

ОТЗЫВ

официального оппонента 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»

В настоящее время, как в нашей стране, так и в мировой практике, в условиях ограниченности водных ресурсов и ухудшения состояния природных объектов при постоянном повышении требований контролирующих органов к качеству стоков уменьшение масштабов воздействия индустриально-энергетического комплекса на водоемы становится одной из приоритетных задач, от решения которой зависит прогноз развития энергетики в целом.

Все большее признание в мировой энергетике получают предприятия теплоэнергетики, характеризующиеся минимальным потреблением свежей воды и сбросом жидких отходов. Наиболее перспективными и современными показывают себя мембранные методы водоподготовки, а также их различные комбинации и прогрессивные разработки, в том числе, установки переработки сточных вод.

В республике Татарстан – регионе с развитыми производственными мощностями и обеспечивающей их энергосистемой, – проблема большого объема загрязненных сточных вод имеет особое значение. Поэтому разработка и практическая реализация ресурсосберегающих технологий сокращения объемов высокоминерализованных стоков энергетических объектов должна привести к значительному уменьшению экологической нагрузки на регион.

На основании вышеизложенного считаю, что тема диссертационной работы Филимоновой А.А., посвященная разработке ресурсосберегающих технологий водопользования для индустриально-энергетического комплекса республики Татарстан является чрезвычайно **актуальной** и представляет научный и практический интерес. Актуальность диссертации не вызывает сомнений. Однако в работе актуальность представлена наличием глобальной задачи сокращения объемов сточных вод предприятий энергетического комплекса без глубокого рассмотрения конкретных путей ее решения. Для решения конкретной и актуальной задачи можно было бы ожидать более детального рассмотрения и критики уже существующих баромембранных технологий и ключевых направлений их совершенствования путем разработки новых электро- и баромембранных процессов, позволяющей утилизировать регенерационные растворы ионитных фильтров и концентраты установок обратного осмоса.

Диссертационная работа представляет собой законченный объемный труд, изложенный на 376 страницах машинописного текста, включая 95 иллюстраций и таблицы. Диссертация состоит из введения, семи глав,

заклучения, выводов, списка литературы, включающего 354 источника и приложений.

Во введении представлена общая характеристика диссертационной работы: сформулированы актуальность, цель и задачи исследований; представлены научная новизна и практическая значимость; описаны методы исследований; определена достоверность работы; описаны реализация и внедрение полученных результатов; продемонстрирована апробация работы и приведены публикации, основные положения, выносимые на защиту; приведена структура диссертационной работы.

В первой главе проведен анализ отечественного и зарубежного опыта по созданию малосточных энергопредприятий, включая предпосылки освоения современных ресурсосберегающих технологий на объектах энергетики, определены и классифицированы стоки, отходы и вторичные ресурсы; приведена характеристика сточных вод объектов энергетики на газо-мазутном топливе: сточных вод ионитных водоподготовительных установок, сточных вод баромембранных водоподготовительных установок, испарительных водоподготовительных установок, продувочных вод паровых котлов, стоков системы оборотного охлаждения и других. В главе обсуждены операции по удалению отходов, не приводящие к возможности их утилизации, а также операции, ведущие к утилизации отходов. Освещен отечественный и зарубежный опыт по сокращению стоков малосточных объектов энергетики.

К сожалению, в первой главе, на наш взгляд, мало уделено внимания более подробному анализу современных технологий, обеспечивающих «нулевой сброс» (получивших название "Zero Liquid Discharge") благодаря выпарке солевых сбросов. Ничего также не сообщается о современных применениях мембранных технологий (нанофильтрации, прямого осмоса) для глубокого концентрирования минерализованных стоков и радикальном сокращении затрат на выпарку. В первой главе, по нашему мнению, приводится слишком много лишней информации по работе систем предочистки, в частности, ультрафильтрации. Слишком много также приведено лишних разговоров о процессе коагуляции, которые уводят от основной темы работы. Конечно, стоки установок предочистки (шламовые осадки, промывные воды фильтров и установок ультрафильтрации), а также концентраты установок обратного осмоса являются объектом исследований, но в работе, посвященной сокращению объемов стоков, нами ожидается описание более конкретных решений. В частности, при описании загрязнения окружающей среды фосфатами при сбросе в водоемы концентратов установок обратного осмоса, содержащих фосфатные ингибиторы, ничего не сказано о новом направлении использования «зеленых» ингибиторов. К положительным сторонам проведенного литературного обзора следует отнести рассмотрение концепции совместного решения проблем городских стоков и стоков ТЭЦ.

Вторая глава включает описание объектов исследования, а именно: описание основного оборудования водоподготовительных установок,

объемов и видов сточных вод Нижнекамской ТЭЦ-1, Казанской ТЭЦ-1, Казанской ТЭЦ-2, Казанской ТЭЦ-3, Набережночелнинской ТЭЦ, котельных ПАО «Татнефть». На наш взгляд, глава также содержит много лишней информации. Важнее было бы сосредоточиться на анализе видов стоков и их составах.

Во второй главе также описаны сконструированные приборы и установки: опытный лабораторный электромембранный аппарат, лабораторный электромембранный стенд, опытно-промышленная электромембранная установка на Казанской ТЭЦ-3, экспериментальная опытно-промышленная электромембранная установка Нижнекамской ТЭЦ-1. Однако, на наш взгляд, в работе перед описанием экспериментальных стендов следовало бы сформулировать цели и задачи экспериментов, а также представить необходимые параметры воды, определяемые в ходе проведения химических анализов.

В третьей главе на основе методологии системного анализа раскрывается понятие энерготехнологической системы, ее иерархическая структура, номенклатура элементов и потоков (связей), проводится построение математической модели энерготехнологической системы. В главе проводится системный анализ водооборота технологических вод систем, узлов, блоков и аппаратов предочистки, ионитных фильтров, баромембранной установки, испарительной установки, системы оборотного охлаждения и других на примере Нижнекамской ТЭЦ-1, Казанской ТЭЦ-1, Казанской ТЭЦ-2, Казанской ТЭЦ-3, Набережночелнинской ТЭЦ, котельных ПАО «Татнефть».

Однако при изучении результатов проведения системного анализа удивляют полученные соотношения расходов свежей воды и стоков. В частности, для Нижнекамской ТЭЦ-1, совершенно очевидно, что главной причиной образования большого количества сточных вод системы химводоочистки является система ультрафильтрации (называемая в диссертации блоком «микрофильтрации»), вследствие неудовлетворительной эксплуатации сбрасывающая промывных вод в 10 раз больше, чем требуется расчетом. В главе представлены виды стоков, их составы и экологическая опасность, но, к сожалению, не проанализированы мероприятия, позволяющие предотвратить эту опасность, в частности, «зеленые ингибиторы».

В четвертой главе рассмотрены ресурсосберегающие схемы водооборота технологических вод энергетических объектов на основе повторного и повторно-последовательного использования регенерационных растворов. Представлена «каскадная» схема повторно-последовательной регенерации ионитных фильтров установки химического обессоливания. Четвертая глава содержит много ценной информации. Однако, на наш взгляд, следовало бы обобщить опыт создания схем водоподготовки и сокращения сбросов и представить для каждой описанной проблемы удельные значения объемов сбрасываемых загрязнений, затрат реагентов и объемов сточных

вод. Было бы также очень полезно обобщить опыт и на примере одного объекта представить несколько вариантов решения проблемы.

Пятая глава содержит очень ценные результаты исследований по применению электродиализного метода для обработки минерализованных регенерационных стоков установок ионного обмена. Утилизация минерализованных регенерационных стоков установок ионного обмена и вод продувки котлов с применением метода электродиализа выполнены для Казанской ТЭЦ-3 и Нижнекамской ТЭЦ-1. Убедительно показана целесообразность обработки щелочных стоков с целью возврата щелочи. Однако, как видно из полученных результатов, получение обессоленной воды (диализата) требует высоких энергозатрат, поэтому, на наш взгляд, было бы очень целесообразно провести исследования по совместному применению электродиализа и обратного осмоса. Кроме того, для главы, посвященной применению электродиализа для обработки регенерационных стоков, явно не хватает исследований по разделению стоков установки натрий-катионирования с применением электродиализа на биполярных мембранах.

В главе 5 также приведено описание использованных экспресс-методик анализа растворенных загрязнений, в частности, определения содержания органических веществ, содержащихся в регенерационных стоках. Заслуживает высокой оценки разработанный автором экспресс-метод определения содержания органических веществ в отработанных регенерационных растворах анионитовых фильтров для определения пригодности для дальнейшей переработки с помощью электродиализной установки. Как известно, наличие органических веществ вызывает «отравление» ионитных мембран, поэтому в работе следовало бы привести результаты экспериментов по изучению влияния органических загрязнений на работу мембран.

Шестая глава посвящена созданию ресурсосберегающих технологий снижения стоков и твердых отходов, включающих замкнутые локальные циклы, синхронизацию потоков, взаимную конверсию отходов.

Для Нижнекамской ТЭЦ-1 и Казанской ТЭЦ-1 созданы технологии локальных замкнутых циклов водооборота, включающих подсистемы энерготехнологической системы: оборотного охлаждения, водоподготовки, теплоснабжения. Для Казанской ТЭЦ-3 разработана технология стабилизации циркуляционной воды сопряженной системы оборотного охлаждения. Для Набережночелнинской ТЭЦ создана технология синхронизации потоков водооборотных циклов ТЭЦ. Для котельных ПАО «Татнефть» разработан универсальный водно-химический режим для группы баромембранных водоподготовительных установок. Кроме того, в главе представлены технические решения по взаимной конверсии твердых и жидких отходов ионитной водоподготовительной установки, ведущие к снижению выброса сточных вод и ПДК по сульфатам. Глава содержит описание различных мероприятий, связанных с «ресурсосбережением» на разных объектах и в разных предприятиях водного хозяйства, что уводит от

оценки эффективности сокращения солевых сбросов. На наш взгляд, в главе следовало бы привести обобщающую таблицу для одного предприятия теплоэнергетики, с демонстрацией различных проблем и сравнением методов их решения.

В седьмой главе проведена оценка влияния предлагаемых технологий для объектов энергетики региона республики Татарстан на финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экологию. Показан технико-экономический эффект от реализации проектов на Казанском, Нижнекамском и Альметьевском промышленных узлах. Изучение полученных результатов показывает, что не во всех случаях полученные высокие значения экономического эффекта соответствуют действительности, в частности, экономия реагентов, используемых при эксплуатации установки обратного осмоса на Нижнекамской ТЭЦ-3, вызывает сомнения.

В выводах изложены основные результаты по диссертационной работе. Выводы автора возражений не вызывают. Следует указать и на замеченную слабую, на наш взгляд, сторону работы. Это – недостаточно уделенное внимание более подробному рассмотрению возможностей современных технологий для глубокого концентрирования и сокращения расходов минерализованных стоков перед их выпаркой, а также определение областей их применимости.

Автореферат в полной мере отражает содержание работы.

Существенной новизной и оригинальностью отличаются методики проведения исследований по электромембранной переработке продувочной воды испарительной водоподготовительной установки, включающей в качестве основных элементов диффузионно-диализный экстрактор и электродиализный концентратор, результатом которых стало получение рекуперированного реагента и безреагентная переработка избытка продувочной воды испарительной установки. Предложенная автором технология электромембранной переработки жидких отходов хлоробессоливающих ионитных водоподготовительных установок позволяет осуществить электромембранное разделение, очистку и повторное использование отработанных регенерационных растворов с экономией щелочи на 40 %. Это составляет **научную новизну** работы.

Практическая значимость работы определяется наличием разработанной и научно обоснованной автором новой технологии сокращения объемов минерализованных стоков, обладающей несомненным преимуществом по сравнению с традиционными технологиями благодаря сокращению эксплуатационных затрат и отсутствию применения реагентов и расходных материалов. Разработанные автором технологии утилизации регенерационных стоков и концентратов с применением метода электродиализа демонстрирует существенные экономические преимущества и позволяют добиться также и серьезного экологического эффекта.

Достоверность результатов работы и обоснованность полученных результатов подкрепляется представленными обширными графическими и табличными материалами, полученными опытным путем, и сомнений не вызывает. Достоверность подтверждается использованием комплекса методов физико-химического анализа по ГОСТ, апробированных методов математического моделирования химических равновесий в многокомпонентных средах, использованием сертифицированного контрольно-измерительного оборудования, применением математического анализа при обработке полученных результатов с использованием современных средств вычислительной техники. Выводы работы обоснованы многолетним опытом исследовательской работы автора по изучению, разработке, внедрению разработанных аппаратов и технологий переработки минерализованных стоков. Диссертация выполнена на высоком научно-методическом уровне, хорошо оформлена и иллюстрирована графиками, схемами, рисунками. Работа прошла серьезную апробацию, что подтверждается наличием 12-ти докладов и сообщений на международных и отечественных конгрессах, конференциях и семинарах только за период с 2018 по 2021 год. Ее результаты опубликованы в публикациях, патентах на изобретения, научных статьях, из них более – в реферируемых журналах, а также содержатся в многочисленных тезисах докладов. Содержание реферата соответствует основному содержанию диссертации.

Положительно оценивая диссертационную работу А.А. Филимоновой, следует отметить следующие замечания и пожелания:

1. В главе 2 не содержится обоснования отказа от сернистого алюминия в качестве коагулянта и перехода на хлорид алюминия при эксплуатации осветлителей ВТИ.

2. Следовало бы обосновать предложение направлять жидкие отходы водоподготовительных установок в качестве подпиточной воды, что может не соответствовать жестким требованиям ПТЭ к качеству подпиточной воды.

3. В диссертации неоправданно часто встречаются профессиональные слэнговые выражения или «научный жаргон» при описании технологий и оборудования, применяемых на тепловой электрической станции, а также при описании процессов электролиза, ультрафильтрации и обратного осмоса. Например, вызывает недоумение термин «удельная энергоемкость» электролиза в то время, как энергозатраты при проведении электролиза обычно определяются «числом Фарадея» и «выходом по току». Также замечено, что при описании предварительной обработки перед установками обратного осмоса с применением ультрафильтрации в первой главе используют термин «микрофильтрация», а в шестой – «ультрафильтрация».

4. При проведении системных анализов работы технологических схем водоподготовки в Главе 3 получены слишком завышенные цифры объемов сточных вод, которые объясняются очень большими расходами на промывку ультрафильтрационных мембран, используемых в схемах предочистки (порядка 30 % общего расхода воды). Следует отметить, что такие расходы

не являются расчетными, а являются следствием неудовлетворительно проводимого процесса смешения реагентов и коагуляции.

5. При описании исследований по улучшению работы установки обратного осмоса Нижнекамской ТЭЦ-3 не учтено влияние образующихся на мембранах отложений на сокращение срока службы обратноосмотических мембран.

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

7. В работе при расчете водных балансов всей ТЭЦ не учтены все возможные режимы функционирования теплосети, в частности, утечки.

8. В главе 7 технико-экономический расчет проведен без учета дисконтированного дохода.

9. В главе 7 вызывают удивление результаты расчета экономического эффекта, полученного при совершенствовании технологии химических промывок установки обратного осмоса, показанные в Таблице 7.17. В соответствии с предложенной новой технологией, расход необходимых расходных материалов (ингибитор «Аминат-К», моющий раствор «Аминат-ДМ») увеличился в 3 раза. Экономический эффект получен за счет исключения из поставки таких реагентов, как NaHSO_4 , NaClO . Не понятно, зачем вообще эти реагенты были включены в схему.

10. Непонятно, какой из ряда предложенных критериев «бессточности» является критерием оптимизации.

11. Следовало бы пояснить причину выбора электромембранных технологий разделения щелочных растворов. В одном случае двухэтапное диализное, во втором случае одноэтапное электродиализное.

Других замечаний нет.

Оценивая работу в целом, следует отметить, что диссертация А.А. Филимоновой является самостоятельным научным трудом, в котором на основании выполненных автором исследований научно обоснованы и опробованы в производственных условиях новые подходы к сокращению сброса в водоемы минерализованных сточных вод предприятий энергетического комплекса, состоящие в «каскадном» проведении регенераций ионитных фильтров, обработке, утилизации и повторном использовании реагентов, применения ресурсосберегающих мембранных технологий.

Высказанные замечания не влияют на общее положительное впечатление от работы, выполненной на высоком научном уровне и имеющей, несомненно, существенную практическую ценность.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Филимоновой А.А. по своей актуальности, научной новизне и практической значимости соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.01 «Энергетические системы и комплексы» и требованиям, 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.).

Официальный оппонент
доктор технических наук,
профессор ФГБОУ ВО
«Национальный
исследовательский
Московский государственный
строительный университет»

« 31 » января 2022 г.



А.Г. Первов

Адрес: г. Москва, Ярославское шоссе, 26
Тел./факс: +7 (495) 781-99-88
e-mail: info@mgsu.ru

ПОДПИСЬ
А.Г. Первов
ЗАВЕРЯЮ
О.И. Перевезенцева

Начальник УР



О.И. Перевезенцева