

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента доктора технических наук, профессора Щербакова Владимира Ивановича 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»

### **Актуальность темы диссертации**

Диссертационная работа Филимоновой А.А. посвящена теоретическому обоснованию и разработке ресурсосберегающих технологий при создании малосточной системы водопользования индустриально-энергетического комплекса Республики Татарстан.

Проблема водо- и ресурсосбережения стала актуальной для индустриально-энергетических комплексов в связи с тем, что энергетика является одной из самых водоемких отраслей промышленности. К ценным ресурсам, которые могут быть сохранены или извлечены при утилизации отходов энергопредприятий, относятся вода, химические реагенты, металлы, органические вещества, нефтепродукты, топливо, расходные материалы, оборудование.

Утилизация сточных вод объектов энергетики, имеющих сложный органоминеральный состав и высокую концентрацию компонентов технологически сложна и экономически затратна. В этой связи в настоящее время в большинстве случаев образующиеся отходы на предприятиях энергетики не перерабатывают, а складировуют, смешивают, нейтрализуют, осаждают, выпаривают и др.

В свою очередь, технологии, разработанные специально для утилизации сточных вод и отходов энергопредприятия показывают значительные экологические и экономические преимущества в сравнении с методами очистки стоков без утилизации и выделения ценных ресурсов. «Бессточные» технологии, несмотря на некоторые сложности реализации и ограничения, продолжают свое развитие в энергетической и промышленной сфере за счет электро-, баромембранных, ионообменных и других методов.

### **Оценка структуры и содержания работы**

**Во введении** обоснованы актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость, положения, выносимые на защиту, приведены сведения по внедрению результатов и апробация работы, а также структура и краткое содержание диссертации.

**В первой главе** на основании проведенного автором анализа отечественных и зарубежных источников показано, что методы обращения с отходами объектов энергетики основываются на традиционном подходе, который заключается в их нейтрализации, обезвреживании и сбросе. Единственная отработанная технология минимизации стоков осуществляется упариванием с последующим складированием или захоронением сухих солей. Существующие разработки, основанные на «бессточных» технологиях, находятся на экспериментальном и опытно-промышленном уровне. Традиционные способы обращения со стоками являются не ресурсосберегающими, а ресурсозатратными, так как фактически не снимают задачу переработки образующихся твердых отходов, а складированием и захоронением только лишь откладывает решение экологических проблем, связанных со сбросами стоков объектами энергетики. Наиболее эффективным является отдельный подход к переработке отходов с каждого узла или блока энергопредприятия определенным методом в зависимости от состава, типа и получаемого эффекта от их переработки.

Эффективным решением проблемы утилизации всех стоков энергосистемы может быть только комплексный системный подход. Автором сделан вывод, что наиболее перспективными для переработки сточных вод являются современные баро- и электромембранные методы, а также их комбинации.

**Во второй главе** сформирована критериальная система оценки совершенства энергопроизводства, включающая критерии экологичности, ресурсосбережения и экономичности водопользования на объектах энергетики.

Представлено основное оборудование, схемы и описание работы водоподготовительных установок, определены виды и объем сточных вод энергопредприятий, входящих в индустриально-энергетический комплекс республики Татарстан – Нижнекамской ТЭЦ-1, Казанских ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, Набережночелнинской ТЭЦ, котельных ПАО «Татнефть».

Описаны использованные компьютерные программы для теоретических расчетов равновесного состава исследуемых систем, математического моделирования процессов, протекающих в системах водообеспечения объектов энергетики.

Описаны электромембранные аппараты и установки лабораторного, модельного (экспериментального), опытно-промышленного уровня, которые были спроектированы и сконструированы для проведения разработанных технологий.

Представлены методы химического анализа и приборы, с помощью которых изучался предмет исследования.

**В третьей главе** разработана методология и проведен системный анализ структуры водопользования индустриально-энергетического комплекса

республики Татарстан: определены источники, объем и состав жидких отходов узлов и установок технологического водооборота.

На основе положений системного анализа разработана математическая модель системы водооборота объекта энергетики. В данной модели энерготехнологическая система представляется как совокупность элементов, соединенных между собой связями или потоками, с физико-химическими процессами внутри аппаратов, которые описываются универсальными математическими функциями. Математическая модель позволяет рассчитывать водокомпонентный баланс в конкретной системе связей.

По результатам системного анализа структуры водооборота энерготехнологических систем республики Татарстан определены основные проблемы и необходимость создания и применения технических решений для водо- и ресурсосбережения.

**В четвертой главе** диссертационной работы для двух наиболее распространенных на объектах энергетики Российской Федерации технологий водоподготовки (ионитной и баромембранной) разработаны ресурсосберегающие технологии водооборота, основанные на принципах повторного и повторно-последовательного использования воды и реагентов в цикле энергопредприятия.

Технология промывки ионитных фильтров по принципу «каскада» прошла промышленные испытания на Нижнекамской ТЭЦ-1 и Казанской ТЭЦ-3. Достоверно подтверждается снижение сточных вод с водоподготовительной установки, расход реагентов, потребление исходной и химически обессоленной воды, затраты времени на проведение регенерации.

Ресурсосберегающая технология использования баромембранной водоподготовительной установки прошла испытания и принята к внедрению на Казанской ТЭЦ-2. Технология обеспечивает снижение объема сточных вод с водоподготовительной установки, ограничение или полное исключение расхода реагентов, уменьшение отложений на мембранах за счет повышения качества обработанной воды, соответствие нормативам состава подпиточной воды для теплосети.

**В пятой главе** рассматривается применение концевых электромембранных установок на циклах водооборота энергопредприятия в различных вариантах электродиализа.

Для утилизации продувочных вод испарительного термообессоливающего комплекса диссертантом разработана безотходная электромембранная технология по схеме последовательного соединения аппаратов диффузионного диализа и электродиализа для эффективного извлечения и концентрирования щелочного раствора. Полученные продукты электромембранной переработки – щелочной концентрат и умягченный солевой раствор повторно используются в цикле станции.

Для утилизации щелочных отработанных и отмывочных вод ионитной водоподготовительной установки разработана электромембранная технология

в варианте простого электродиализа, которая позволяет извлекать и концентрировать щелочь из жидких отходов аппаратов. Результатом электродиализной обработки является получение двух продуктов – щелочного концентрата и частично обессоленной воды, которые могут быть повторно использованы в технологическом цикле объекта энергетики.

**В шестой главе** разработаны ресурсосберегающие технологии снижения стоков и отходов в циклах водооборота энергопроизводственного объекта. Предлагаемые технологии направлены на решение проблем системы оборотного охлаждения – накипеобразования и большого объема засоленных сточных вод. Эффективность ресурсосберегающих технологий подтверждена расчетами, промышленными экспериментами и результатами внедрения на энергопредприятиях.

Разработаны технологии организации локальных замкнутых циклов при функционировании подсистем водооборота, включающие взаимное частичное закичивание потоков водоподготовительной установки, системы оборотного охлаждения, централизованного теплоснабжения, с максимальным использованием оборотных технологических вод, установленного оборудования и исключением дополнительного расхода реагентов.

Для снижения накипеобразования и расхода реагентов в сопряженной системе оборотного охлаждения предложены:

- бессточная схема с рециркуляцией промежуточных вод водоподготовительной установки;
- бессточная схема, сопряженная с теплосетью.

Разработана технология и автоматизированная система стабилизации и синхронизации потоков, позволяющая снизить удельные расходы воды и реагентов и риск образования накипи на поверхностях теплообмена, повысить надежность работы системы оборотного охлаждения и всего объекта энергетики.

Разработана рецептура унифицированных корректирующих и отмывочных композиций и методика ведения водно-химического режима систем баромембранной водоподготовки котельных «Ашальчи», «Ашальчи-2» и установки подготовки сточных вод котельной «Ашальчи» ПАО «Татнефть», позволяющие отказаться от неэффективного потребления реагентов, продлить срок службы мембранных модулей, упростить и удешевить реагентное обеспечение водоподготовки котельных.

Представлены технические решения по взаимной конверсии жидких и твердых отходов предочистки, высокоминерализованных отработанных регенерационных растворов и с аппаратов установки водоподготовки. Технология 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.

**В седьмой главе** показано, что суммарная финансовая экономия для республики Татарстан при внедрении ресурсосберегающих технологий на индустриально-энергетическом комплексе региона составит 330 млн. рублей ежегодно.

Влияние на экологию региона при внедрении предлагаемых ресурсосберегающих технологий будет складываться из уменьшения забора исходной воды из рек Волга и Кама, снижения сброса высокоминерализованных сточных вод на территории Волжско-Камского бассейна, уменьшения засоленности рек и почвы, минимизации или полного отказа от использования токсичных химических реактивов с заменой их на нейтральные, содержащиеся в природе вещества, возврата в производственный цикл или уменьшение расхода химических реагентов.

В разделе выводы сформулированы основные результаты диссертационной работы.

### **Методы исследования**

Для решения поставленных задач использовались теоретические положения химической термодинамики, электрохимии, гидродинамики, теории растворов, системологии, информатики. Исследования проводились с использованием средств математического моделирования. Результаты экспериментальных и промышленных экспериментов на объектах энергосистемы согласуются с данными, полученными с использованием разработанных математических моделей.

**Достоверность и обоснованность полученных результатов** обеспечивается корректной постановкой исследовательских задач, их физической обоснованностью, использованием современного программного обеспечения и комплексным подходом к проведению исследований; совпадением теоретических и экспериментальных полученных результатов, а также совпадением с результатами подобных исследований других авторов; использованием сертифицированных и поверенных образцов и контрольно-измерительной аппаратуры, а также применением математического анализа при обработке полученных результатов с использованием современных средств вычислительной техники.

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности 05.14.01 - «Энергетические системы и комплексы»**

Объект исследования, предмет исследования, область исследований и полученные в работе научные результаты соответствуют следующим пунктам паспорта специальности (Приказ N 118 от 24 февраля 2021 г):

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

п.5 - разработка и исследование в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве тепловой и электрической энергии, при

транспортировке теплоты и энергоносителей в энергетических системах и комплексах.

**Научная новизна** представленной диссертационной работы заключается в следующем:

1. Предложена система критериальной оценки технологического совершенства энергопроизводства, включающая критерии 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.

#### **Практическая ценность и использование результатов диссертационного исследования**

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 Нижнекамском, Казанских, Набережночелнинском, Альметьевском индустриально-энергетических комплексах.

Разработанные технические решения и полученные конкретные результаты по сокращению удельного расхода ресурсов и снижению объема высокоминерализованных стоков могут быть использованы специалистами и организациями, работающими в индустриально-энергетическом секторе.

#### **Апробация работы**

Основные положения диссертации обсуждались на международных, Всероссийских, региональных симпозиумах и конференциях, опубликованы в 50 работах, из которых 16 - в научных изданиях, включенных в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», 13 - в изданиях, индексируемых в международных реферативных базах Scopus и Web of Science, 2 - патента на изобретение, 1 монография.

**Автореферат** отражает основное содержание диссертационной работы, написан литературным языком с использованием терминологии, принятой в данной отрасли науки и техники, стиль изложения – доказательный.

### **По диссертационной работе имеются следующие замечания:**

1. Недостаточна описана автоматизация «цепочек» блочной ионообменной водоподготовительной установки.
2. Нечетко сформулирована новизна технологии «каскадной» регенерации ионитных фильтров.
3. Во введении говорится о том, что «нулевой сброс» относится к процессу захоронения солей. Следовало бы рассмотреть и другие существующие способы создания «бессточных» ТЭЦ.
4. В главах 1 и 2 излишне подробно рассматриваются существующие исследования и методическая часть, что занимает 110 страниц диссертации.
5. В тексте первой главы на одну заимствованную фразу приводятся от 5 до 13 ссылок на литературные источники.
6. Не проводится сравнение результатов предлагаемой технологии регенерации «каскад» с современными противоточными технологиями Апкоре, Швебебет, Амберпак и др.
7. В диссертации не рассмотрена возможность совместной переработки городских сточных вод со стоками ТЭЦ.
8. Многие предлагаемые технические решения известны. Следовало бы четко обозначить известные и принципиально новые.
9. В диссертации не представлены данные многолетних наблюдений по результатам внедрения предложенных технологий.
10. Диссертационная работа изобилует большим количеством сокращений, что усложняет восприятие материала.
11. Есть ряд принципиальных опечаток и некорректных выражений по тексту диссертации.

### **Заключение по диссертационной работе**

Оценивая уровень работы в целом, считаю, что диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование на соискание ученой степени доктора технических наук, в ней содержится решение проблемы создания малосточной системы водопользования индустриально-энергетического комплекса Республики Татарстан, которая имеет существенное значение для развития энергетической отрасли за счет реализации новых научно-обоснованных технических, технологических решений по ресурсосбережению системы водопользования объектов энергетики.

Представленная диссертационная работа на тему: «Научно-технологическое обеспечение ресурсосбережения системы водопользования для индустриально-энергетического комплекса Республики Татарстан» 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.), а ее автор Филимонова Антонина Андреевна заслуживает присуждения ученой степени доктор технических наук по специальности 05.14.01 «Энергетические системы и комплексы».

Официальный оппонент  
доктор технических наук,  
профессор ФГБОУ ВО  
«Воронежский государственный  
технический университет»  
10 февраля 2022 г.

В.И. Щербаков

Адрес: г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84  
Тел./факс: +7 (473) 207-22-20  
e-mail: rector@vorstu.ru

Подпись доктора технических наук, профессора  
Щербакова Владимира Ивановича  
подтверждаю  
ученый секретарь ученого совета



В.П. Трофимов