияние на экологию и т.д.).

В России понятие рационального природопользования находится только на стадии формирования, в связи с чем имеющиеся научные разработки российских ученых и научных школ, занимающихся этими вопросами, необходимо активно использовать, продолжать и развивать в соответствии с новыми тенденциями.

К новым методам обращения с отходами на предприятиях энергетики следует отнести мероприятия, способствующие повышению коэффициента водо- и ресурсооборота. Для эффективной организации обращения со стоками необходимо применение методов, основанных на химической технологии и современных баро-, электро-мембранных технологиях.

На основании проведенных анализа и литературного обзора сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

Во **второй главе** охарактеризованы основное оборудование, водоподготовительные установки, объем и вид сточных вод объектов исследования. Объектом исследований и полигоном для отработки технологий является индустриально-энергетический комплекс Республики Татарстан. Исследовательская работа проводилась на индустриально-энергетических комплексах Нижнекамском (Нижнекамская ТЭЦ-1 – ПАО «Нижнекамскнефтехим»), Казанском 1 (Казанская ТЭЦ-1 - потребители), Казанском 2 (Казанская ТЭЦ-2 – потребители), Казанском 3 (Казанская ТЭЦ-3 – ПАО «Казаньоргсинтез»), Набережночелнинском (Набережночелнинская ТЭЦ – потребители), Альметьевском (котельные Ашальчи – нефтедобыча ПАО «Татнефть»).

Для оценки технологического совершенства энергопроизводства была разработана система, включающая совокупность критериев оценки экологичности, экономичности, ресурсосбережения структуры водопользования. Основным критерием, характеризующим количество недопустимого сброса загрязняющих веществ, является критерий экологичности технологии водооборота ($K_Э$):

$$K_Э = (C_{i,cm} - ПДК_i) * V_{cm}, \text{ т/год} \quad (1)$$

$C_{i,cm}$ – концентрация загрязняющего вещества (иона) в сточных водах;

ПДК_{*i*} – предельно допустимая концентрация вещества (иона) в сточных водах;

V_{cm} – объем сброса загрязненных вод, включающий все потери в структуре водооборота.

Разработка и внедрение технологий, обеспечивающих снижение количества недопустимого сброса загрязняющих веществ и, следовательно, улучшение экологических показателей является основным путем уменьшения вредного воздействия энергетических систем на окружающую среду. При использовании ресурсосберегающих технологий водооборота необходимо отбирать решения, обеспечивающие снижение критерия экологичности технологии водооборота ($K_Э$) с учетом ограничительных критериев ресурсосбережения, которые не позволяют применять технологию, основанную только на материальной выгоде или технической результативности. Так, экологичность водопользования энергопредприятий можно охарактеризовать с помощью критериев эмиссии загрязнений ($K_{ЭЗ}$), загрязненности стоков ($K_З$) и бессточности (K_{H_2O}). Критериями ресурсосбережения являются удельные расходы реагентов и воды. Экономичность характеризует критерий экономичности ($K_Ф$), относящийся к продукту (химически обессоленной воде, либо установленной мощности).

В главе представлено описание и технические характеристики задействованных аппаратов и установок, сконструированных для отладки технологий на различных уровнях инженерно-конструкторского воплощения: лабораторном, макетном, опытно-

промышленном, промышленном. Исследования лабораторного уровня проводились на электромембранной ячейке с количеством рабочих камер от 3 до 5 (рис. 1).

Для реализации макетного уровня исследований на модельных и производственных растворах был создан лабораторный электромембранный стенд (рис. 2), включающий многокамерный электромембранный аппарат с общим количеством мембран до 120, с максимальной производительностью по одному тракту до 1000 л/час и возможностью реализации 2-х, 3-х и 4-х-трактного вариантов сборки.



Рис. 1 Лабораторная электромембранная ячейка, собранная в трехкамерном варианте

Рис. 2. Лабораторный электромембранный стенд

На Нижнекамской ТЭЦ-1 была смонтирована экспериментальная опытно-промышленная установка с количеством камер 200, с чередованием катион-, анионообменных мембран, производительностью до 1,5 м³/час по высокоминерализованным растворам (рис. 3).

Опытно-промышленная электромембранная установка утилизации продувочных вод испарительной ВПУ на Казанской ТЭЦ-3 включает блок электромембранных аппаратов с общим числом рабочих камер 200 штук на каждый аппарат. Производительность установки по высокоминерализованным растворам - 0,5 тонны в час (рис. 4).



Рис. 3. Общий вид электромембранной установки утилизации высокоминерализованных отходов ионитной ВПУ в химическом цехе (ХВО-2) Нижнекамской ТЭЦ-1

Рис. 4. Общий вид опытно-промышленной электромембранной установки в химическом цехе Казанской ТЭЦ-3

На Нижнекамской ТЭЦ-1 и на Казанской ТЭЦ-3 были спроектированы и смонтированы установки по комплексной очистке жидких высокоминерализованных сульфатсодержащих отходов и твердых отходов предварительной очистки водоподготовительной установки с обезвоживанием осадка. Установки компоновались из закупленного и имеющегося оборудования (рис. 5).

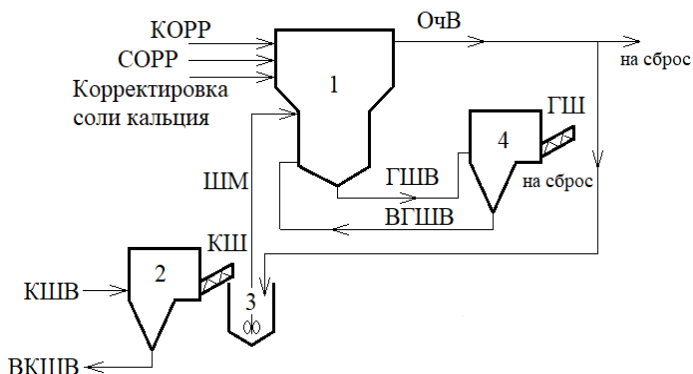


Рис. 5. Узел утилизации стоков, обезвоживания и отделения шлама НкТЭЦ-1. 1 - осветлитель установки утилизации сточных вод; 2 - ленточный фильтр пресс №1; 3 - мешалка «шламового молока», 4 - ленточный фильтр пресс №2. ШМ - «шламовое молоко»; KOPP/COPP – кислый/жесткий отработанный регенерационный раствор, ОчВ – очищенная вода, ГШВ- гипсовые шламовые воды, ВГШВ – возвратные ГШВ, КШВ – карбонатные ШВ

Химический состав многокомпонентных водных растворов, состав и структура выделенных из них веществ, образцов накипи на поверхностях оборудования анализировали с помощью физико-химических методов: элементного анализа, ИК-спектроскопии, УФ-спектроскопии, высокоэффективной жидкостной хроматографии, хромато-масс-спектрометрии, ядерно-магнитного резонанса и лабораторными методами в соответствии с нормативными документами.

Теоретические расчеты физико-химических равновесий в среде сильных электролитов на основе термодинамического моделирования проводили по программам «Вода-10-R», являющейся собственной разработкой сотрудников кафедры «Химия и водородная энергетика» КГЭУ, и зарубежной Visual MINTEQ 3.0, 3.1.

Для расчета эффективности регенерации предложена усовершенствованная методика расчета эффективности работы блочных обессоливающих водоподготовительных установок (ВПУ) типа «цепочка». Методика позволяет определить количественный состав ионов (катионов и анионов), задержанных за фильтроцикл, количественный баланс между обменными катионами, рассчитать рабочую обменную емкость ионитов, а также содержание любого интересующего иона в технологических водах.

Третья глава посвящена анализу структуры технологического водопользования индустриально-энергетического комплекса, приемам его исследования и описания. В описание включены все аппараты и устройства, задействованные в водообороте, и все водные потоки. При этом дополнительно учитывается, что основные потоки технологических вод могут состоять из отдельных фракций, каждая из которых составляет свою часть минеральных и органических веществ, химических реагентов, воды в общий поток.

В связи со сложной структурой технологического водооборота энергопредприятия были использованы приемы системного анализа и разработана математическая модель для его описания. Все производственные мощности региона в совокупности представляют собой индустриально-энергетический комплекс (ИЭК), который состоит из взаимосвязанно работающих промышленного сектора и энергосистемы (рис. 6).

Звеном энергосистемы является энергопредприятие или энергопроизводственный объект, который можно методологически охарактеризовать как **энерготехнологическую систему** (ЭТС), представляющую в совокупности все процессы, происходящие на энергопредприятии. Иерархическая структура ЭТС включает **подсистемы** (отделения производства), **установки** (узлы, блоки), **аппараты**, технологические **операторы** (элементы), связанные материальными, энергетическими, информационными и другими потоками (связи ЭТС). Математическая модель представлена в виде системы уравнений материального и теплового балансов в элементах и потоках ЭТС.

Табл. 1. Технологические элементы ЭТС

№	Обозначение	Название элемента
1		Делитель потока
2		Смеситель потока
3		Массообмен
4		Химическое превращение
5		Накопитель потока
6		Теплообмен
7		Фазовое превращение
8		Перемена объема

Математическая модель ЭТС записана в виде системы уравнений:

1. Для элементов ЭТС (технологических операторов).

$$\vec{Y}_l = F_l(\vec{X}_l, \vec{U}_l), \quad (2)$$

где \vec{Y}_l – вектор выходных параметров,

\vec{X}_l – вектор входных параметров,

\vec{U}_l – вектор управляющих параметров,

ров,

l – принимающий элемент.

2. Для связей (или потоков) уравнения передачи потока от k -го элемента l -ому элементу

$$\vec{X}_{kl} = ||\alpha_{kl}|| \vec{Y}_{kl}, \quad (3)$$

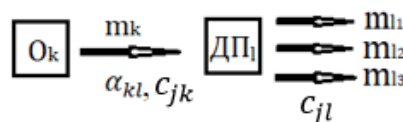
где \vec{Y}_{kl} – вектор выходных параметров с k -го (подающего) элемента,

\vec{X}_{kl} – вектор входных параметров на l -ый элемент,

$||\alpha_{kl}||$ – матрица коэффициентов передачи потока между элементами.

Уравнения для расчета потоков на технологические элементы:

1). Для элементов, подающих поток на элемент делителя потока (ДП)



Массопоток (m , т/ч) записывается как

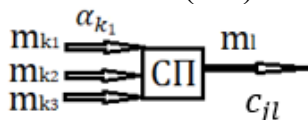
$$m_k = \alpha_{kl} \times \sum_n m_{l,n}, \quad (4)$$

где α_{kl} – коэффициент передачи потока с k -го на l -ый элемент.

$$c_{jk} = c_{jl} \quad (5)$$

Концентрации j компонента с k элемента при передаче на l элемент (ДП) не изменяются.

2). Для элементов типа смеситель потока (СП)

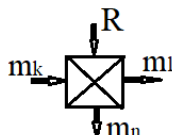


$$m_{k,n} = \alpha_{k1} \times V_{k,n} \times m_l, \quad (6)$$

где $V_{k,n}$ – доля участия n -го потока в общем потоке.

$$c_{jl} = \frac{m_{k1} \times c_{jk1} + m_{k2} \times c_{jk2} + \dots}{\sum m_{kn}} = \frac{\sum_n m_{kn} \times c_{jkn}}{\sum m_{kn}} \quad (7)$$

3). Для элемента типа химический реактор (ХР) массопоток и концентрации компонентов (c)

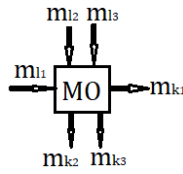


$$m_k = m_l \quad (8)$$

$$c_{jl} = c_{jk} \pm \Delta c_{jk}, \quad (9)$$

где Δc_{jk} – источник вещества в химической реакции.

4). Для элементов массообмена (МО)

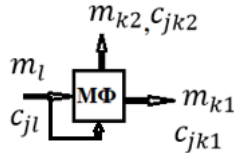


$$\sum_1^n m_l = \|\alpha_{kl}\| \sum_1^m m_k \quad (10)$$

$$\sum_1^n m_l \times c_{jl} = \|\alpha_{kl}\| \sum_1^m m_k \times c_{jk} \quad (11)$$

Здесь два или несколько независимых потока, между которыми есть передача массы вещества или/и воды.

Например, расчет элемента массообмена на примере механического фильтра с взрыхлением «прямой» водой осуществляется по соотношениям:



$$m_l = m_{k1} + m_{k2} \quad (12)$$

$$m_{k2} = m_l \times \beta \quad (13)$$

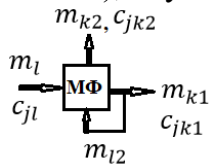
$$m_{k1} = m_l - m_{k2} \quad (14)$$

$$c_{jk1} = const \quad (15)$$

$$c_{jk2} = \frac{m_l \times c_{jl} - m_{k1} \times c_{jk1}}{m_{k2}} \quad (16)$$

$$\beta = \frac{m_{k2}}{m_l} \quad (17)$$

Расчет элемента массообмена при взрыхлении «обратной» водой, при известных m_{k1} , c_{jk1} , β (β - доля потока на рециркуляцию), осуществляется по соотношениям:



$$m_l = m_{k1} + m_{k2} \quad (18)$$

$$m_{k2} = m_{l2} \quad (19)$$

$$m_{k2} = m_{k1} \times \frac{\beta}{(1-\beta)} \quad (20)$$

5). Для элементов типа накопитель потока (НП)

$$M_k = (m_l - m_k) \times t \quad (21)$$

$$c_{jk} = c_{jl} \quad (22)$$

Технологическая схема с рециркуляцией потоков и принцип расчета рециркуляции в матричной форме представлены на рис. 8, 9.

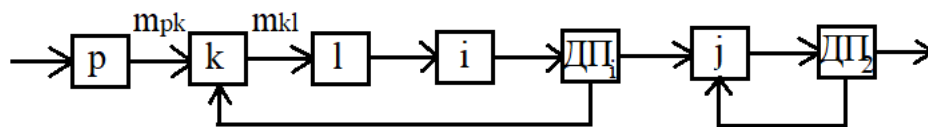


Рис. 8. Общий вид технологической схемы цепочки аппаратов с рециркуляцией потоков

Уравнение для расчета массопотока в технологической схеме с рециркуляцией имеет вид:

$$\alpha_{kl} \times m_{kl} = \alpha_{pk} \times m_{pk} + \alpha_{ДП1k} \times m_{ДП1}, \quad (23)$$

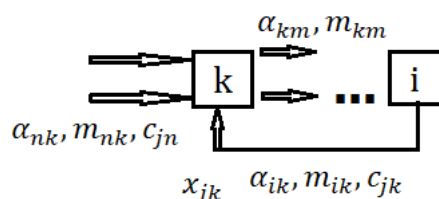
где α_{pk} - коэффициент передачи потока от p -го элемента на k -тый.

Элемент (оператор ЭТС)	k	l	i	ДП ₁	j
<i>p</i>	1				
<i>k</i>		1			
<i>l</i>			1		
<i>i</i>				1	
ДП ₁	1				1
ДП ₂					1

Рис. 9. Матрица передачи потоков для фрагмента технологической схемы с рециркуляцией

Уравнения для расчета концентрации компонентов в элементах технологической схемы с рециркуляцией можно разделить на два варианта в зависимости от вида измеряемых показателей.

I вариант. Если известна концентрация *j*-ой компоненты (*c_j*) на *i*-ом элементе в схеме:



$$x_{jk} = \frac{\sum \alpha_{nk} \times m_{nk} \times c_{jn} + \alpha_{ik} \times m_{ik} \times c_{jk}}{\sum \alpha_{km} \times m_{km}}, \quad (24)$$

где x_{jk} - концентрация *j*-ой компоненты в *k*-ом элементе,

$\alpha_{nk}, m_{nk}, c_{jn}$ - характеристики входящих компонент с *n*-го на *k*-ый элемент,

$\alpha_{ik}, m_{ik}, c_{jk}$ - характеристики компонент в рециркулирующем потоке,

α_{km}, m_{km} - характеристики компонент выходящих потоков.

II вариант. При известной доле *j*-ой компоненты на *i*-м элементе (β_{ji}):

$$x_{jk} = \frac{\sum \alpha_{nk} \times m_{nk} \times c_{jn}}{\sum \alpha_{km} \times m_{km} - \beta_{ji} \times m_{ik}} \quad (25)$$

В главе представлены результаты системного анализа водооборота на примере индустриально-энергетических комплексов Татарстана Нижнекамского, Казанского 1, 2, 3, Набережночелнинского, Альметьевского, имеющих принципиально отличные характеристики основного и вспомогательного оборудования, схемы водоподготовки, объемы водопотребления и водоотведения.

Системный анализ Нижнекамской ТЭЦ-1 определяет основные проблемы ионитной водоподготовительной установки и их источники, а именно: избыточное потребление ресурсов (вода, реагенты), низкий коэффициент использования сырья, нерациональные схемы регенерации и режима работы ионитных фильтров. Перерасход реагентов приводит к превышению ПДК в стоках по ряду химических компонентов. Так критерий экологичности технологии водооборота (КЭ) составляет 7464 т/год. В среднем объем стоков составляет 500 т/ч или до 25 % от производства химобессоленной воды (табл. 2).

Табл. 2. Источники (составляющие) химического загрязнения сточных вод водоподготовки Нижнекамской ТЭЦ-1

Источник жидких отходов	Максимальное содержание жидких отходов, г/л	Объем отходов, т/ч	% от стока
Отработанные регенерационные растворы Na-катионитных фильтров	60	2,1	0,5

Отработанные регенерационные растворы Н-катионитных фильтров	35	26,3	6,3
Отработанные регенерационные растворы Аи-фильтров	40	25	6,0
Отмывочные воды ионитных фильтров	менее 0,1	365,6	87,3
Суммарно:		419	100

В связи с тем, что гидродинамический режим работы ионитных фильтров смешанный, т.е. занимает среднее положение между режимами идеального вытеснения и идеального смешения, основные потоки жидких отходов регенерации разделяются на фракции. Качественный и количественный анализ фракционного состава потоков отработанных регенерационных растворов анионитных фильтров ВПУ Нижнекамской ТЭЦ-1 выявил, что вода в ходе регенерации анионитных фильтров по линии АиП-АиГ выходит с АиГ в виде примерно равных по объему отдельных фракций с характерным химическим составом (рис. 10):

1 – «чистая» вода - частично обессоленная вода, заполняющая аппараты после операции взрыхления;

2 – нейтральный солевой («мягкий») раствор – первый продукт регенерации, содержащий в основном натриевые соли;

3 – «грязный» щелочной раствор, содержащий десорбированные с фильтров органические и кремниевые вещества;

4 – «чистая» щелочь с содержанием щелочи порядка 30 % от исходного количества, подаваемого на регенерацию, с концентрацией примесей не более 5 % относительно содержания щелочи;

5 – щелочные отмывочные воды с низким содержанием и примесей и щелочи.

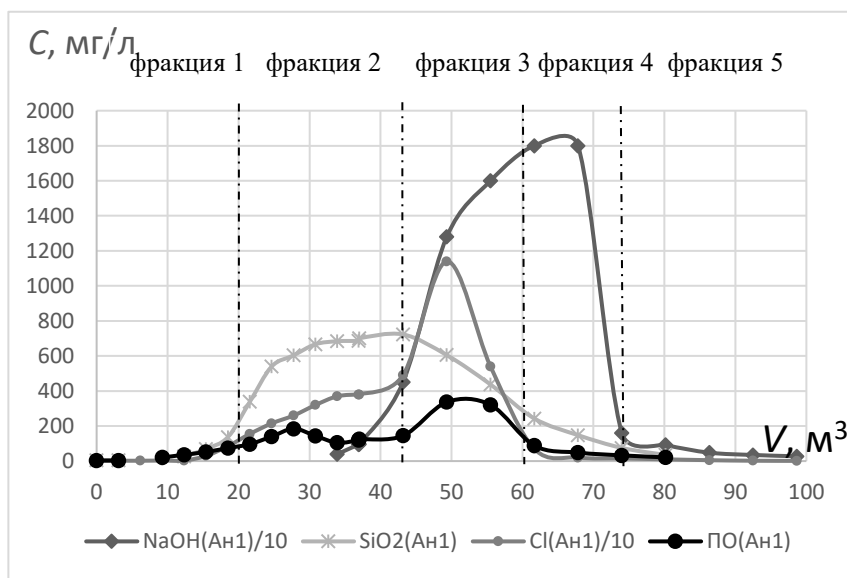


Рис. 10. Выходные концентрационные кривые при совместной регенерации анионитных фильтров (АиП-АиГ) блочной обессоливающей ВПУ Нижнекамской ТЭЦ-1

Учитывая сравнительно простой химический состав и наличие ценных компонентов в разных фракциях жидких отходов с конкретных аппаратов, обозначена возможность их разделения и повторного использования.

Баланс катионов и анионов в водах ВПУ с анализом подаваемых химических реагентов (табл. 3) показывает, что сульфаты поступают в воду ВПУ почти на 80 % за счет подачи серной кислоты на регенерацию Н-катионитных фильтров и на 86 % за

счет реагентов (H_2SO_4 и $FeSO_4$). Выход сульфатов со станции на 99 % происходит со сточными водами, на 1% с капельным уносом с башенной градирни и подпиткой теплотрассы.

Табл. 3. Расчетные значения водооборота Нижнекамской ТЭЦ-1 по сульфатам

Поток	Расход воды, т/ч	Содержание SO_4^{2-} , г/т	Расход SO_4^{2-} , кг/ч	% от общего поступления/выхода
$m_{ИВ}$	3150	47,7	150,3	14
$m_{ВШВ}$	83	73,6	6,1	
$m_{ИСП}$	102	0	0	0
$m_{КУ}$	51	49,6	2,5	0,23
$m_{ХЦ}$	3079	49,6	152,7	
m_{FeSO_4}	3079	24	74	6,8
$m_{ОсВ}$	2996	73,6	220,5	
$m_{ШВ}$	83	73,6	6,1	
$m_{УПТС}$	127	73,6	9,3	0,86
$m_{ОсВХОУ}$	2868	73,6	211	
$m_{H_2SO_4}$	2868	296,8	851	79,2
$m_{СВХОУ}$	419	2535	1062,2	98,8
$m_{ХОВ}$	232	0	0	0
$m_{СВ}$	490	2168	1062,3	98,8
$m_{Поступление}$			1075	100
$m_{Выход}$			1074,8	100

По результатам системного анализа ЭТС с баромембранной водоподготовкой были выявлены следующие источники проблем: нерациональные схемы движения водных потоков на ВПУ, загрязнение, «отравление», нарушение структуры мембран из-за используемых реагентов, использование токсичных реагентов, «проскакивающих» через фильтры в стоки, нерациональное дозирование реагентов на предочистке. Были рассчитаны объемы стоков баромембранной ВПУ Казанской ТЭЦ-2 с блока микрофльтрации, составляющие 10,5%, с блока обратного осмоса - 24,8%. Количество обессоленной воды (пермеата обратного осмоса) от входного потока на блок микрофльтрации составляет 43% (табл. 4).

Табл. 4. Объемы водных потоков ВПУ Казанской ТЭЦ-2 в год

Поток	Объем потока, т/год	% от входа на элемент
Исходная вода	2527011	
Продувка осветлителя	126350	5
Осветленная вода	2400661	95
Концентрат микрофльтрации	252816	10,5
Химочищенная вода	767860	32
Исходная вода обратного осмоса	1379985	57
Концентрат обратного осмоса	342402	24,8
Пермеат обратного осмоса	1037583	75
Кислый отработанный рег. р-р	960	0,1
Частично обессоленная вода	1036623	99,9
Щелочной отработанный рег. р-р	3960	0,4
Химобессоленная вода	1032663	99,5

Предлагается обозначить два типа системы оборотного охлаждения (СОО) по механизму утилизации сточных вод: сопряженную с отбором циркуляционной воды на ВПУ и несопряженную без отбора оборотной воды на ВПУ. Для сопряженной СОО на примере Нижнекамской ТЭЦ-1 выявлены проблемы повышенного накипеобразования и перерасхода химических реагентов при производстве химически обессоленной воды.

При системном анализе структуры водооборота несопряженной СОО на примере Набережночелнинской ТЭЦ обозначены проблемы неустойчивого нестационарного режима работы с повышенным расходом реагентов и увеличенным объемом стоков, а также трудностями контроля за накипеобразованием и потерей антинакипного реагента. Было установлено, что в водооборотных циклах, таких как СОО, отсутствует согласованность входящих и выходящих потоков, следствием чего является нестабильность состояния водного теплоносителя, повышенные расходы ресурсов (вода, реагенты) и сточных (продувочных) вод.

По результатам проведенного системного анализа показано, что энергосистема РТ негативно влияет на состояние Волжско-Камского бассейна, поставляя в него наибольший из всех водопотребителей объем загрязненных стоков. Энергопредприятия с одинаковыми подсистемами водоподготовки или схемами работы системы оборотного охлаждения имеют схожие проблемы по количеству и составу образующихся сточных вод, перерасходу реагентов, эффективности подготовки обессоленной, очищенной и охлаждающей вод. Поэтому разработанные малосточные модели на примере конкретного объекта энергетики возможно с определенными поправками применять для всех энергопредприятий с похожими характеристиками.

Основные разработанные ресурсосберегающие технологии водооборота объединены в группы по принципу организации:

1. Повторное и повторно-последовательное использование ресурсов (воды и реагентов);
2. Включение концевых установок для переработки жидких высокоминерализованных отходов узлов и аппаратов;
3. Создание локальных замкнутых циклов в различных подсистемах – водоподготовки, оборотного охлаждения, централизованного теплоснабжения;
4. Синхронизация потоков (воды и реагентов) на установках водооборота ЭТС;
5. Создание универсального водно-химического режима для группы баромембранных ВПУ на основе унифицированного коррекционно-отмывочного набора химических реагентов;
6. Взаимная конверсия жидких и твердых отходов систем технологического водооборота.

В четвертой главе изложена суть технологических решений по первой группе, которая состоит в повторно-последовательном использовании отработанных растворов в установках и аппаратах с более низкими требованиями к качеству водных растворов.

По результатам проведенного системного анализа было показано, что доля отмывочных вод в стоках ионитной ВПУ составляет 82-92% в зависимости от вида фильтра и ступени обработки. Сокращения удельного расхода реагентов и воды на регенерацию фильтров можно достичь с помощью разработанной и экспериментально опробованной технологии «каскадной» регенерации ионитных фильтров химобессоливающей ВПУ. Предлагаемая теоретическая схема движения потоков по «каскадному» принципу представлена на рис. 11.

По принципу «каскад» вытеснение отработанного регенерационного раствора (ОРР) производится с использованием промежуточных фракций воды со ступенчатым снижением минерализации. Последняя промывка производится порцией химически обессоленной воды. Первая вытесняемая порция с наивысшим содержанием реагента

отводится и используется для приготовления регенерационного раствора. Теоретически по данной схеме коэффициент использования воды и реагентов равен единице.

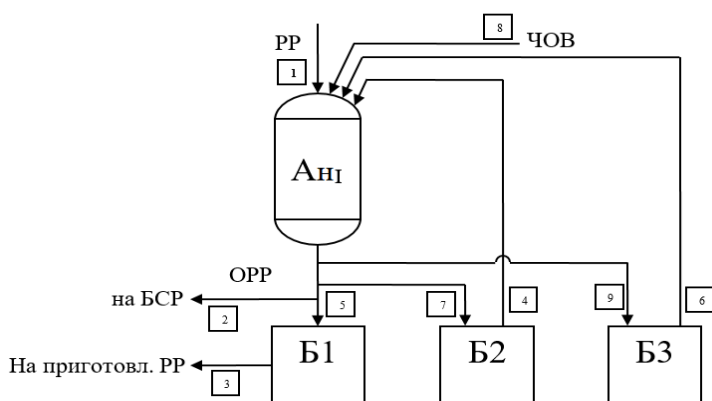


Рис. 11. Принцип «каскадной» регенерации и отмыва фильтров A_{II} или цепочки $A_{II} - A_{II}$. В ячейках указан № операции PP – регенерационный раствор, ОРР – отработанный регенерационный раствор, ЧОВ – частично обессоленная вода, БСР – бак солевых растворов.

Конкретная реализация технологии каскадной регенерации с автоматизацией была выполнена на ионитной химобессоливающей ВПУ типа «цепочка» Казанской ТЭЦ-3 (рис. 12) и предложена для реализации на ионитной ВПУ Нижнекамской ТЭЦ-1 (рис. 13).

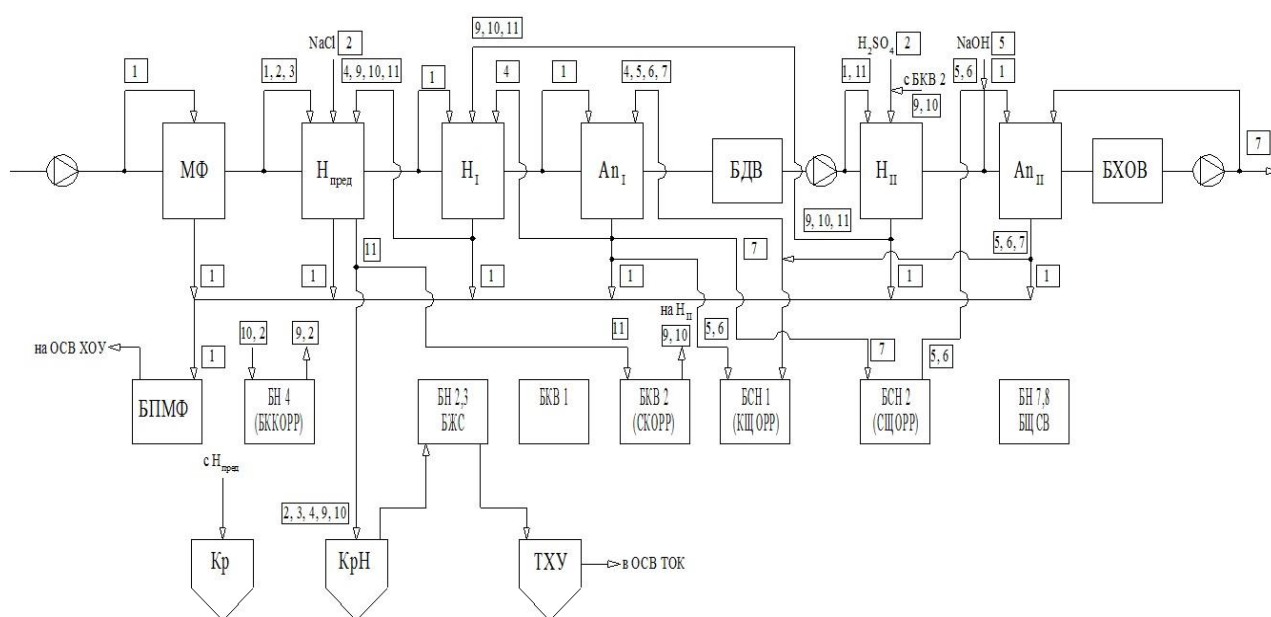


Рис. 12. Технологическая схема «каскада» на «цепочке» №5 КТЭЦ-3

МФ – механический фильтр, БДВ – бак декарбонизованной воды, БХОВ – бак химически очищенной воды, БПМФ – бак промывки механических фильтров, КрН – бак концентрированных нейтральных растворов, БКВ – бак кислых вод, БСН – бак собственных нужд, ККОРР – концентрированный кислый отработанный регенерационный раствор, СКOPR – слабый кислый отработанный регенерационный раствор

Суммарная финансовая экономия для Казанской ТЭЦ-3 составляет 18,232 млн. руб/год. Снижение сброса минерализованных сточных вод составляет 245 280 т/год. Эмиссия загрязнений при использовании технологии «каскад» снижается на 37%, сброс сульфатов на 57%. Суммарная финансовая экономия для Нижнекамской ТЭЦ-1 составляет 170,327 млн. руб/год. Снижение сброса минерализованных сточных вод составляет 2 566 680 т/год. В технологии «каскад» снижение расхода серной кислоты на регенерацию составляет 60%, снижение расхода щелочи - 20%, эмиссия загрязнений снижается на 47%, сброс сульфатов на 52%.

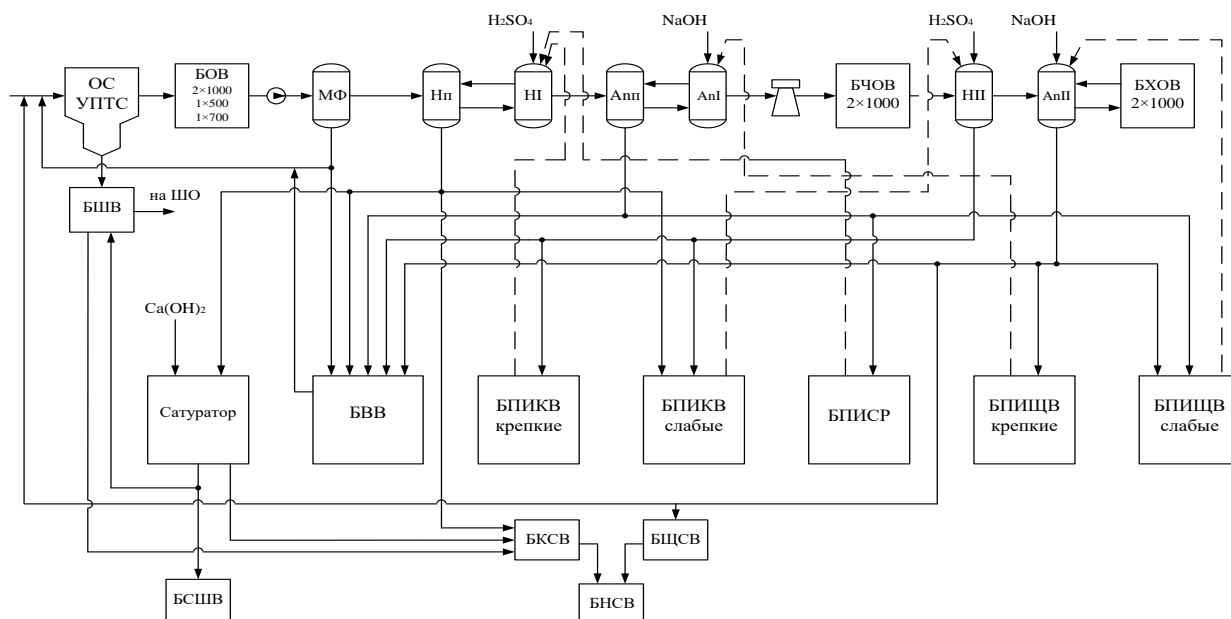


Рис. 13. Технологическая схема «каскадной» регенерации ионитной ВПУ ХВО-1 Нижнекамской ТЭЦ-1

ОС УПТС – осветлитель установки подпитки теплосети, БОВ – бак осветленной воды, МФ – механический фильтр, БЧОВ – бак частично обессоленной воды, БХОВ – бак химически обессоленной воды, БШВ – бак шламовых вод, ШО – шламоотвал, БВВ – бак вод взрыхления, БПИКВ – бак повторного использования кислых вод, БПИСР – бак повторного использования солевого раствора, БПИЩВ – бак повторного использования щелочных вод, БСШВ – бак сточных шламовых вод, БКСВ – бак кислых сточных вод, БНСВ – бак нейтральных сточных вод, БЩСВ – бак щелочных сточных вод

Для баромембранной водоподготовительной установки на примере Казанской ТЭЦ-2 разработаны и математически обоснованы ресурсосберегающие малосточные решения с повторным использованием технологических вод, согласно предложенной критериальной оценке энергопроизводства.

На первой ступени водоподготовки – предочистке – рекомендована замена оксихлорида алюминия на железный коагулянт, который дополнительно позволяет удалять жесткость и щелочность из воды. Кроме того, при уровне $\text{pH} = 8$ и выше использование алюминиевого коагулянта не обеспечивает стабильный качественный режим предочистки – происходит «проскок» растворимых форм алюминия на мембраны микрофильтрационной установки, вследствие чего наблюдаются их загрязнение («отравление») и нарушение структуры. Соли железа (сульфат и хлорид) при $\text{pH} = 6.0\text{--}10.2$ не обладают повышенной растворимостью, в отличие от оксихлорида алюминия. Поэтому в предлагаемых бессточных схемах водоподготовки для Казанской ТЭЦ-2 на стадии предварительной очистки предпочтительна коагуляция хлоридом железа в связи с удобством дозирования.

Для более полного удаления ионов жесткости предлагается на стадии предочистки проводить содоизвесткование и, при необходимости, Na-катионирование. Содоизвесткование в моноварианте предпочтительнее ввиду достижения эффекта глубокого умягчения и обескремнивания воды без образования дополнительного количества минерализованных сточных вод. Предлагаемая технологическая схема представлена на рис. 14. Измеренные показатели качества для разных видов вод по данной схеме представлены в табл. 5.

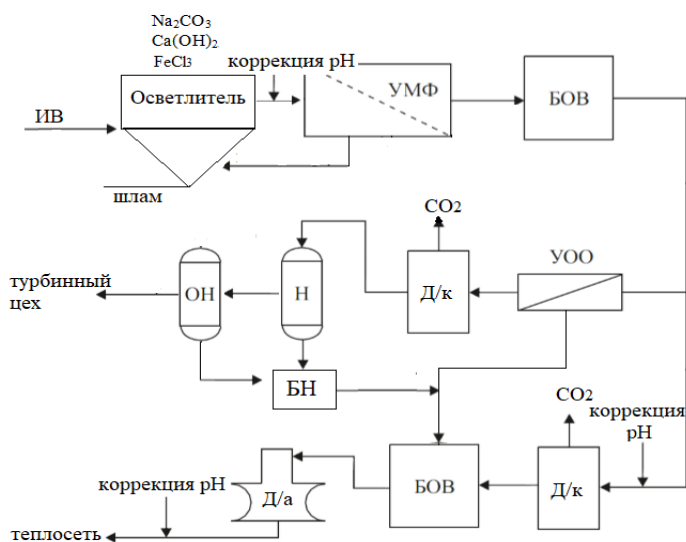


Рис. 14. Предлагаемая бессточная схема водоподготовки Казанской ТЭЦ-2. УМФ – установка микрофльтрации, УОО – установка обратного осмоса, Д/к – декарбонизатор, БН – бак накопитель, БОВ – бак обессоленной воды, Д/а – деаэрактор

Схема предполагает последовательное проведение содоизвесткования–коагуляцию $FeCl_3$ в осветлителе при температуре $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ – фильтрование через насыпной механический фильтр – подкисление H_2SO_4 – микрофльтрацию – обратный осмос – Н-ОН-ионирование по III-ей ступени.

Для подпитки теплосети подается осветленная вода после микрофльтрации, умягченный обратноосмотический концентрат и отработанные регенерационные растворы Н-ОН фильтров. Нормируемые показатели (взвешенные вещества, карбонатный индекс, рН и др.) не превышают пределов, установленных «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» для воды закрытой теплосети (табл. 5).

В осветлитель подаются сточные воды и воды взрыхления механических фильтров, нейтральные воды обратных промывок микрофльтрации и обратноосмотической установок.

Табл. 5. Рассчитанный состав воды по ступеням обработки в технологической схеме предпочистка-содоизвесткование-коагуляция $FeCl_3$, без Na-катионирования с использованием оборудования УПТС на КТЭЦ-2. ВВ – взвешенные вещества; Ок – окисляемость; ОСС - общее солесодержание; Q – расход воды; ХОЧВ – химически очищенная вода; ХОВ – химобессоленная вода

Показатель	Размерность	Исходная вода в Осв	Осветленная вода после микро-фильтр.	Пермеат ОО	Концентрат ОО	ХОЧВ	ХОВ
Q	т/ч	225	235	124,2	41,1	96,6	122,4
Жобщ/Жса	ммоль-экв/л	4,43/4,0	0,4/0,2	0,004/0,003	1,6/1,1	0,8/0,5	0
Na ⁺		0,35	4,38	0,22	17,1	8,6	0,00025
HCO ₃ ⁻		2,53	1	0,2	7,6	0,11	0
SO ₄ ²⁻		1,77	1,77	0,02	7	3,5	0
Cl ⁻		0,34	0,64	0,2	1,5	0,9	0,0001
ЩГОН		0,002	0,27	0,01	0,01	0,02	0
SiO ₂	мг/л	9,79	5,4	0,1	22	11	0,0001
Ок		8,83	4	0,4	16,0	8,0	0
ВВ		1,82	0,1	0	0	0	0
ОСС		336,4	280	16	1240	610	0,001
рН		8,16	10,3	8,9	9,1	9,2	7

Предлагаемая технологическая схема отличается низким расходом воды на собственные нужды (2,5%), соответствием нормируемых показателей нормативным требованиям для подпиточной воды теплосети, снижением солесодержания в сточных водах на 48% и нетоксичностью твердых отходов (не содержат ионов алюминия) при сохранении безопасной работы баромембранных установок. Разработанная технология позволит повысить срок службы установок микрофльтрации и обратного осмоса и надежность их работы за счет снижения осадкообразования на мембранах. Предполагаются минимальные изменения обвязки технологического оборудования и умеренный расход доступных реагентов.

Суммарная финансовая экономия для ТЭЦ-2 составляет 17,657 млн. руб/год. Снижение сброса минерализованных сточных вод составляет 663 324 т/год.

В пятой главе описаны разработанные технологии использования концевых установок для переработки жидких высокоминерализованных отходов ТЭЦ. В качестве концевых установок при организации замкнутых циклов задействованы электро-мембранные аппараты в различных вариантах конструкции.

Для Казанской ТЭЦ-3 была разработана оригинальная технология, спроектирована и смонтирована опытно-промышленная электро-мембранная установка для переработки продувочных вод термообессоливающего комплекса. Установка включает последовательно соединенные аппараты отделения щелочи от исходного раствора (диффузионно-диализный экстрактор, DDE) и аппарат концентрирования щелочного раствора (электродиализный концентратор, EDC) (рис. 15). Оба аппарата работают одновременно в проточном режиме.

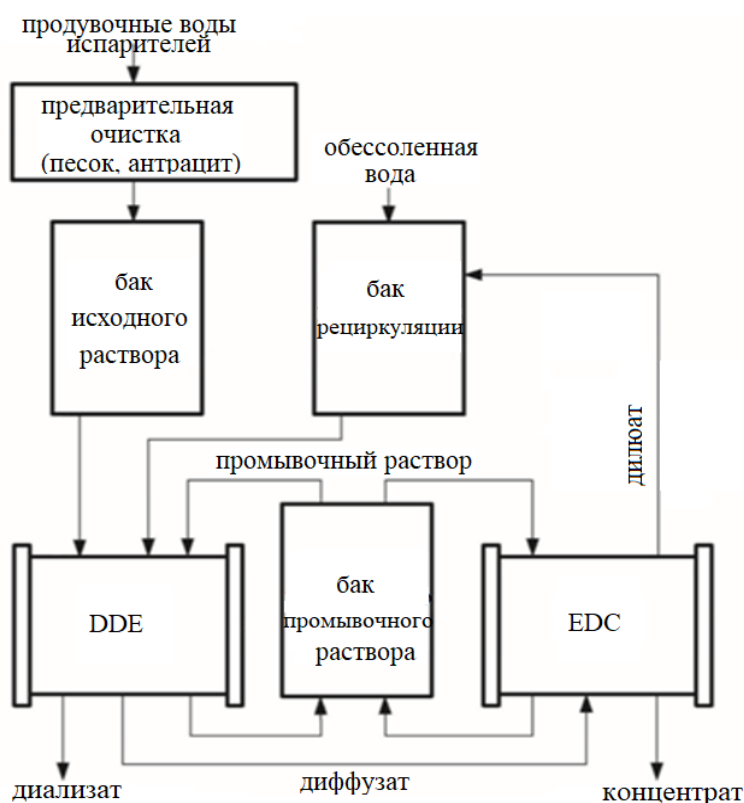


Рис. 15. Технологическая схема электро-мембранной установки переработки продувочной воды термообессоливающего комплекса Казанской ТЭЦ-3 с получением концентрированной щелочи и нейтрального солевого раствора по двухступенчатой технологии DD(E)-EDC

Назначение аппарата диффузионного диализа состоит в эффективном разделении исходного раствора на щелочной экстракт (диффузат) и частично обессоленную воду (диализат) (рис. 16). Причем степень разделения была выше без наложения электрического поля. Скорость процесса возрастает при подаче напряжения на аппарат.

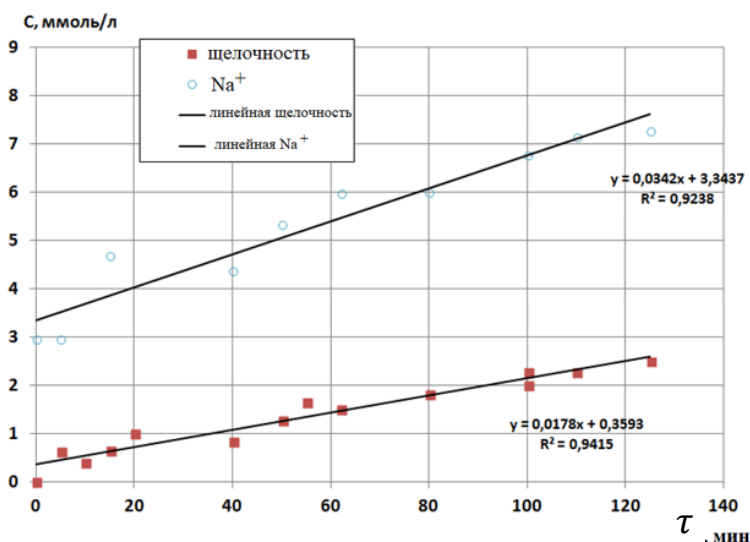


Рис. 16. Динамика переноса соединений натрия (щелочи и солей) в тракт диффузата на аппарате I ступени ЭМА-120/2

Наличие второго аппарата электродиализного концентратора позволяет получать щелочной концентрат, пригодный для использования в технологическом цикле ТЭЦ (рис. 17). Поскольку электродиализный концентратор имеет невысокую селективность, получаемый щелочной раствор на второй стадии содержит некоторое количество солей исходного раствора.

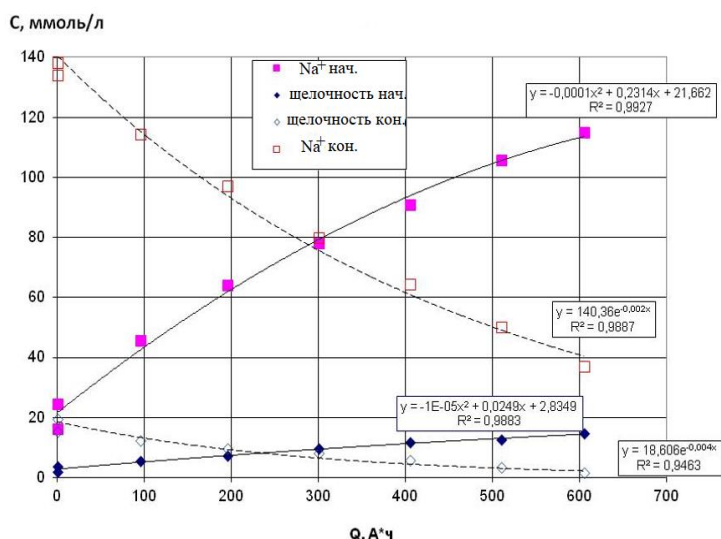


Рис. 17. Динамика процессов в концентраторе (ЭМАК-120). Щ (2), Щ(3) – содержание щелочи в линиях концентрата (2) и диллюата (3); NaA(2), NaA(3) – содержание натриевых солей в линиях концентрата (2) и диллюата (3)

Динамика типичного процесса по непрерывной схеме, представленная на рис. 18, иллюстрирует переход щелочи из первого тракта (продувки) в третий тракт (концентрированный щелочной раствор).

При непрерывной схеме совместной работы аппаратов скорость суммарного процесса повышается примерно в 10 раз по сравнению с периодическим режимом. Селективность и скорость суммарного процесса возрастает со временем, что связано с заменой в мембранах противоионов второго порядка на OH^- ионы.

В результате работы в непрерывном режиме с циркуляцией с последовательным переключением аппаратов по гидравлической схеме диффузионный диализ - электродиализное концентрирование образуется прозрачный щелочной раствор с рН 13,86 и концентрацией щелочи 4%. Это в 10 раз превосходит содержание ее в исходном растворе – продувочной воде. В полученном концентрате нежелательные примеси (органические вещества, ионы железа) присутствуют в допустимых пределах. Содержание солевых компонентов - хлоридов и карбонатов – составляет 0,9 и 0,6% по массе, соответственно.

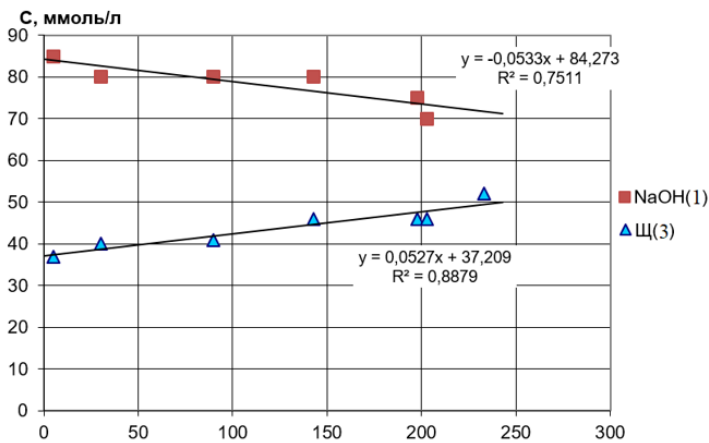


Рис. 18. Изменение концентрации NaOH и щелочности по фенолфталеину от времени при последовательной схеме работы аппаратов: NaOH(1) – концентрация NaOH в первой линии (исходный раствор продувки), Щ(3) – щелочность по фенолфталеину в третьей линии (щелочной концентрат).

Получаемый концентрированный щелочной раствор (продукт 1) имеет достаточно высокую чистоту и используется в цикле станции для регенерации анионитных фильтров I ступени. Умягченный солевой раствор (продукт 2) подается на подпитку теплосети.

Электромембранная установка перерабатывает 0,5 тонны в час щелочных сточных вод испарительной ВПУ с получением 0,05 тонны щелочного концентрата и 0,45 тонны умягченного солевого раствора. Удельный расход электроэнергии составляет 6 кВт*ч на 1 тонну продувочной воды. Соотношение образующихся концентрированного щелочного раствора к умягченному солевому раствору – 1:9. Работа установки характеризуется полным отсутствием отходов, безреагентностью и низким расходом электроэнергии.

С целью переработки щелочных отработанных регенерационных растворов анионитных фильтров ионитной ВПУ была разработана технология, спроектирована экспериментальная опытно-промышленная электромембранная установка и смонтирована в химическом цехе № 2 Нижнекамской ТЭЦ-1.

На рис. 19-20 представлены данные по электродиализной обработке щелочных отработанных растворов.

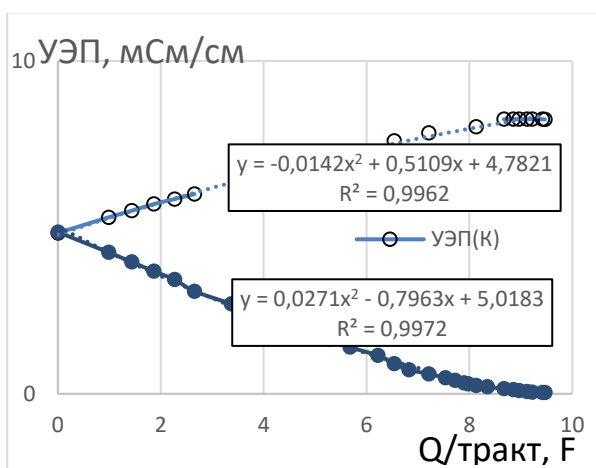


Рис. 19. Динамика изменения удельной электропроводности (УЭП) концентрата и диализата в периодическом режиме работы. Исходные объемы концентрата и диализата – по 300 л. Q – количество электричества, F – постоянная Фарадея.

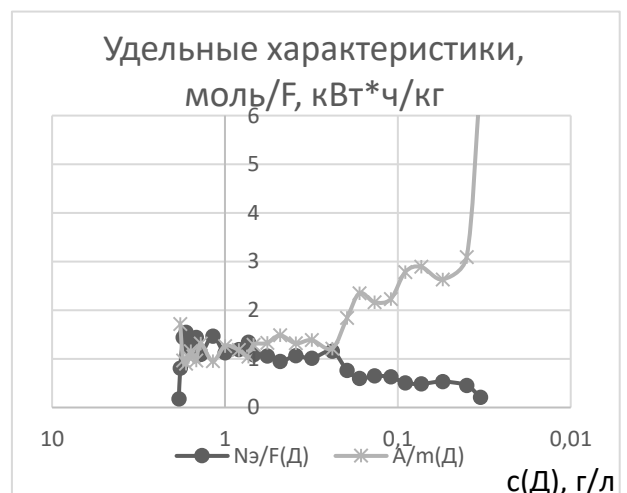


Рис. 20. Изменение удельных характеристик процесса электродиализного разделения производственного раствора (фракции № 5) от остаточного содержания диализата (C(Д)). Nэ/F(Д) – удельный перенос вещества электролита из линии диализата в линию концентрата, моль-экв/Фарадей, A/m(Д) – удельный расход электроэнергии на перенос 1 кг вещества электролита из диализата в концентрат, кВт*ч/кг

Ионы переходят из линии диализата в линию концентрата (рис. 19). При обессоливании диализата закономерно возрастает напряжение и падает ток, электросопротивление растёт. При максимальной силе тока – 28,3 А и расходе рабочих растворов 1500 дм³/ч за один проход солесодержание в концентрате поднимается примерно на 4 г/л в пересчете на 100% NaOH или 0,4 масс. %. Установлены экономически- и технологически обоснованные пределы обессоливания диализата и концентрирования концентрата. Падение эффективности процесса электродиализа начинается при солесодержании диализата менее 0,2 г/л и практически останавливается при солесодержании менее 0,1 г/л (рис. 20).

Концентрирование щелочного концентрата ограничено 40 г/л, что соответствует концентрации 4% щелочи, которую можно повторно использовать для регенерации анионитных фильтров. Целесообразный предел обессоливания диализата – 0,2 г/л, концентрирование концентрата – 40 г/л по общему солесодержанию. Расход электроэнергии в среднем 1,0 кВт*ч/кг соли (4 кВт*ч на 1 тонну обрабатываемой воды).

В табл. 6 представлены данные по селективности разделения компонентов щелочного отработанного регенерационного раствора в электромембранном аппарате. Кратность разделения (Кр) определяет пропорции компонентов электролита в концентрате и дилюате. Кратность концентрирования (Кк) показывает соотношение накопления компонентов электролита в концентрате относительно друг друга за временной интервал. По кратности снижения (Кс) можно установить скорость перехода компонентов электролита из линии диализата. Удельная энергоёмкость диализа характеризует количество энергии, необходимое на перенос компонентов электролита из линии диализата в линию концентрата за единицу времени в единицу объема.

Табл. 6. Расчетные данные по кратности разделения и селективности переноса компонентов производственных вод (фракция № 4) через мембранную пару в ЭМА. С_к – концентрация анализируемого компонента в концентрате, С_д – концентрация анализируемого компонента в диализате, С_{д_{исх}} – исходная концентрация анализируемого компонента в диализате

Показатель	Кратности			Удельная энергоёмкость диализа, (моль-экв/F за 1 час)
	разделения, Кр = С _к /С _д через 1,5 часа	концентрирования, Кк = С _к /С _{д_{исх}} через 1,5 часа	снижения, Кс = С _{д_{исх}} /С _д через 1,5 часа	
ОСС	10,4	3,09	3,38	
Na ⁺	9,4	2,87	3,27	0,76
Щел. ф/ф	8,5	2,85	3	0,76
Cl ⁻	3,45	1,5	2,28	0,23
SO ₄ ²⁻	1,65	1,3	1,25	0,012
SiO ₃ ²⁻	1,25	0,62	2,02	0,004
ОВ	0,59	0,47	1,24	0,0012
Fe ²⁺	0,6	0,52	1,15	0,0006

По результатам проведенного электродиализа щелочных фракций регенерационных растворов анионитных фильтров выявлены существенные различия в скорости или селективности переноса из линии диализата в линию концентрата через мембраны различных компонентов электролита (табл. 7). По селективности переноса через мембранные пары из диализата относительно общего солесодержания (ОСС), основные компоненты располагаются в ряд:



компонент	S ₀
ОСС	1
Cl ⁻	1,5±0,2
Na ⁺	1±0,1
OH ⁻	1±0,1
SO ₄ ²⁻	0,3±0,05
CO ₃ ²⁻	0,25±0,05
SiO ₃ ²⁻	0,25±0,05
Орг. в-ва	0,2±0,05
Fe ⁿ⁺	0,15±0,03

Табл. 7. Селективность (S₀) переноса ионов через мембранную пару из диализата в концентрат при электродиализе. S₀ = K_p компонента/ K_p ОСС

Селективность переноса однозарядных ионов превышает таковую для двухзарядных и существенно превышает селективность переноса основных загрязняющих компонентов – органических, кремне- и железосодержащих соединений. Поэтому при электродиализе относительное содержание

загрязняющих веществ в концентрате падает, а в диализате растет. В результате получаемый щелочной концентрат оказывается чище примерно в 10 раз, чем исходные щелочесодержащие фракции отработанных и отмывочных вод.

По результатам химического анализа, концентрат – это щелочной раствор с концентрацией щелочи 3,1 масс. %, а дилуат – это умягченный частично обессоленный раствор. При этом массовое соотношение получаемых продуктов (концентрированный щелочной раствор: умягченный частично обессоленный раствор) равно 1:4 (табл. 8).

Табл. 8. Результаты электродиализного концентрирования отработанного регенерационного раствора анионитных фильтров

Показатель	ОРР	Концентрат	Дилуат
Щел м/о, ммоль-экв/л	227	872	3
Щел ф/ф, ммоль-экв/л	207	826	0
Cl ⁻ , мг/л	1220	6800	50
ПО, мл/л	118,5	321	74,4
Жобщ, ммоль-экв/л	0	0	0
Fe, мг/л	2,0	4,63	1,54
РН, ед	12,87	14	11,16
УЭП, мкСм/см	35	111,8	1,6
Компонентный состав, г/л			
NaOH	5,4	31,2	0,04
NaCl	2,02	11,2	0,0824
Na ₂ CO ₃	1,61	3,82	0,159
NaHum	0,292	0,764	0,183
ОСС	15	52,2	0,8

Таким образом, при электромембранной переработке получается два продукта – раствор щелочи (концентрат) и солевой раствор (дилуат). Раствор щелочи может содержать от 20 до 60 г/л NaOH и примеси исходных солей – до 10 % от содержания основного вещества. Дилуат состоит из раствора исходных солей и остатков щелочи. Степень отделения щелочи составляет примерно 90 %.

Электромембранная установка перерабатывает 1,5 тонны в час щелочных сточных вод ионообменной ВПУ. Производительность установки составляет 4 кг 100% щелочи/час, что соответствует 0,1 тонне 4% щелочного раствора. Удельный расход электроэнергии ЭМУ - 4 кВт*ч на 1 тонну сточных вод, соотношение образующихся концентрированного щелочного раствора к умягченному солевому раствору – 1:4, полное отсутствие отходов, процесс безреагентный.

Суммарная финансовая экономия на Казанской ТЭЦ-3 составляет 1,6 млн. руб в год и зависит преимущественно от возврата щелочи в технологический цикл. На Нижнекамской ТЭЦ-1 экономический эффект от внедрения технологии электромембранной утилизации щелочных отработанных регенерационных растворов ионитной ВПУ составляет 7,155 млн. руб в год.

В шестой главе описаны разработанные технологии организации локальных замкнутых циклов, синхронизации потоков, ведения водно-химического режима и взаимной конверсии отходов.

Локальные замкнутые циклы включают частичное рециркулирование потоков технологических вод различных подсистем – оборотного охлаждения (СОО), водоподготовки (ВПУ), централизованного теплоснабжения.

Для устранения перерасхода химических реагентов (серной кислоты и натриевой щелочи) и последующего превышения ПДК сульфатов в стоках ВПУ при сопряженной работе СОО и ВПУ предлагается ресурсосберегающая схема с отдельным водооборотом подсистем СОО и ВПУ. При этом для добавочной воды СОО и установки подпитки теплосети (УПТС) предпочистка (осветлитель и механический фильтр) общая, так как при получении химически очищенной воды не требуется полного удаления солей и не применяются реагенты – H_2SO_4 и $NaOH$.

По предложенной критериальной системе оценки совершенства энергопроизводства разработаны варианты технологических схем с общей предпочисткой СОО и УПТС, рециркуляцией продувочной воды СОО на предпочистку и отделением СОО от ВПУ для Нижнекамской ТЭЦ-1 и Казанской ТЭЦ-1 (рис. 21, 22).

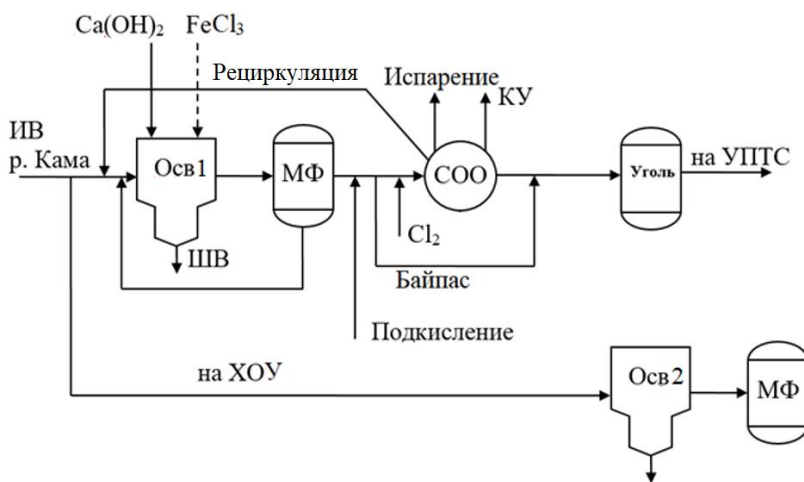


Рис. 21. Технологическая схема с общей предпочисткой для СОО и УПТС, рециркуляцией продувочной воды СОО и байпасированием части осветленной воды на УПТС, КУ – капельный унос

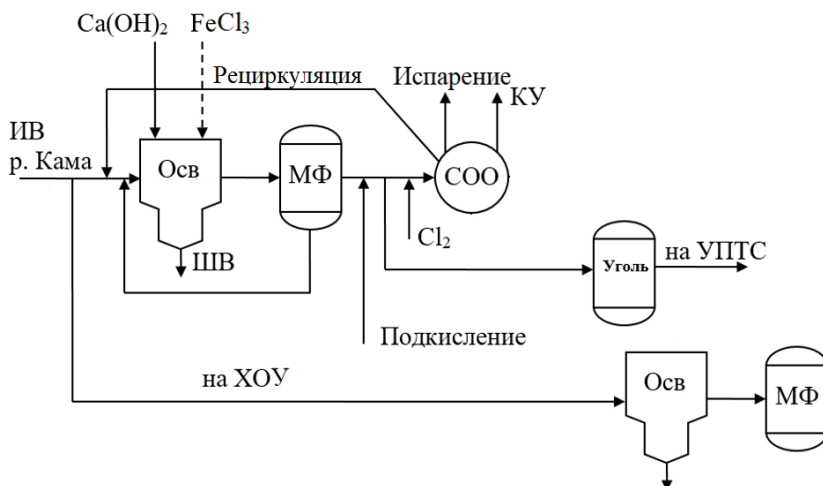


Рис. 22. Технологическая схема с общей предпочисткой для СОО и УПТС, рециркуляцией продувочной воды СОО и отбором осветленной воды на УПТС до СОО

Вода, подаваемая на теплосеть, подогревается на встроенных пучках конденсаторов турбин и сетевых подогревателей до температуры 120/80 °С. Расчет по

схеме (рис. 22) для Казанской ТЭЦ-1 представлен в табл. 9.

Табл. 9. Рассчитанные показатели по предлагаемой схеме для зимнего периода

	Q, т/ч	Ж ₀ , моль-экв/м ³	Ж _{Ca} , моль-экв/м ³	Щ ₀ , моль-экв/м ³	SO ₄ , г/м ³	Cl, г/м ³	НП, мг/дм ³	ВВ, мг/дм ³	рН
ИВ р. Волга	280	4,6	3,4	3,0	90	14	0,37	1,7	7,7
ЦВ СОО	17500	2,04	1,43	2,1	291	35,6	0,2	0,7	9,0
ОсВ на ПТС	105	1,0	0,7	0,8	142,6	17,5	0,1	0,46	10,4

ИВ – исходная вода, ЦВ – циркуляционная вода, ОсВ – осветленная вода, ПТС – подпитка теплосети, Q – расход воды, НП – нефтепродукты, ВВ – взвешенные вещества

Согласно расчетным данным, качество осветленной воды удовлетворяет требованиям к теплосетевой воде (карбонатный индекс 0,56 моль-экв/м³, взвешенные вещества 0,46 мг/дм³, нефтепродукты 0,1 мг/дм³). Данная схема планируется для работы в зимний период времени.

Летом для обработки добавочной и циркуляционной воды СОО необходимо минимум два осветлителя. Из-за отсутствия подачи воды на установку ПТС циркуляционная вода становится более минерализованной. Однако, предела растворимости по карбонату и сульфату кальция не достигается и образования отложений в СОО не ожидается.

Экономический эффект на Нижнекамской ТЭЦ-1 составляет 7,738 млн. руб/год, для Казанской ТЭЦ-1 – 44,297 млн. руб/год и складывается из снижения расхода реагентов и эмиссии загрязнений до 50%.

Для сопряженной СОО Казанской ТЭЦ-3 предложена и прошла промышленные испытания технология снижения нестабильности циркуляционной воды разбавлением более чистой водой с промежуточных стадий ВПУ (рис. 23).

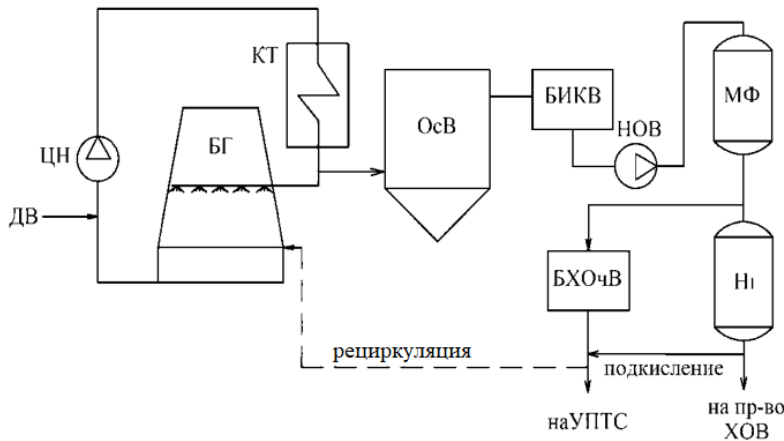


Рис. 23. Технологическая схема организации рециркуляции воды сопряженной СОО на Казанской ТЭЦ-3. Здесь – ЦН – циркуляционный насос, ДВ – добавочная вода, БГ – башенная градирня, КТ – конденсатор турбины, БИКВ – бак известково-коагулированной воды, НОВ – насос осветленной воды

По результатам промышленного эксперимента отмечено, что организация рециркуляции частично обессоленной водой вызывает прекращение накипеобразования, и при рециркуляции объема 100 т/ч (20 % от расхода в химцех) отмечен факт растворения карбонатных отложений. Также отмечается уменьшение коррозии металлоконструкций в СОО. В химобессоленной воде, в свою очередь, наблюдается наибольшее снижение концентрации кремниевой кислоты и соединений железа - тех примесей, удаление которых представляет наибольшую сложность. Повышается качество подпиточ-

ной теплосетевой воды. В то же время повышаются содержание сульфатов в циркуляционной воде в результате обработки коагулянт (сульфат железа) дополнительного объема воды, но не сверх нормативного уровня (рис. 24).

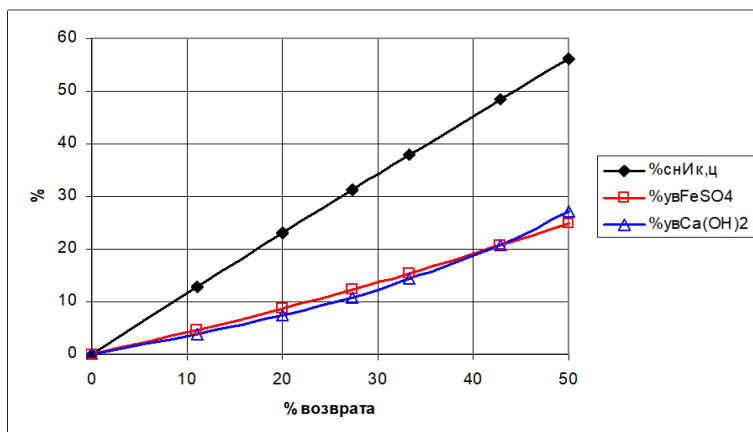


Рис. 24. Относительное снижение карбонатного индекса циркуляционной воды и относительное увеличение расхода реагентов на стадии предочистки в зависимости от доли возврата воды в СОО. Расчет для условий $m_{\text{исп}}=100$ т/ч, $m_{\text{д}}=500$ т/ч.

Одновременно увеличивается количество осадка (шлама) в осветлителе. Таким образом, при закикливании части потока образование отложений из СОО переносится в осветлитель, и вода СОО очищается от взвешенных и малорастворимых веществ и микроорганизмов.

Расчет технико-экономического эффекта внедрения технологии снижения нестабильности циркуляционной воды сопряженной системы оборотного охлаждения Казанской ТЭЦ-3 был проведен на основании снижения слоя отложений, который в свою очередь приводит к пережогу топлива. Таким образом, экономический эффект составляет при пережоге 1% газа 43,644 млн. руб в год.

В следующей группе технологий ресурсосбережения на примере Набережночелнинской ТЭЦ и Казанской ТЭЦ-3 разработан принцип синхронизации и стабилизации потоков и на его основе внедрены технологии управления системой оборотного охлаждения. Проблемы СОО Набережночелнинской ТЭЦ – повышенный расход стабилизирующего реагента (антискалянта) и накипеобразование – предлагается решать с использованием разработанных автоматизированного комплекса мониторинга и режимной схемы синхронизации (согласования входящих и выходящих потоков) продувки, добавочной воды, рабочего раствора фосфонатов в зависимости от измеряемых и расчетных показателей (рис. 25, табл. 10).

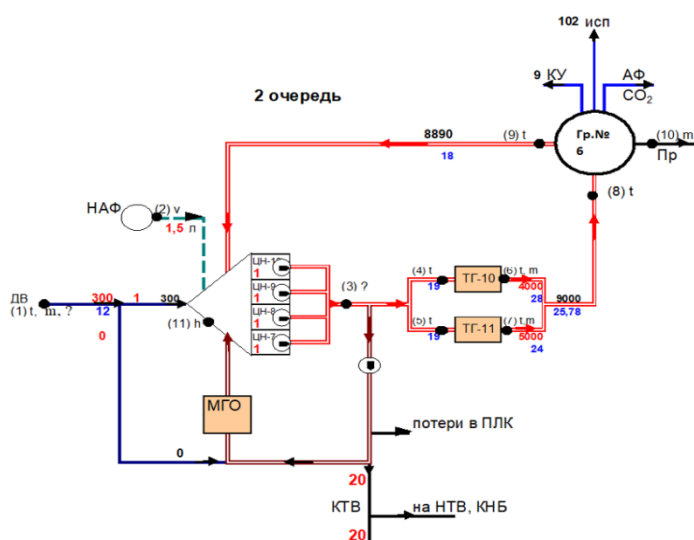


Рис. 25. Схема установки датчиков и приборов контроля показателей работы СОО. Точкой указаны места расположения датчиков контроля и измеряемые с их помощью показатели. ДВ – добавочная вода; НАФит – дозаторный насос рабочего раствора реагента; АФ – активфос; ЦН – циркуляционный насос; МГО – маслогазоохладители; Пр – продувка; КТВ – контур технической воды; КУ – капельный унос; исп – испарение; ПЛК – промливневая канализация; ТГ – конденсаторы турбин

Табл. 10. Карта корректировки режимных параметров СОО второй очереди Набережночелнинской ТЭЦ. Расчет показателей режима работы (П) производится с использованием значений замеряемых параметров. Периодичность корректировки режимных параметров СОО – 2 раза в сутки

Показатели режима работы СОО за последние сутки					Рекомендации по изменению режима		
П концентрирования воды	П осаждения кальция	П осаждения анионов слабых кислот	П концентрации фосфонатов	П уровня воды в СОО	Продувка	Добавочная вода	Дозирование фосфонатов
< 0,95	1	1	1	1	Уменьшить на 20 т/ч	Уменьшить на 20 т/ч	Уменьшить на 2 л/ч
> 1,05	< 0,95	< 0,95	1	1	Увеличить на 20 т/ч	Увеличить на 20 т/ч	Увеличить на 2 л/ч
1	1	1	< 0,95	1	Не менять	Не менять	Увеличить на 2 л/ч
1	1	1	> 1,05	1	Не менять	Не менять	Уменьшить на 2 л/ч
1	1	1	1	< 0,95	Увеличить на 20 т/ч	Уменьшить на 10 л/т/ч	Увеличить на 1 л/ч
1	1	1	1	> 1,05	Уменьшить на 20 т /ч	Увеличить на 10 т/ч	Уменьшить на 1 л/ч

Разработанная технология управления несопряженной системой оборотного охлаждения Набережночелнинской ТЭЦ позволяет снизить затраты на реагенты (фосфонаты) на 10%, уменьшить расход добавочной воды и снизить стоки СОО с достижением экономического эффекта 7,5 млн. руб/год.

Для группы котельных ПАО «Татнефть» с баромембранной технологией водоподготовки, осуществляющих выработку пара для нефтедобычи, на основе проведенного системного анализа и физико-химического анализа водных потоков и отложений на мембранах подобран единый корректировочно-отмывочный набор и разработан водно-химический режим. Унифицированный коррекционно-отмывочный набор химических реагентов включает препарат активного хлора, алюминий содержащий коагулянт, техническую серную кислоту, техническую щелочь, восстановитель хлора, антискалянт, активный компонент щелочного моющего раствора, активный компонент кислого моющего раствора, дезинфицирующий реагент. Разработанная методика позволяет отказаться от неэффективного избыточного потребления реагентов, продлить срок службы мембранных модулей, упростить и удешевить реагентное обеспечение водоподготовки котельных.

Экономический эффект для котельных ПАО «Татнефть» составляет 17 751 160 рублей в год со снижением загрязненности сточных вод в 2,5 раза.

В главе также изложена технология взаимной конверсии высокоминерализованных стоков и шлама с различных ступеней водоподготовки с обезвоживанием вторичного шлама, пригодного для сброса, и экономией ресурсов для повторного использования.

С целью снижения стоков ионитной ВПУ и содержащихся в них сульфатов предлагается вместо закупаемого реагента (известь) использовать шлам предочистки, состоящий на 95% из карбоната кальция и гидроксида магния, кислые отработанные регенерационные растворы, состоящие в основном из серной кислоты, сульфатов кальция, магния, натрия. Результатом химической реакции является насыщенный раствор

гипса (CaSO_4), содержащий дополнительно соли магния и натрия. Реакция протекает в течение 10 минут до pH близкого к 8 и далее останавливается (рис. 26).

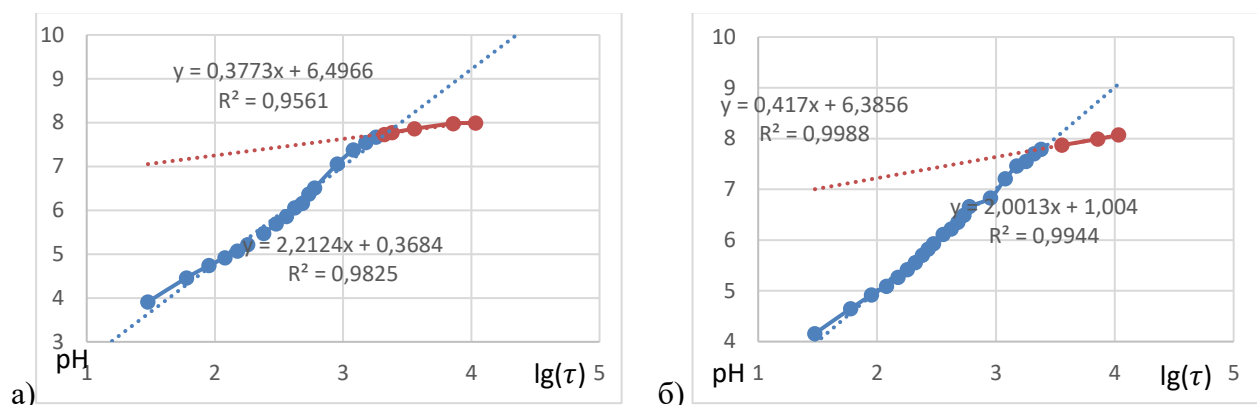


Рис. 26. Изменение pH от времени при нейтрализации кислых стоков ВПУ шламом предочистки. Состав кислых стоков: кислотность=76 моль-экв/л, SO_4^{2-} =6594 мг/л; Содержание шлама = 2,25 масс. % Отношение кислых стоков/шламовых вод а) 1:1; б) 1:2

Кроме того, в образующемся растворе происходит снижение общего солесодержания, жесткости, силикатов, перманганатной окисляемости (рис. 27).

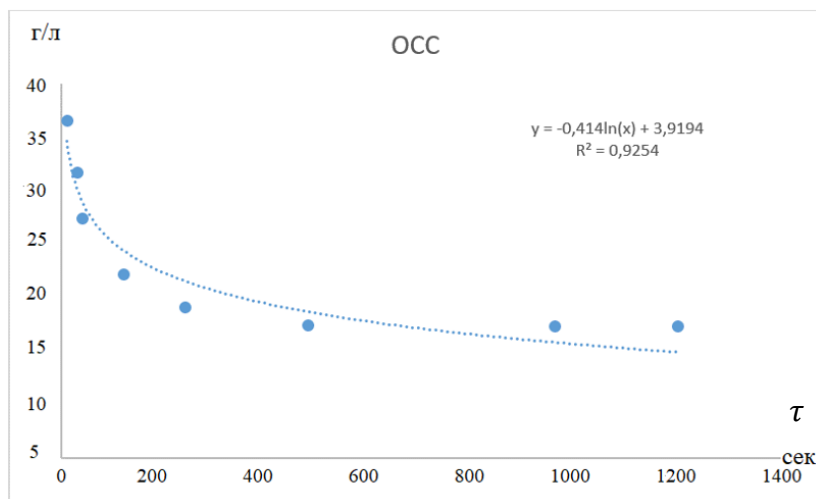


Рис. 27. Изменение общего солесодержания (ОСС) при обработке кислых отработанных регенерационных растворов шламовыми водами

Для осаждения сульфата натрия (Na_2SO_4) из нейтрализованных отработанных регенерационных растворов требуется дополнительная обработка растворимым кальций содержащим реагентом, который присутствует в первой, наиболее концентрированной фракции отработанных регенерационных растворов Na-катионитных фильтров. Химическое взаимодействие приводит к образованию малорастворимого сульфата кальция и снижению содержания сульфатов в стоках.

Еще один источник нейтральных солей кальция – высокоминерализованные фракции ОРР после перевода $\text{H}_{\text{предвкл}}$ фильтра в Na-форму с использованием нейтральной фракции An-фильтров. Данный процесс включен в схему регенерации ионитных фильтров по технологии «каскад». В случае использования этих растворов утилизируются все без исключения отходы ТЭЦ, и создаются наиболее благоприятные условия для удаления сульфатов из стоков.

Содержание сульфатов после каждой стадии обработки представлено в табл. 11.

Табл. 11. Результаты обработки кислых отработанных регенерационных растворов Н₁-фильтра Нижнекамской ТЭЦ-1

Происхождение воды	Содержание сульфатов, г/л
Кислый отработанный регенерационный раствор	3,02
Фильтрат -1 (после введения шлама предочистки)	1,1
Фильтрат -2 (после введения ОРР Na-фильтра)	0,47

Полученный после прохождения реакций раствор подается на ленточный фильтр-пресс для отделения обезвоженного гипса и фильтрата, который можно использовать для технических нужд.

В 2018 г. на Нижнекамской ТЭЦ-1 и в 2019 г. на Казанской ТЭЦ-3 была разработана технология, спроектированы и смонтированы установки комплексной очистки жидких высокоминерализованных сульфатсодержащих отходов и твердых отходов предочистки водоподготовительной установки с обезвоживанием осадка.

Суммарная финансовая экономия для Нижнекамской ТЭЦ-1 составляет 1,734 млн. руб в год для Казанской ТЭЦ-3 – 710 тыс. руб. в год и определяется снижением расхода реагентов и сброса сточных вод. Снижение содержания сульфатов в общем стоке составляет в среднем 40%.

В главе 7 проведен технико-экономический и экологический расчет при применении предлагаемых технологий на объектах энергетики Татарстана. Представленные научно-технические решения позволяют экономить ресурсы – воду, химические реагенты, электроэнергию, расходные материалы и оборудование, минимизировать образование коррозии и отложений, возвращать в водный цикл ТЭЦ и повторно использовать ценные компоненты из стоков и саму воду. В главе рассчитаны экономическая эффективность для энерготехнологических систем и суммарное воздействие на экологию региона РТ при внедрении разработанных ресурсосберегающих малосточных технологий водопользования.

Экономический эффект при внедрении предлагаемых технологий на промышленно-энергетическом комплексе Татарстана составит 330 млн. рублей в год и будет осуществляться за счет экономии дорогостоящих реагентов, воды разной степени очистки, снижения объема сточных вод и перерасхода топлива. Благоприятное воздействие на экологию региона определяется уменьшением забора исходной воды из рек Волга и Кама на 6,9 млн. тонн в год, снижением сброса высокоминерализованных сточных вод на территории Волжско-Камского бассейна на 5 млн. тонн в год, ослаблением засоленности рек и почвы с положительным влиянием на урожайность и качество питьевой воды, сокращением расхода химических реагентов и частичным возвратом их в производственный цикл.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Предложена критериальная система совершенства энергопроизводства, включающая 6 критериев оценки экологичности, экономичности, ресурсосбережения структуры водопользования.

2. Применен комплексный системный подход к решению проблемы ресурсосбережения при создании малосточной системы водопользования промышленно-энергетического комплекса Республики Татарстан. На основе системного анализа энергопроизводства разработана математическая модель для анализа и расчета структуры

водопотребления объектов энергетики и перспективных технологических схемных решений по организации малосточных энергопредприятий. Проведен системный анализ структуры водопользования индустриально-энергетического комплекса Республики Татарстан.

3. Разработаны теоретические положения и новые научно-обоснованные технические, технологические решения по ресурсосбережению при реализации малосточных технологий, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие энергетической отрасли:

□ Ресурсосберегающая технология «каскадной» регенерации ионитных фильтров химобессоливающей водоподготовительной установки позволяет снизить расход воды на собственные нужды в 2 раза, уменьшить удельный расход реагентов (кислоту, щелочь, коагулянт) на 40 % и сократить объем высокоминерализованных сточных вод от ВПУ на 80 %.

□ Безреагентные электромембранные технологии переработки жидких высокоминерализованных отходов испарительной и химобессоливающей ионитной водоподготовительных установок с использованием концевых электромембранных аппаратов. Двухступенчатая электромембранная установка переработки продувочных вод термообессоливающего комплекса позволяет полностью перерабатывать стоки с получением двух продуктов - щелочного концентрата и умягченного солевого раствора в соотношении 1:9, с удельным расходом электроэнергии 6 кВт*ч/т. Электродиализная переработка отходов ионитной водоподготовительной установки позволяет получить щелочной концентрат и умягченный солевой раствор в соотношении 1:4, с удельным расходом электроэнергии - 4 кВт*ч на 1 тонну сточных вод. Электромембранная переработка дает возможность практически полностью исключить потери ценных компонентов - щелочи и воды, и многократно снизить объем высокоминерализованных стоков.

□ Технологии стабилизации сопряженной системы оборотного охлаждения, включающие перманентную очистку засоленной циркуляционной воды за счет рециркуляции рассчитанного объема потоков с промежуточных этапов водоподготовки. При снижении нестабильности циркуляционной воды происходит достоверное уменьшение накипеобразования, перерасхода топлива и при определенных условиях, растворение отложений.

□ Автоматизированная система синхронизации потоков в системе оборотного охлаждения, позволяющая снизить удельные расходы воды и реагентов и риск образования накипи на поверхностях теплообмена и повысить надежность работы системы оборотного охлаждения и всего энергопредприятия.

□ Для группы котельных ПАО «Татнефть» разработан эффективный способ ведения водно-химического режима баромембранных водоподготовительных установок и унифицированный коррекционно-отмывочный состав мембранных модулей, позволяющий продлить срок службы мембранных модулей, снизить расходы реагентов и стоимость обслуживания баромембранной водоподготовки.

□ Технология и установка взаимной конверсии жидких и твердых отходов с различных ступеней ионитной химобессоливающей водоподготовки позволяет без использования химических реагентов нейтрализовать все высокоминерализованные стоки с достижением удовлетворительных показателей по сбрасываемым веществам с получением обезвоженного осадка гипса и очищенной воды для технических нужд. Снижение сброса сульфатов составляет 85%.

□ Ресурсосберегающие технологии баромембранной водоподготовительной установки, основанные на повторном использовании отработанных водных растворов,

рециркуляции водных растворов, пригодных для совместной очистки с исходной водой, и взвешенном анализе применения химических реагентов. Суммарным эффектом является снижение объемов образующегося концентрата баромембранной водоподготовительной установки с 40% и, в ряде случаев, 60% до 2-5%, ограничение или полное исключение расхода некоторых химических реагентов, уменьшение отложений на мембранах за счет повышения качества обработанной воды.

□ Технологии организации локальных замкнутых циклов при функционировании подсистем водооборота, включающие взаимное частичное зацикливание потоков водоподготовительной установки, системы оборотного охлаждения, централизованного теплоснабжения, с максимальным задействованием оборотных технологических вод, установленного оборудования и исключением дополнительного расхода реагентов. При использовании представленных технологий достигается снижения расхода реагентов (кислоты, щелочи) на 7%, снижение сульфатов в стоках на 6%, снижения забора исходной и сброса сточных вод до 20%.

4. Разработанные технологические решения по созданию малосточных ресурсосберегающих систем водопользования прошли стадии испытаний от лабораторного до опытно-промышленного уровня и полностью или частично реализованы на энергопредприятиях АО «Татэнерго», АО «ТГК-16», ПАО «Татнефть». Практическая реализация результатов работы подтверждена актами о внедрении и справками об использовании результатов научных исследований.

5. Проведена оценка влияния разработанных ресурсосберегающих малосточных технологий на региональную экономику и экологию природопользования Республики Татарстан:

- уменьшение забора исходной воды из рек Волга и Кама на 6,9 млн. тонн в год, что составляет 3% от водозабора в регионе на нужды энергосистемы;
- снижение сброса высокоминерализованных сточных вод на территории Волжско-Камского бассейна на 5 млн. тонн в год, что составляет 24% от сброса загрязненных сточных вод энергосистемой в регионе;
- уменьшение засоленности рек и почвы;
- минимизация или полный отказ от использования токсичных химических реактивов с заменой их на нейтральные, природные вещества;
- возврат в производственный цикл или уменьшение расхода химических реагентов, составляющее в среднем 20% от настоящего использования.

Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы исследования диссертационной работы

Можно выделить два направления развития – экстенсивное и интенсивное.

• Экстенсивное развитие предполагает расширение технологий на другие индустриально-энергетические комплексы за пределами Республики Татарстан.

• Интенсивное развитие связано с постоянным усложнением и технологическим совершенствованием энергосистемы. В этой связи очевидна необходимость развития исследований, апробация и коррекция разработанных водо-, ресурсосберегающих технологий в соответствии с новыми тенденциями.

Рекомендуется проводить системный анализ систем водопользования объектов энергетики.

В соответствии с действующими системами водоподготовки, водопользования, водооборота на энергопредприятиях и выявленными в них проблемами осуществлять подбор оптимальных технологий водо-, ресурсосбережения.

Осуществлять предварительный расчет функционирования систем, подсистем, установок при условии внедрения новых технологий, проводить экспериментальные

исследования и апробацию предлагаемых решений с последующим анализом, коррекцией и внедрением оптимизированных под конкретные условия ресурсосберегающих малосточных технологий водопользования энерготехнологических систем.

Основные положения и результаты диссертации изложены в следующих публикациях:

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

1. Чичирова Н.Д. Повышение экологических и экономических характеристик водоподготовительных установок ТЭС на основе баромембранных технологий / Н.Д. Чичирова, А.А. Чичиров, С.Р. Сайтов, А.А. Филимонова // Теплоэнергетика. - 2017. - №12. - С. 67-77.
2. Власова А.Ю. Ресурсосберегающая технология нейтрализации и очистки кислых и жестких высокоминерализованных жидких отходов ионитной водоподготовительной установки ТЭС / Власова А.Ю., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Филимонова А.А., Власов С.М. // Вода и экология: проблемы и решения. - 2017. - №2 (20). - С. 3-17.
3. Власов С.М. Разработка технологий стабилизационной обработки воды системы оборотного охлаждения ТЭС / Власов С.М., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Власова А.Ю., Филимонова А.А., Просвирнина Д.В. // Теплоэнергетика. - 2018. - №2. - С. 44-49.
4. Чичиров А.А. Качественный и количественный анализ органических примесей в питательной воде котла-утилизатора / Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонова А.А., Гафиатуллина А.А. // Теплоэнергетика. - 2018. - №3. - С. 51-58.
5. Чичирова Н.Д. Исследование структуры отложений в системах оборотного охлаждения паровых турбин ТЭС / Н.Д. Чичирова, С.М. Власов, А.А. Чичиров, А.А. Филимонова, А. Ю. Власова // Теплоэнергетика. - 2018. - №9. - С. 94-102.
6. Чичирова Н.Д. Математический анализ эффективности работы водохранилища-охладителя Заинской ГРЭС АО "Татэнерго" / Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Грибков А.М., Филимонова А.А., Виноградов А.С. // Труды Академэнерго. - 2018. - №1. - С. 90-104.
7. Чичирова Н.Д. Технические мероприятия по достижению установленного температурного режима на водохранилище-охладителе Заинской ГРЭС АО «Татэнерго» / Н.Д. Чичирова, А.А. Чичиров, А.М. Грибков, А.А. Филимонова, А.С. Виноградов // Труды Академэнерго. - 2018. - №2. - С. 54-67.
8. Филимонов А.Г. Особенности перехода Казани на АИТП при реализации комплексной программы повышения эффективности системы теплоснабжения / Филимонов А.Г., Филимонова А.А., Чичирова Н.Д., Валеев А.Ф. // Вестник КГЭУ. - 2019. - Т.11. №2 (42). - С. 127-137.
9. Чичиров А.А. Лабораторные исследования электромембранной переработки щелочных высокоминерализованных растворов / Чичиров А.А., Н. Д. Чичирова, А. А. Филимонова, А. И. Минибаев, Р. В. Бускин // Теплоэнергетика. - 2019. - №7. - С. 84-90.
10. Филимонова А.А. Электродиализная утилизация щелочных отработанных и отмыточных вод анионитовых фильтров блочной обессоливающей водоподготовительной установки ТЭС / Филимонова А.А., Аракелян Э.К., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Минибаев А.И. // Новое в российской электроэнергетике. - 2020. - №3. - С. 29-36.
11. Филимонова А.А. Недостатки баромембранных методов водоподготовки и способы их устранения в мировой практике / Филимонова А.А., Аракелян Э.К., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Сайтов С.Р., Бускин Р.В. // Вестник МЭИ. - 2020. - №4. - С. 98-112.
12. Филимонов А.Г. Модернизация тепловой генерации России / А.Г. Филимонов, А.А. Филимонова, Н.Д. Чичирова // Труды Академэнерго. - 2020. - №1. - С. 62-72.
13. Филимонова А.А. Перспективы использования электромембранных технологий в энергетике / Филимонова А.А., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Минибаев А.И. // Труды Академэнерго. - 2020. - №2. - С. 55-76.
14. Филимонова А.А. Современные возможности подготовки ультрачистой воды для питания высокопроизводительных котельных установок / А.А. Филимонова, Н.Д. Чичирова, А.А. Чичиров, А.А. Баталова, А.Г. Филимонов // Труды Академэнерго. - 2020. - №3. - С. 56-66.

15. Филимонова А.А. Физико-химический анализ органических примесей в питательных и других производственных водах ТЭЦ с ПГУ / А.А. Филимонова, Э.К. Аракелян, А.А. Чичиров, Н.Д. Чичирова, А.А. Баталова // Теплоэнергетика. - 2020. - №5. - С. 81–86.

16. Филимонова А.А. Сферы применения электромембранных технологий в создании малосточных ТЭС / Филимонова А.А. // Мембраны и мембранные технологии. - 2020. - №4. - С. 237-248.

Научные статьи, опубликованные в международных базах цитирования Scopus и (или) Web of Science

1. Vlasov S.M. Physical modeling of stabilization water processes of reverse cooling system the thermal power plant / S.M. Vlasov, A.A. Chichirov, N.D. Chichirova, A.A. Filimonova, A. S. Vinogradov // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - №891. - С. 1-5.

2. Chichirov A.A. Potentiometric analysis of metastable carbonate water coolants of thermal power plants and heat supply systems / A.A. Chichirov, A.A. Filimonova, B.A. Gilfanov, A.A. Gafiatullina, N.D. Chichirova // International Scientific and Practical Conference: Water Power Energy Forum 2018 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. - №288. - p. 1-5.

3. Chichirov A.A. Electrodialysis concentration of highly mineralized wastes of water treatment plants modeling. / A.A. Chichirov, N.D. Chichirova, A.A. Filimonova, A.I. Minibaev, L.I. Tolmachev // International Scientific and Practical Conference: Water Power Energy Forum 2018 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – №288. - p. 1-6.

4. Filimonova A.A. Processing of alkaline wastewater of TPP evaporative water treatment plant with electromembrane methods / A.A. Filimonova, N.D. Chichirova, A.A. Chichirov, A.I. Minibaev, R.V. Buskin // International Scientific and Practical Conference: Water Power Energy Forum 2018 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. - №288. - p. 1-5.

5. Vinogradov A.S. Mathematical calculation of additional cooling methods to achieve the established temperature regime at the reservoircooler of Zainskaya state district power plant / A.S. Vinogradov, A.M. Gribkov, A.A. Filimonova, N.D. Chichirova, A.A. Chichirov // International Scientific and Practical Conference: Water Power Energy Forum 2018 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – №288. - p. 1-5.

6. Filimonova A.A. Industrial experiment on electrodialed separation of highly concentrated multicomponent technological solutions at thermal power plants / Filimonova A.A., Chichirova N. D., Chichirov A.A., Minibaev A.I. // E3S Web of Conferences. SES-2019. - 2019. - №124 (01029). - p. 1-4.

7. Filimonova A.A. Express method for determining of organic substances matter in the production water of energy-technological complexes of thermal power plant – petrochemical enterprise / Filimonova A.A., Chichirova N.D., Chichirov A.A., Batalova A.A. // E3S Web of Conferences. SES-2019. - 2019. - №124 (01018). - p. 1-4.

8. Filimonova A.A. Physical and chemical methods of organic impurities control in the feed water of the thermal power plants waste heat boilers / A.A. Filimonova, N.D. Chichirova, A.A. Chichirov, A.A. Batalova // J. Phys.: Conf. Ser. - 2020. - №1565 (012028). - p. 1-6.

9. Filimonova A.A. Technologies of monitoring and cleaning of return manufacturing condensate in the energy-technological complex of thermal power station – petrochemical facility / A.A. Filimonova, N.D. Chichirova, A.A. Chichirov, A.G. Filimonov // J. Phys.: Conf. Ser. - 2020. - №1565 (012027). - p. 1-6.

10. Filimonova A.A. Study of Methods and Skill Experience of Diagnostics of the Main Heating Network State Diagnostics Using a Robotized Diagnostic Complex / A.A. Filimonova, A.G. Filimonov, N.D. Chichirova // 2020 V International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino) Moscow. Russia. - 2020. - p. 1-4.

11. Chichirov A.A. Mathematical modeling and improvement of ion exchange water treatment energy-saving technologies in power engineering / Chichirov A.A., Chichirova N.D., Filimonova A.A., Babikov O.E. // Journal of Physics: Conference Series. - 2020. - №1652 (012027). - p. 1-5.

12. Vinogradov A.S, Filimonova A.A., Chichirova N.D., Chichirov A.A. Increasing the efficiency of cooling water resources using at power plants / Proceedings of ICEPP 2021. ICEPP 2021. Lecture Notes in Civil Engineering. - 2021. - №190. - p. 96-104.

13. Filimonova A.A., Chichirov A.A., Chichirova N.D., Batalova A.A. Organic substances in process waters of a thermal power plant with a combined cycle gas turbine plant and methods for their detection / Proceedings of ICEPP 2021. ICEPP 2021. Lecture Notes in Civil Engineering. - 2021. - №190. - p. 247-256.

Монографии

1. Филимонов А.Г., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Филимонова А.А. Внедрение элементов цифровой экономики при производстве электрической и тепловой энергии. Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике. В 3 т. Т.1 Цифровые технологии, возобновляемые источники и малая энергетика: монография / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т. - 2018. - Т.1. - С. 6-24.

Патенты и свидетельства о государственной регистрации

1. Патент на полезную модель RU 189378 U1. Установка утилизации щелочных сточных вод ионитной обессоливающей водоподготовительной установки. Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Минибаев А.И., Филимонова А.А. Заявка № 2018145432 от 19.12.2018. Опубл. 21.05.2019.

2. Патент на изобретение RU 2691052 С1. Способ очистки высокоминерализованных кислых сточных вод водоподготовительной установки от сульфатов. Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Власов С.М., Власова А.Ю., Минибаев А.И., Филимонова А.А. Заявка № 2018145429 от 19.12.2018. Опубл. 07.06.2019.

Публикации в других научных изданиях

1. Чичиров А.А. Анализ поведения органических примесей на промежуточных ступенях получения химически обессоленной воды / Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонова А.А., Гафиатуллина А.А., Виноградов А.С. // X Международный Водно-Химический форум. Сборник тезисов докладов. - Москва: «МЭИ». – 2017. – 124 с.

2. Филимонов А.Г. Внедрение элементов цифровой экономики в электроэнергетике / Филимонов А.Г., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Филимонова А.А. // Надежность и безопасность энергетики. - 2018. - Т.11. №2. - С. 94-102.

3. Чичиров А.А. Разработка энергоэффективных ресурсосберегающих систем водопользования на объектах большой энергетики / Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонова А.А., Минибаев А.И., Филимонов А.Г. // Строительство и техногенная безопасность. - 2018. №12 (64). - С. 71-79.

4. Филимонова А.А. Современные направления развития водородных энергетических технологий / Филимонова А.А., Чичиров А. А., Чичирова Н. Д., Филимонов А. Г., Куличихин В. В. // Надежность и безопасность энергетики. - 2019. - Т.12. №2. - С. 89-96.

5. Филимонова А.А. Физико-химические методы контроля органических примесей в питательных водах котлов-утилизаторов ТЭС / Филимонова А.А., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Баталова А.А // Семинар вузов по теплофизике и энергетике: материалы Всероссийская научная конференция с международным участием 21-23 октября 2019 г., Санкт-Петербург. – спб.: Политех-пресс. - 2019. - С. 400-402.

6. Филимонова А.А. Технологии мониторинга и очистки возвратного производственного конденсата в энерготехнологическом комплексе ТЭС-нефтехимическое предприятие / Филимонова А.А., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Филимонов А.Г. // Семинар вузов по теплофизике и энергетике. Всероссийская научная конференция с международным участием 21-23 октября 2019 г., Санкт-Петербург. – спб.: Политех-пресс. - 2019. - С. 402-404.

7. Filimonova A. A. Industrial experiment on electrodialed separation of highly concentrated multicomponent technological solutions at thermal power plants / Filimonova A. A., Chichirova N. D., Chichirov A. A., Minibaev A. I. // International scientific and technical conference «Smart Energy Systems-2019», September 18-20, 2019, Kazan. – Kazan state power engineering university. - 2019.

8. Filimonova A.A. Express method for determining of organic substances matter in the production water of energy-technological complexes of thermal power plant – petrochemical enterprise / Filimonova A.A., Chichirova N.D., Chichirov A.A., Batalova A.A. // International scientific and technical conference «Smart Energy Systems-2019», September 18-20, 2019, Kazan. – Kazan state power engineering university. - 2019.

9. Филимонова А.А. Технологии водосбережения в большой энергетике и нефтехимическом комплексе / Филимонова А.А., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А. // XV Всероссийской научно-практической конференции «Промышленная экология и безопасность» им. А.И. Щеповских. 3 сентября 2020. Казань. - 2020. - С. 86-87.

10. Чичиров А.А. Ресурсосберегающая технология регенерации ионитной водоподготовительной установки ТЭЦ / Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонова А.А., Бабилов О.Е. // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 71. Надежность энергоснабжения потребителей в условиях их цифровизации. В 3-х книгах. / Книга 3 / Иркутск: ИСЭМ СО РАН. - 2020. - С. 211-216.

11. Гильфанов Б.А. Анализ высокоминерализованных растворов промежуточных ступеней обработки продувочной воды испарителя на установке утилизации ТЭС / Гильфанов Б.А., Чичиров А.А., Филимонова А.А. // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 71. Надежность энергоснабжения потребителей в условиях их цифровизации. В 3-х книгах. / Книга 3 / Иркутск: ИСЭМ СО РАН. - 2020. - С. 201-206.

12. Филимонова А.А. «Бессточные» технологические схемы организации баромембранной водоподготовительной установки / Филимонова А.А., Чичирова Н.Д., Бускин Р.В., Чичиров А.А. // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 71. Надежность энергоснабжения потребителей в условиях их цифровизации. В 3-х книгах. / Книга 3 / Иркутск: ИСЭМ СО РАН. - 2020. - С. 207-210.

Подписано в печать 15.12.2021.

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Формат 60x84 1/16 Гарнитура «Times New Roman» Усл. печ. л. 2,57

Уч.-изд. л. Тираж 120 экз. Заказ № 15/12/21

Отпечатано с готового оригинал-макета
в «КопиЦентр Центральный» ООО РФ «Вилла»

420111, г.Казань, ул. Островского,37/5

Тел. (843)292-88-88

e-mail: kopucentr@mail.ru