

**УТВЕРЖДАЮ**  
Заместитель генерального директора  
по оперативному управлению ОАО «ВТИ»

В.В. Мартынов  
\_\_\_\_\_ 2022 г.  
*В.В. Мартынов*

## ОТЗЫВ

ведущей организации **Открытого акционерного общества  
«Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени  
Теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ»)**

на диссертационную работу  
**Филимоновой Антонины Андреевны**  
**«Научно-технологическое обеспечение ресурсосбережения системы  
водопользования для индустриально-энергетического комплекса  
Республики Татарстан»**,  
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по  
специальности 05.14.01 - «Энергетические системы и комплексы»

На отзыв представлена диссертационная работа, состоящая из введения, семи глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Работа изложена на 354 страницах машинописного текста, включая 95 рисунков и 80 таблиц.

### **Актуальность темы выполненной работы**

Водо- и ресурсосбережение являются одним из приоритетных направлений концепции преобразования нашего мира организации объединенных наций на период до 2030 года. Постоянный рост затрат на использование пресной и сброс сточных вод, а также лимиты и штрафы за их превышение стимулируют поиск решений по сокращению водопотребления, разработке и внедрению водо- и ресурсосберегающих технологий в большинстве промышленно развитых стран.

Работа энерготехнологических систем, производящих тепловую и электроэнергию, сопровождается использованием большого количества природной воды и сбросом засоленных жидких отходов, что увеличивает экологическую нагрузку на регион и ухудшает состояние водного бассейна.

Поэтому необходимо разрабатывать и развивать технологии водо- и ресурсосбережения для энерготехнологических систем.

## **Общая характеристика 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.

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. 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-, электромембранных технологиях.

**Во второй главе** охарактеризованы основное оборудование, водоподготовительные установки, объем и вид сточных вод объектов исследования. 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.

**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. В связи со сложной структурой технологического водооборота энергопредприятия были использованы приемы системного анализа и разработана математическая модель для его описания. Математическая модель представлена в виде системы уравнений материального и теплового балансов в элементах и потоках энерготехнологической системы.

По результатам проведенного системного анализа показано, что энергосистема республики Татарстан негативно влияет на состояние Волжско-Камского бассейна, поставляя в него наибольший из всех водопотребителей объем загрязненных стоков. Поэтому были разработаны малосточные

технологии водооборота, которые возможно с определенными поправками применять для всех энергопредприятий с похожими характеристиками.

**В четвертой главе** изложена суть ресурсосберегающих технологических решений на основе повторного и повторно-последовательного использования ресурсов (воды и реагентов) в водном цикле энергопредприятия.

По результатам проведенного системного анализа было показано, что доля отмывочных вод в стоках ионитной водоподготовительной установки составляет 82-92% в зависимости от вида фильтра и степени обработки. Сокращения удельного расхода реагентов и воды на регенерацию фильтров можно достичь с помощью разработанной и экспериментально опробованной технологии «каскадной» регенерации ионитных фильтров химобессоливающей водоподготовительной установки.

Для баромембранной водоподготовительной установки разработаны и математически обоснованы ресурсосберегающие малосточные решения с повторным использованием технологических вод, согласно предложенной критериальной оценке энергопроизводства.

**В пятой главе** описаны разработанные технологии использования концевых установок для переработки жидких высокоминерализованных отходов энергопредприятия. В качестве концевых установок при организации замкнутых циклов задействованы электромембранные аппараты в различных вариантах конструкции.

Для Казанской ТЭЦ-3 была разработана оригинальная технология, спроектирована и смонтирована опытно-промышленная электромембранная установка для переработки продувочных вод термообессоливающего комплекса. Установка включает последовательно соединенные аппараты отделения щелочи от исходного раствора (диффузионно-диализный экстрактор) и аппарат концентрирования щелочного раствора (электродиализный концентратор). 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 водоподготовительной установки была разработана технология, спроектирована и смонтирована экспериментальная опытно-промышленная электромембранная установка на Нижнекамской ТЭЦ-1. 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.

**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, водоподготовки, централизованного теплоснабжения. По предложенной критериальной системе оценки совершенства энергопроизводства разработаны варианты технологических схем с общей предочисткой системы оборотного охлаждения и установки подпитки теплосети, рециркуляцией продувочной воды системы оборотного охлаждения на предочистку и отделением системы оборотного охлаждения от водоподготовительной установки для Нижнекамской ТЭЦ-1 и Казанской ТЭЦ-1.

В этой группе технологий разработан принцип синхронизации и стабилизации потоков и на его основе внедрены технологии управления системой оборотного охлаждения. Проблемы системы оборотного охлаждения 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 фосфоната в зависимости от измеряемых и расчетных показателей.

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. Разработанная методика позволяет отказаться от неэффективного избыточного потребления реагентов, продлить срок службы мембранных модулей, упростить и удешевить реагентное обеспечение водоподготовки котельных.

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.

**В седьмой главе** 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 заключении** изложены основные результаты диссертационной работы и перспективы дальнейших исследований.

Материал диссертации изложен последовательно, в доказательном ключе, с привлечением большого числа иллюстраций. Результаты диссертации отражены в рецензируемых научных изданиях в полном соответствии с требованиями Положения ВАК о присуждении ученых степеней.

### **Значимость результатов для развития соответствующей отрасли науки, научная новизна исследований**

Полученные диссертантом результаты являются реальным вкладом в развитие энергетической отрасли за счет реализации новых научно-обоснованных технических, технологических решений по ресурсосбережению системы водопользования энергопредприятий республики Татарстан.

Для организаций и специалистов, работающих в индустриально-энергетическом секторе, теоретическую и практическую значимость представляют следующие результаты диссертационного исследования, характеризующие также его научную новизну:

1. Предложена критериальная оценка 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 региона 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.

Практическая значимость диссертационной работы определяется тем, что на основе разработанной теоретической базы сформированы практические рекомендации применения ресурсосберегающих малосточных технологий водопользования для индустриально-энергетического комплекса.

Разработаны технические решения и получены конкретные результаты по сокращению удельного расхода ресурсов и снижению объема высокоминерализованных стоков на индустриально-энергетическом комплексе республики Татарстан.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Достоверность результатов работы обеспечивается применением современных методов экспериментальных исследований, сопоставимостью полученных данных с результатами других авторов, практической проверкой эффективности предложенных решений на действующих энергетических системах.

Основные положения и результаты диссертации представлены на 11 конференциях. По материалам исследований опубликовано 50 работ, из которых 16 - в научных журналах из перечня ВАК РФ, 13 в международных базах цитирования Scopus и Web of Science, 2 патента на изобретение, 1 монография.

### **Соответствие диссертации паспорту специальности**

Диссертационная работа соответствует 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.

### **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов**

Необходимо внедрение предлагаемых ресурсосберегающих технологий на других индустриально-энергетических комплексах за пределами Республики Татарстан.

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

### **Вопросы и замечания по диссертационной работе**

1. Возрастает ли энергоемкость цикла водопользования энергопредприятия от ввода новых технологий? И есть ли необходимость в увеличении персонала?

2. Почему по технологии «каскад» в разных разделах работы время регенерации указывается от 6,5 до 10 часов?

3. Для технологии «каскад» баковое хозяйство предполагается одно на цепочку или общее для всех цепочек?
4. Разработана ли методическая документация для предлагаемых ресурсосберегающих технологий водопользования?
5. Какие использовались датчики контроля для автоматизации работы оборудования – проточные или погружные?
6. В главах 4 и 6 предлагаются технологии с питанием теплосети продувочной водой или, например, отработанными регенерационными растворами ионитных фильтров, т.е. сточными водами. Из теплосети есть утечки и стоки опять попадают в природу, это называется рассредоточенный выброс.
7. Был ли разработан новый антискалянт для баромембранной водоподготовительной установки?
8. Коэффициент упаривания в системе оборотного охлаждения очень колеблется. Какие в работе существуют предложения по его контролю и стабилизации?
9. Существуют ли отдаленные результаты наблюдения работы «цепочек» ионитных фильтров по технологии «каскад»?
10. Экономические расчеты выполнены недостаточно профессионально.
11. По тексту диссертации нет единообразия в единицах измерения концентрации примесей в водных растворах.

Вышеуказанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общую оценку о диссертационной работе.

### **Заключение по диссертационной работе**

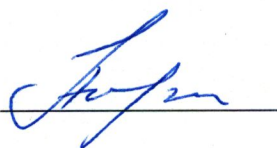
Поставленные задачи в диссертационной работе раскрыты достаточно полно и последовательно, выводы и рекомендации обоснованы, научные результаты, полученные автором, имеют существенное значение для практической деятельности. Автореферат полностью отражает содержание диссертации и соответствует требованиям ВАК при Министерстве науки высшего образования Российской Федерации.

Диссертация Филимоновой А.А. на тему: «Научно-технологическое обеспечение ресурсосбережения системы водопользования для индустриально-энергетического комплекса Республики Татарстан» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России, установленным в пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. в редакции от 01.10.2018 г.) и рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.01 «Энергетические системы и комплексы».

Диссертация и отзыв обсуждены на заседании научно-технического совета ОАО «ВТИ», протокол №5 от 15 декабря 2021 г.

Отзыв подготовлен ведущим научным сотрудником ОАО «ВТИ», кандидатом технических наук Ивановым Евгением Николаевичем.

Заведующая отделением  
водно-химических процессов

 Акулич Р.В.

Ведущий научный сотрудник,  
кандидат технических наук

 Иванов Е.Н.

Сведения о лице, утвердившем отзыв.

Мартынов Вячеслав Владимирович, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по оперативному управлению открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ»)

115280, Российская Федерация, г. Москва, ул. Автозаводская, д. 14

Телефон: (495) 137-77-70

E-mail: vti@vti.ru