

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.082.06 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 22 марта 2022 г., № 52

О присуждении Филимоновой Антонине Андреевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Научно-технологическое обеспечение ресурсосбережения системы водопользования для индустриально-энергетического комплекса Республики Татарстан» по специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы принята к защите 07.12.2021 г. протокол № 44 диссертационным советом Д 212.082.06, созданным на базе Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 420066, РТ, г. Казань, ул. Красносельская, д.51, приказ №552/нк от 23.05.2018.

Соискатель Филимонова Антонина Андреевна, 19.07.1983 г.р.,

в 2019 г. закончила ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» с присуждением степени магистра по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», диплом с отличием №ИТЕ-5792 15.03.2019.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата медицинских наук «Фенотипическое исследование активности изоферментов цитохрома P450 у больных шизофренией с использованием кофеина в качестве тест-субстрата» защитила в 2009 г. в диссертационном совете, созданном на базе ГОУ ВПО

«Казанский государственный медицинский университет Росздрава» (диплом №094845 серия ДКН. Решение Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации о выдаче диплома от 6 ноября 2009 г. № 40к/40, г. Москва).

Работает доцентом кафедры «Химия и водородная энергетика» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Химия и водородная энергетика» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, Эдик Койрунович Аракелян, ФГБОУ ВО НИУ «Московский энергетический институт», кафедра «Автоматизированные системы управления тепловыми процессами», профессор.

Официальные оппоненты:

1. 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»;

2. Первов Алексей Германович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение»;

3. Щербаков Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», профессор кафедры «Гидравлика, водоснабжение и водоотведение»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ОАО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт», г. Москва, в своем положительном отзыве, утвержденном Мартыновым Вячеславом Владимировичем, кандидатом технических наук, заместителем генерального директора по оперативному управлению, указала, что 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 Антонины Андреевны 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».

Соискатель имеет 59 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 50 работ общим объемом 31,185 условных печатных листа и авторским вкладом 18,711 условных печатных листа; из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science - 13, объемом 8,432 условных печатных листа и авторским вкладом 5,0616 условных печатных листа; в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ по специальности диссертации 05.14.01 - «Энергетические системы и комплексы» - 16, общим объемом 19,173 условных печатных листа и авторским вкладом 11,5 условных печатных листа; в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ по другим специальностям – 3, объемом 2,656 условных печатных листа и авторским вкладом 1,59 условных печатных листа; патентов на изобретение - 2, объемом 1,16 условных печатных листа и авторским вкладом 0,578 условных печатных листа; работ, опубликованных в материалах и тезисах международных научных конференций – 9, общим объемом 2,541 условных печатных листа и авторским вкладом 1,78 условных печатных листа.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

Содержат основные результаты, изложенные в первой главе диссертации:

1. 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.

2. 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.

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

Содержат основные результаты, изложенные во второй главе диссертации:

4. Филимонова А.А. 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.

5. Филимонова 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.

Содержат основные результаты, изложенные в третьей главе диссертации:

6. Филимонова А.А. Электродиализная утилизация щелочных отработанных и отмывочных 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.

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. // E3S Web of Conferences. SES-2019. - 2019. - №124 (01029). - p. 1-4.

Содержит основные результаты, изложенные в четвертой главе диссертации:

8. Филимонова А.А. 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.

9. Filimonova 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.

Содержит основные результаты, изложенные в пятой главе диссертации:

10. Filimonova 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.

11. 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.

12. 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.

Содержит основные результаты, изложенные в шестой главе диссертации:

13. Филимонова А.А. 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.

14. Филимонова А.А. 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.

15. Filimonova A.A. 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.

На диссертацию и автореферат поступило 19 отзывов, все отзывы положительные. В 14 отзывах имеются следующие замечания:

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроэнергетика и электротехника» Физико-технического института ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» Эскендер Алимович Бекиров:

1. При описании актуальности указано, что «энергосистема региона потребляет 55% от всего забора «свежей» воды на производственные цели». В свою очередь при описании основного содержания работы отмечено, что «в республике Татарстан потребление «свежей» воды на нужды энергетики составляет 35,4% от общего». Следует уточнить приведенные цифры.

2. Из автореферата не ясно, как рассчитываются разработанные критерии оценки экологичности, экономичности, ресурсосбережения структуры водопользования. В тексте реферата описан только 1 из 6 критериев, а именно, критерий экологичности технологии водооборота (КЭ).

3. Из текста автореферата не ясно, как был произведен технико-экономический и экологический расчет при применении предлагаемых технологий на объектах энергетики Татарстана.

Доктор технических наук, заслуженный деятель РФ, профессор кафедры «Тепловая и атомная энергетика имени А.И. Андрющенко» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» Рашид Зарифович Аминов:

1. Текст автореферата содержит недостаточно информации об особенностях и существенных различиях предложенных схем при их внедрении на энергопредприятиях разного типа, в частности, котельных или ТЭЦ.

Заместитель генерального директора – технический директор АО

«Татэнерго» Ильгизар Хабирович Гайфуллин:

1. При экспериментальных исследованиях и промышленном внедрении не достигнута целевая модель полностью бессточной (безотходной) технологии, хотя в теоретических изысканиях автора показана возможность ее достижения.

Доктор технических наук, профессор, почетный работник сферы образования РФ, заведующий кафедрой «Техносферная и экологическая безопасность» ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» Татьяна Анатольевна Кулагина:

1. Научная новизна не структурирована в соответствии с задачами исследования; пункт 3, в данном случае, представляет собой перечень проделанных работ и, так как он сформулирован, к научной новизне никакого отношения не имеет.

2. Следовало бы уменьшение удельного расхода реагентов (кислот, щелочи, коагулянтов) конкретизировать отдельно по каждому виду, т.к. они вносят свой индивидуальный вклад как с точки зрения их роли в технологии водоподготовки, так и влияния на экономичность процесса в целом.

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия и химическая технология» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» Михаил Андреевич Плетнев:

1. Рассмотренный анализ водоподготовки на энергетических объектах не учитывает комплексные варианты стабилизации водно-химического режима энергетических объектов.

Заместитель министра промышленности и торговли Республики Татарстан Марат Файзрахманович Минибаев:

1. В Приложении к диссертации можно представить актуализированные нормы химических веществ в сбрасываемых сточных водах.

Доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории 12 – распределенной генерации ФГБУН «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН)» Леонид Бенцианович Директор:

1. Автором предложена критериальная система совершенства энергопроизводства, включающая 6 критериев оценки экологичности,

экономичности, ресурсосбережения структуры водопользования. Было бы полезно привести значения этих критериев для рассматриваемых в работе объектов.

2. Возможность получения ценных компонентов в процессе очистки отработанной воды ограничена выделением щелочи высокой чистоты NaOH, гипса и технической воды для повторного использования. При этом не раскрыты возможности использования других ценных компонентов.

3. Имеется ряд замечаний по оформлению автореферата: обозначение размерности, написание английских символов, буквенные окончания числительных, опечатки.

Доктор химических наук, профессор кафедры физической химии ФГАУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» Валерий Виленович Горбачук:

1. Отсутствие общего списка сокращений.

2. Критериальная система оценки экологичности, экономичности, ресурсосбережения структуры водопользования излагается в крайне сжатой форме.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Анатолий Александрович Кудинов:

1. На рисунке 14 автореферата представлена предлагаемая бессточная схема водоподготовки Казанской ТЭЦ-2. Почему декарбонизатор установлен перед Н-катионитным фильтром по ходу движения обрабатываемой воды? В этом случае выделяющиеся в воду в Н-катионитном фильтре ионы H^+ будут реагировать с гидрокарбонатными ионами HCO_3^- с образованием CO_2 и H_2O , что приведет к углекислотной коррозии трубопроводов и оборудования, установленного после Н и ОН фильтров.

2. В автореферате не приведены методики расчетов технико-экономического и экологического эффектов, получаемых за счет внедрения разрабатываемых ресурсосберегающих малосточных технологий водопользования на индустриально-энергетическом комплексе республики Татарстан.

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Морское нефтегазовое дело и физика» ФГАОУ ВО «Мурманский государственный технический университет» Михаил Викторович Васеха:

1. В актуальности работы приведены данные о том, что «энергосистема региона потребляет 55% от всего забора «свежей» воды на производственные цели». Однако, дальше в тексте автореферата отмечено, что «в республике Татарстан потребление «свежей» воды на нужды энергетики составляет 35,4% от общего». Необходимо уточнить эти данные.

2. Из текста автореферата не ясно, как рассчитываются разработанные критерии оценки экологичности, экономичности, ресурсосбережения структуры водопользования. В тексте автореферата описан только 1 из 6 критериев, а именно, критерий экологичности технологии водооборота (КЭ).

3. В тексте автореферата рассмотрена возможность получения ценных компонентов в процессе очистки отработанной воды с выделением щелочи высокой чистоты NaOH, гипса и технической воды для повторного использования. При этом не раскрыты возможности использования других ценных компонентов.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретические основы теплотехники им. М.П. Вукаловича» ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ» Валерий Федорович Очков:

1. В автореферате предлагается для переработки жидких высокоминерализованных отходов ТЭЦ использовать электромембранные аппараты специальных конструкций, разработка и испытание которых проведены на энергообъектах Татарстана. Почему нельзя использовать электродиализные аппараты промышленного изготовления?

2. На с. 29, 30 (рис. 21, 22, 23) автореферата представлены технологические схемы рециркуляции воды системы оборотного охлаждения (СОО) на Казанских ТЭЦ-1, ТЭЦ-3, Нижнекамской ТЭЦ-1. Продувка СОО поступает на осветлитель, где предусмотрены процессы известкования, коагуляции, очистка на механическом фильтре, подкисление. Далее обработанная вода подается на подпитку теплосети. Какие реагенты предусмотрены для борьбы с микробиологической коррозией СОО? Как эти реагенты влияют на водно-

химический режим теплосети? По каким технологическим параметрам рекомендуется производить разделение потоков для оптимизации режима работы оборудования с целью обеспечения минимальных сбросов?

3. В автореферате имеются неточности. Так карбонатный индекс измеряется в $(\text{моль-экв}/\text{м}^3)^2$. В некоторых подрисуночных подписях даны не все обозначения.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета Николай Борисович Карницкий:

1. В выводе 1 желательно перечислить все 6 критериев оценки экологичности, экономичности, ресурсосбережения системы водопользования.

2. В третьем выводе в составляющих его позициях не приведены численные значения достигнутых результатов. Это касается позиций 3-5 отмеченного вывода.

Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, руководитель научного направления «Энергетика» Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук» Валерий Николаевич Шлянников:

1. Не ясен смысл пункта 3 формулировки положений, выносимых на защиту о технологическом описании структуры систем водопользования индустриально-энергетических комплексов РТ.

2. Высказанные рекомендации по перспективам дальнейшей разработки представленных исследований следовало бы дополнить следующими положениями:

- Сформулировать рекомендации по составу системных и организационно-технологических решений, достигнутых в диссертации, которые являются инвариантными по отношению к территории РТ и могли бы быть тиражированы в других энергетических системах и комплексах России.

- Сформировать набор локальных научно-технических и технологических решений типа электромембранной утилизации и баромембранной водоподготовительной установок для использования в стационарной и малой теплоэнергетике России.

- Выложить в открытый доступ с описанием руководства пользователю загрузочный модуль системного анализа оборота технологических вод, который включает тепломассообмен, химические и фазовые превращения.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления тепловыми процессами» ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ» Александр Васильевич Андришин:

1. Не ясно, как предлагаемые автором системы автоматизированного контроля и мониторинга интегрируются в АСУТП и АСУП рассматриваемых комплексов, в частности, в АСУП тепловых электростанций.

2. Из представленных в автореферате оценок экономического эффекта при внедрении предлагаемых технологий на индустриально-энергетическом комплексе не понятно, каким образом учтены капитальные и эксплуатационные затраты.

3. При анализе результатов экспериментальных исследований отсутствует оценка погрешности измерений.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Официальный оппонент Веселовская Елена Вадимовна является доктором технических наук по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты», экспертом в области водоподготовки, переработки и утилизации сточных вод ТЭС.

Официальный оппонент Первов Алексей Германович является доктором технических наук по специальности 05.23.04 – «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов», экспертом в области баромембранных технологий водопользования на предприятиях энергетического комплекса.

Официальный оппонент Щербаков Владимир Иванович является доктором технических наук по специальности 05.23.04 – «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов», экспертом в области гидравлики, эксплуатации городских и промышленных систем водоснабжения.

Ведущая организация - Открытое акционерное общество «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ») занимается научной деятельностью по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий. В рамках научного направления деятельности «Отделения водно-химических процессов» ОАО «ВТИ» выполняются следующие работы: разработка водно-химических режимов для различных систем теплоснабжения и оборотного водоснабжения с применением современных технологий, разработка высокоэффективных технологических схем обессоливания воды, выполнение исследований в области ионного обмена, разработка технологий комплексной очистки поверхностей нагрева оборудования от отложений, разработка способов очистки сточных вод, мероприятий по сокращению и повторному использованию стоков, мониторинг и разработка предложений по совершенствованию нормативно-правовой базы и природоохранного законодательства в области защиты водных объектов от негативного воздействия.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработана научная концепция создания малосточных малоотходных технологий водопользования энерготехнологических систем, отличающаяся условием одновременного обеспечения ресурсосбережения и экономичности.

Разработана система критериальной оценки экологичности, экономичности, ресурсосбережения, включающая 6 критериев, позволяющая провести анализ технологического совершенства структуры водопользования энерготехнологической системы. Приоритетный (целевая функция) – критерий экологичности, характеризует количество недопустимого сброса загрязняющих веществ. Остальные критерии представлены в виде неравенств, устанавливающих ограничения на технические решения. Критерии эмиссии загрязнений, загрязненности стоков и бессточности характеризуют экологичность водопользования энерготехнологической системы. Критериями ресурсосбережения являются удельные расходы реагентов и воды, экономичность характеризует критерий экономичности, относящийся к основному продукту (химически обессоленной воде) либо к установленной мощности

энергопредприятия.

Разработаны научные основы ресурсосбережения на принципах системного анализа нового образования - энерготехнологической системы, включающие иерархичность структуры, номенклатуру элементов и потоков (связей), математическую модель, алгоритмы расчета, компьютерную программу, позволяющие проводить анализ и расчет структуры водопотребления предприятий энергетики, а также характеристики, показатели перспективных технологических схемных решений при организации малосточных систем водопользования энергопредприятий.

Предложены новые энергоресурсосберегающие методы и технологии организации структуры водопользования энерготехнологической системы с использованием современных безреагентных, мембранных технологий, концевых аппаратов, методов химической технологии для всех систем водооборота энерготехнологической системы.

Предложены методы обращения с твердыми и жидкими отходами конкретных узлов и установок энерготехнологической системы, отличающиеся индивидуальным подходом к их переработке в месте образования и в момент образования с извлечением ценных компонентов, не допуская их взаимной нейтрализации с образованием сточных вод сложного состава, утилизация которых экономически нецелесообразна.

Доказана результатами применения на объектах индустриально-энергетического комплекса республики Татарстан перспективность использования разработанных предложений в аналогичных индустриально-энергетических комплексах Российской Федерации.

Введены дополнения в содержании понятий, развивающие положения системного анализа индустриально-энергетического комплекса применительно к структуре водопотребления, такие как энерготехнологическая система, подсистема энергопроизводства, узлы, блоки, аппараты. Элементами системы назначаются технологические операторы, которые относятся к функциональным зонам аппаратов. Связями между элементами в энерготехнологической системе являются водные и тепловые потоки. Отображением динамичной структуры водооборота представляется математическая модель энерготехнологической

системы.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Доказана теоретическая возможность создания малосточных энерготехнологических систем, отличающихся одновременным ресурсосбережением и экономичностью.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих методов исследований в области термодинамики, химии, математики, гидродинамики, математического моделирования, системного анализа, химической технологии, водоподготовки.

Изложены этапы научно-технологического обеспечения путей создания малосточных систем водопользования индустриально-энергетического комплекса: научная идея, математическое моделирование, лабораторные исследования, реализация на макетном, опытно-промышленном, промышленном уровнях.

Раскрыты выявленные проблемы оценки экологичности технологий водопользования, заключающиеся в ограниченности использованных критериев и отсутствии всестороннего охвата в комплексной характеристике, учитывающие преимущественно техническую результативность либо экономическую выгоду.

Изучена на основе проведенного системного анализа структура водопользования индустриально-энергетических комплексов республики Татарстан, включающая определение источников, объема и состава жидких отходов узлов и установок технологического водооборота, что позволило установить причины выявленных проблем системы водопользования энергопредприятий, а именно, низкий коэффициент использования сырья и реагентов, нерациональные схемы движения водных потоков, неоптимальное дозирование реагентов, применение токсичных реагентов, нестабильность характеристик водного теплоносителя и другие внутренние негативные процессы.

Проведена модернизация существующих математических моделей функционирования несопряженной системы оборотного охлаждения с использованием системы дифференциальных уравнений описания потоков воды и компонентов с расчетом коэффициента упаривания и коэффициентов концентрирования компонент. На ее основе создана компьютерная программа с

возможностью прогнозирования изменений в системе и графической визуализацией.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждаются тем, что:

Разработаны и внедрены ресурсосберегающая технология «каскадной» регенерации ионитных фильтров химобессоливающей водоподготовительной установки; безреагентные электромембранные технологии переработки жидких высокоминерализованных отходов испарительной и химобессоливающей ионитной водоподготовительных установок с использованием концевых электромембранных аппаратов; технологии стабилизации сопряженной системы оборотного охлаждения, включающие перманентную очистку засоленной циркуляционной воды за счет рециркуляции рассчитанного объема потоков с промежуточных этапов водоподготовки; автоматизированная система синхронизации потоков в системах оборотного охлаждения при изменении внешних и внутренних параметров; эффективный способ ведения водно-химического режима баромембранных водоподготовительных установок и унифицированный коррекционно-отмывочный состав мембранных модулей; технология и установка взаимной конверсии жидких и твердых отходов с различных ступеней ионитной химобессоливающей водоподготовки, обеспечивающая повышение экологичности и ресурсосбережения процесса энергопроизводства; 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; технологии организации локальных замкнутых циклов при функционировании подсистем водооборота, включающие взаимное частичное зацикливание потоков водоподготовительной установки, системы оборотного охлаждения, централизованного теплоснабжения.

По разработанным технологиям имеются акты внедрения, акты приемки-сдачи работ или заключения о возможности использования.

Определены перспективы использования разработанных технологий на крупных индустриально-энергетических комплексах Российской Федерации.

Представлены практические рекомендации и методические материалы в виде инструкций, режимных карт применения разработанных ресурсосберегающих технологий в зависимости от конкретных особенностей водооборота энергопредприятий республики Татарстан, даны предложения по дальнейшему совершенствованию разработанных технологий по этапам внедрения (подготовка персонала, накопление опыта, создание базы данных).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном контрольно-измерительном оборудовании, применены методики ГОСТ;

теория построения ресурсосберегающей структуры водопотребления энерготехнологической системы основана на известных законах сохранения энергии, физики, химии и термодинамики;

идея создания ресурсосберегающих малосточных систем водооборота энерготехнологических систем базируется на анализе и обобщении передового опыта в области организации структуры водопользования промышленных предприятий и результатах системного анализа технологических циклов энергопредприятий республики Татарстан и состоит в переработке отходов узлов и установок энергопредприятия с целью выделения ценных компонентов, не допуская смешивания и разбавления отходов;

использованы апробированные методы математического моделирования химических равновесий в многокомпонентных средах и статистического анализа при обработке полученных результатов на базе современных средств вычислительной техники;

установлено совпадение результатов расчета по разработанной математической модели с данными контроля рабочих параметров системы водопользования энергопредприятий, соответствие результатам подобных исследований других авторов и фундаментальным законам в области физики, химии.

Личный вклад состоит в:

постановке проблемы и задач исследования, разработке и обосновании всех положений, определяющих научную новизну и практическую значимость, в разработке математических моделей и компьютерных программ, в проведении

системного анализа водопользования индустриально-энергетического комплекса республики Татарстан, в создании научно-технических решений, в проведении лабораторных экспериментов и промышленных испытаниях на энергопредприятиях, разработке ресурсосберегающих технологий для систем водопользования объектов энергетики, подготовке отчетов и результатов внедрения работы на объектах энергетики, в проведении анализа, технико-экономических расчетах и обобщении результатов, в формулировании выводов и составлении рекомендаций.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

От ведущей организации:

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

От оппонента Веселовской Е.В.:

2. В п. 6.2 приведены данные исследования состава отложений на поверхностях мембран обратноосмотических установок систем водоподготовки котельных «Ашальчи» и «Ашальчи-2» и установки подготовки сточных вод котельной «Ашальчи» ПАО «Татнефть», свидетельствующие о наличии в отложениях органических веществ (не менее 10 масс. %), коллоидных соединений и илистых отложений. Соответственно, автором разработан целый комплекс мероприятий по оптимизации эксплуатации установок обратного осмоса. Считаю, что было бы целесообразно привести данные о продолжительности среднего срока службы обратноосмотических мембран данных установок до внедрения предложенных автором мероприятий.

3. Было бы интересно при оценке экологических показателей разработанных автором бессточных баромембранных технологических схем КТЭЦ-2 рассмотреть целесообразность замены третьей ступени Н-ОН-ионирования установками электродеионизации, позволяющими полностью исключить образование отработанных регенерационных растворов.

От оппонента Первова А.Г.:

4. При описании экспериментальной программы с использованием электродиализных аппаратов не исследовано влияние содержащихся в сточных водах органических веществ на «отравление» ионитных мембран.

5. Непонятно, какой из предлагаемых критериев «бессточности» является критерием оптимизации.

От оппонента Щербакова В.И.:

6. В разделе «Актуальность» говорится о том, что «нулевой сброс» относится к процессу захоронения солей. Следовало бы рассказать о других существующих способах создания «бессточных» ТЭЦ.

7. В диссертации не рассмотрена возможность совместной переработки городских сточных вод со стоками ТЭЦ.

От члена диссертационного совета Щинникова П.А.:

8. На электростанциях 7 видов сточных вод. Кроме сточных вод водоподготовительных установок, какие сточные воды еще можно перерабатывать с помощью разработанных технологий?

9. Какие перспективные направления могут появиться в результате дальнейшей работы?

Соискатель Филимонова А.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию:

1. Возрастания энергоемкости нет, потому что количество операций не увеличивается, наоборот, в ряде случаев сокращается, например, регенерация АН2, АН1, Нпр проводится одним потоком. За счет этого идет сокращение электроэнергии и времени. Это следует из анализа режимных карт. У нас есть экономический критерий, который ограничивает увеличение энергоемкости.

2. Учитывая широкий разброс параметров отложений в пределах исследуемых групп обратноосмотических мембран данные о среднем сроке службе мембран не представляются достоверными, однако можно говорить о его существенном снижении относительно паспортных данных. Не было длительного срока наблюдения и, следовательно, нет статистической базы, что не позволяет говорить о сроке с высокой долей достоверности.

3. Действительно, электродеионизацию можно рассматривать как альтернативу третьей ступени Н-ОН-ионирования с меньшим количеством

загрязненных стоков от регенерации и возможностью снижения собственных нужд установки по исходной воде, однако данная технология и более дорогостоящая в сравнении со стоимостью исходной воды и платой за сбросы на рассматриваемых энергообъектах. При проектировании УОО на КТЭЦ-2 ЭДИ рассматривалась в качестве альтернативы, но из-за высокой экономической составляющей от нее решено было отказаться.

4. Во время лабораторных экспериментов мы отметили, что анионообменные мембраны загрязняются органическими веществами, но не отметили снижения или изменения мембранного переноса ионов.

5. Основным критерием, характеризующим количество недопустимого сброса загрязняющих веществ, является критерий экологичности технологии водооборота. При использовании ресурсосберегающих технологий водооборота необходимо отбирать решения, обеспечивающие снижение критерия экологичности технологии водооборота с учетом ограничительных критериев ресурсосбережения, которые не позволяют применять технологию, основанную только на материальной выгоде или технической результативности.

6. В 1 главе литературного обзора подробно освещены технологии создания малосточных и бессточных энергопредприятий. В автореферате «нулевой сброс» применительно к испарительному обессоливанию приводится в контексте описания ресурсозатратных технологий. Этот вариант реализован в промышленности, другие предложения есть, но они не реализованы.

7. Основная идея работы состоит в том, чтобы перерабатывать отходы узлов и установок энергопредприятия с целью выделения ценных компонентов, не доводя до операций смешивания и разбавления. А городские сточные воды – это уже результат смешения нескольких видов отходов.

8. В работе представлены технологии переработки и снижения отходов водоподготовительной установки, системы оборотного охлаждения и теплосети, так как показано, что эти подсистемы водопользования производят наибольшее количество стоков. Технологии переработки других стоков, например, нефтезагрязненных уже хорошо отработана. Переработка стоков после химических очисток оборудования может быть экономически нецелесообразна теми технологиями, которыми мы предлагаем в связи с малым количеством

сточных вод и их высокой загрязненностью. Но лучше всего для их переработки подойдут электромембранные технологии, в связи с возможностью разделения такого рода отходов с выделением ценных реагентов, что может быть одним из дальнейших направлений работы.

9. Мы продолжаем разрабатывать и развивать работу по переработке отходов системы водопользования индустриально-энергетического комплекса. Так, например, занимаемся направлением по утилизации жидких высокоминерализованных отходов химобессоливающей водоподготовительной установки ТЭС методом обратного электродиализа с одновременным получения электроэнергии, другое направление – концентрирование отходов в «дожимных» гибридных установках обратного осмоса и электродиализа.

Диссертационный совет рекомендует использовать результаты диссертационного исследования Филимоновой А.А. на АО «Татэнерго», АО «ТГК-16», ПАО «Татнефть», в индустриально-энергетических комплексах с аналогичными системами водопользования Российской Федерации, в научно-образовательных процессах в профильных энергетических университетах Российской Федерации (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, ФГБОУ ВО «ИГЭУ»), в научных центрах (ОАО «ВТИ», ФИЦ КазНЦ РАН, АО «НИИ ВОДГЕО») и производственных предприятиях, занимающихся исследованиями в области водоподготовки, очистки и переработки сточных вод объектов энергетики и промышленности.

Диссертация Филимоновой А.А. «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. с изменениями в приказе № 458 от 07.06.2021 г.) к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора наук, представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную для энергетических систем и комплексов тему рационального баланса между производством энергии, экологией и экономикой, в которой на основании созданной автором теоретической базы разработаны ресурсосберегающие

технологии малосточной системы водопользования индустриально-энергетического комплекса республики Татарстан. Внедрение предложенных решений вносит значительный вклад в развитие энергетических систем и комплексов и оказывает положительное влияние на региональную экономику и экологию в виде сокращения ресурсопотребления и снижения вредного воздействия на окружающую среду.

На заседании 22 марта 2022 года протокол №52, диссертационный совет за новые, научно обоснованные ресурсосберегающие технические, технологические решения для систем водопользования индустриально-энергетических комплексов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, принял решение присудить Филимоновой Антонине Андреевне ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против 1.

Председатель совета



Ученый секретарь совета

Ваньков Юрий Витальевич

Зиганшин Шамиль Гаязович

22 марта 2022 года