

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)

119991, г. Москва, Ленинский просп., д. 65, корп. 1, телефон: (499) 507-88-88 (многоканальный)
ОКПО 02066612; ОГРН 1027739073845; ИНН/КПП 7736093127/773601001
E-mail: com@gubkin.ru; <http://www.gubkin.ru>

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
к.т.н., доцент



И. К. Калашников

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу «Совершенствование мембранных и сорбционных технологий в водообороте крупных предприятий на основе эколого-экономической сбалансированности» Вурдовой Надежды Георгиевны, представленную на соискание степени доктора технических наук по специальности – 2.10.2 «Экологическая безопасность»

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Вурдовой Н.Г. представляет собой комплексное исследование, направленное на решение актуальной научно-практической проблемы – оптимизацию водопользования в нефтехимической отрасли путем внедрения замкнутых водооборотных систем с применением инновационных сорбционных и мембранных технологий. Работа выполнена на стыке экологии, химической технологии и экономики, что подчеркивает ее междисциплинарный характер и соответствие современным требованиям к устойчивому развитию промышленности.

Тема диссертации соответствует стратегическими целям федерального проекта «Чистая вода», а также новой программы «Экологическое благополучие», в рамках которой будет продолжена работа по сокращению объемов неочищенных сточных вод, попадающих в реки, а снижение водоемкости производств и переход на замкнутые водооборотные системы. Для нефтехимической отрасли указанная проблема является критически важной в виду значительной водоемкости большинства процессов (достигает

100 м куб на тонну сырой нефти). Поэтому ужесточение экологических требований, включающее переход на принципы соответствия наилучшим доступным технологиям, требует принципиально новых решений в водоочистке. Исследование, выполненное Вурдовой Н. Г. охватывает важные аспекты управления водным хозяйством предприятия с учетом экологических и экономических факторов. Фактическое неудовлетворительное качество очистки производственных сточных вод как для максимального возврата воды в производство, так и для спуска в водоемы рыбохозяйственного назначения требует усовершенствования технологий доочистки стоков, а именно сорбционных и мембранных, особенно для предприятий с большой водоемкостью и механизмов оптимизации инвестиций при проектировании и строительстве водоочистных сооружений. Это является актуальной научно-практической задачей.

Оценка содержания диссертации

Во введении обоснована актуальность темы, приведены общая характеристика работы, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, определены объект и предмет исследования, показана научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе представлен анализ использования воды на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях, рассмотрены основные тенденции развития отрасли (План 2030) и связанные с этим проблемы экологического воздействия предприятий на водные ресурсы, а также проведен анализ направления развития их систем водоснабжения и водоотведения. Выполнен анализ технологий очистки сточных вод крупнейших предприятий отрасли, который показал, что лишь немногие нефтехимические гиганты смогли

запустить или запланировать замкнутые водооборотные системы. Ввиду высокой стоимости жизненного цикла таких систем для поддержки принятия решения об инвестициях необходимо выполнить ряд последовательных мероприятий, включая технико-экономическое обоснование, маркетинговые исследования, осуществить выбор поставщиков, а также оценить возможные последствия от реализации или «не запуска» проекта с технической, экономической и экологической позиций. Для этого автором разработаны рекомендации по применению указанного подхода к оценке инвестпроектов.

Во второй главе результаты анализа качества сточных вод современных нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. Используются стандартные методики, применяемые в практике заводских лабораторий, включая анализ водно-химического режима водооборотных систем, в соответствии с ПНД Ф, МВИ, РД; физико-химические и

механические характеристики фильтрующих материалов определялись в соответствии с ГОСТ Р; приведены основные кинетические уравнения адсорбции, сформулированы теоретические положения электродиализа; представлен математический аппарат для обработки результатов экспериментов.

В третьей главе диссертации сформулированы основные теоретические предпосылки сорбционного извлечения загрязняющих веществ из сточных вод и развиты методики исследования сорбционных способностей природного материала – опоки. В качестве блоков дополнительной очистки, как правило, применяют двухступенчатое фильтрование на фильтрах с песчаной и угольной загрузкой. Но не всегда и этот блок справляется с поставленными задачами, к тому же отдельные фракции кварцевого песка становятся труднодоступными, а загрузка активированным углем – весьма дорогостоящий расходный материал. В качестве материала, сочетающего фильтрующие и сорбционные свойства автором предложено использовать опоки. Выполнены исследования химического и минералогического состава образцов пяти месторождений РФ установлены общие закономерности, влияющие на технологические показатели сорбционной очистки сточных вод. Получены результаты с высокой степенью достоверности (коэффициент детерминации 0,81-0,91) подтвердили возможность использования сырья с различных месторождений. На основе глубокого исследования опоки Астраханской области, ее физико-химического состава и сорбционной структуры доказана возможность применения сорбента без дополнительной термохимической обработки, что резко удешевляет его стоимость и позволяет применять в процессах с большой водоемкостью. Выполнен расчет технологических параметров процесса доочистки сточных производственных сточных вод с использованием опок, научная новизна усовершенствованной сорбционной технологии подтверждена патентом РФ.

Представляет интерес комплексный подход автора к обеспечению экологической безопасности предлагаемой технологии, заключающийся в отработке методики переработки образующихся при очистке сточных вод твердых отходов (отработанного сорбента). Способом реагентного капсулирования из нефтесодержащих отходов получен вторичный материальный ресурс.

Четвертая глава отражает результаты исследования очистки многокомпонентных сточных вод методом электродиализа. Известный недостаток этого метода – высокие энергозатраты – автор предлагает устранять за счет применения импульсного униполярного электрического

тока вместо постоянного для питания электролизеров. Предложен новый механизм массопереноса, подтвержденный рядом экспериментальных данных на модельных и реальных растворах. Кроме экономии электроэнергии автором получен дополнительный эффект, заключающийся в снижении осадкообразования на поверхности ионообменных мембран, что положительно сказалось на их ресурсных характеристиках. На предложенную технологию автором получены два патента РФ.

В пятой главе Вурдова Н.Г. приводит основные технические решения реализованных проектов по организации водооборотных систем на крупнейших в свое время и в своем сегменте предприятиях. В проекте строительства водоочистных сооружений ООО «Запсибнефтехим» реализована концепция «нулевого жидкого сброса». Процент использования воды в обороте составляет $R_{об} = 96\%$, а эффективность ее использования - $K_{и} = 0,93$. В проекте применена технология сорбционной доочистки сточных вод на блоке предварительной подготовки стоков к утилизации (выпарке); в качестве адсорбента применены опоки.

В проекте строительства очистных сооружений Новоуренгойского ГХК за счет замены импортной загрузки на сорбент из опоки получена экономия в 5,8 млн. рублей в год.

На примере проекта реконструкции водооборотных циклов на нефтеперерабатывающем заводе ЮФО показана возможность поэтапной реализации с доведением показателей стоков до требований, предъявляемых к блокам оборотного водоснабжения на первом этапе, с дальнейшим строительством биохимических сооружений с блоком деминерализации, которые позволят полностью возвращать все очищенные сточные воды в оборот и уменьшить забор воды из реки на технические нужды, включая ТЭЦ.

В шестой главе автором представлен анализ различных методик оценки инвестиционных проектов по внедрению мало- и бессточных (замкнутых) систем водного хозяйства на предприятиях. Очистка сточных вод промышленного предприятия является весьма дорогостоящим мероприятием. Поэтому автор уделяет основное внимание начальной стадии обоснования инвестиций. Выполнен анализ различий между отечественной и зарубежной практиками; установлена значимость оценки эколого-экономических рисков. Представлено технико-экономическое обоснование по разработанной авторской методике с оценкой стоимости жизненного цикла очистных сооружений, определением основных технико-экономических показателей проекта и предотвращенного экологического ущерба.

В заключении автором приведены основные научные и практические результаты и выводы, которые целиком и полностью соответствуют задачам, поставленным в работе, и доказательству защищаемых положений, указаны рекомендации для широкого внедрения подходов, технологий и устройств при реализации водосберегающих мероприятий на предприятиях, а также намечены перспективные направления дальнейших исследований.

Новизна основных научных результатов и их значимость для науки и практики

Автором получены научные результаты, которые можно квалифицировать как новое достижение в области экологической безопасности:

1. Впервые разработана система развития водного хозяйства промышленных предприятий с большой водоемкостью, заключающаяся в комплексной оценке эффективности использования воды и утилизации образующихся отходов, что позволяет организовать замкнутые водооборотные системы; введены критерии оценки технологий (научные, технические, экологические и др.), что формирует методологическую базу для дальнейших исследований.

2. Обосновано применение природных сорбентов на основе дисперсных кремнеземов для очистки производственных сточных вод вместо традиционных фильтрующих и сорбционных материалов; полученный сорбент в 20 раз дешевле активированного угля, но обладает достаточной высокой сорбционной емкостью, что позволяет чаще в 2-3 раза производить его замену, при этом научно обоснована технология получения из отработанного сорбента вторичного материального ресурса с позиции показателя степени опасности.

3. Установлены закономерности, определяющие технологически показатели сорбционной очистки сточных вод, выполнено тщательное изучение физико-механических, адсорбционно-структурных свойств образцов различных месторождений, что позволяет расширить минерально-сырьевую базу для производства адсорбентов на основе дисперсных кремнеземов.

4. Установлены закономерности электродиализа на импульсном токе, которые позволили за счет использования импульсного униполярного электрического тока определенной частоты (500 ± 20 Гц) и скважности ($s=2$) снизить энергозатраты в 2,4 раза и одновременно повысить скорость массообмена в 1,5 раза по сравнению с использованием постоянного электрического тока.

Практическая значимость работы

Вурдова Н.Г. выполнила комплексный анализ ключевых аспектов водопользования на предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической отрасли, включая технические, экологические, экономические факторы. Это позволяет получить целостное представление о проблемах и перспективах.

Автором усовершенствованы технологии очистки производственных сточных вод сорбционным методом и деминерализацией электродиализом. В работе представлены результаты внедрения на примере трех предприятий отрасли, которые несут выраженный эколого-экономический эффект.

Разработанные автором технологии и оборудование защищены 6 патентами РФ, серийно выпускается отечественными предприятиями, что снижает зависимость от импорта. Акты и другие материалы внедрения, представленные в Приложении А, показывают перспективность предложенных Вурдовой Н.Г. технических и технологических решений.

Автор разработала методику поэтапной модернизации водного хозяйства, включающую организационно-технические и инженерные решения, которая уменьшает единовременную финансовую нагрузку при реализации.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Выводы работы основаны на экспериментальных данных, полученных с использованием современных аналитических методов, в том числе в аккредитованных аналитических лабораториях, включая протоколы по классу опасности литифицированных отходов. Автором использовались также стандартные методики количественного химического анализа при наладке водно-химического режима на предприятиях, включая ПНД Ф, МВИ или РД. Полученные результаты исследований обработаны методами математической статистики и с использованием регрессионного анализа. С участием соискателя выполнены опытно-промышленные испытания на трех предприятиях нефтехимического комплекса, подтвердивших воспроизводимость результатов.

Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах

Автором в полной мере выполнено требование «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства РФ от 24.09.13 №842 об опубликовании результатов исследований. Материалы диссертации опубликованы в 67 публикациях, включая 23 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ, из них 7 статей в

рецензируемых журналах, входящих в международные базы цитирования WoS, Scopus, CA(pt). Основные положения диссертации доложены автором на нескольких десятках международных и всероссийских конференциях, симпозиумах, форумах, выставках, начиная с 1996г. по н.в.

Содержание автореферата

Автореферат полностью отражает материалы, представленные в диссертационной работе, содержит информацию об актуальности, цель и идею работы, задачи исследований, научные положения, обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов, научную новизну, научную и практическую значимость результатов исследований.

Рекомендации по использованию полученных результатов и выводов

В работе получен ряд новых результатов, которые представляют интерес для специалистов и организаций, деятельность которых связана с разработкой проектов модернизации, реконструкции и строительства водоочистных сооружений промышленных предприятий, так как предложенные технические и организационные решения позволяют выполнить обоснование инвестиций, эколого-экономические расчеты, оптимизировать проектные решения на начальной стадии с поэтапным внедрением. Указанные результаты могут быть рекомендованы для их практического использования в таких организациях, как ООО «Газпром проектирование» (С-Петербург), АО «ВНИПИнефть» (Москва), АО «НИПИгаз» (Краснодар), АО «Гипровостокнефть» (Самара), АО «ТомскНИПИнефть» и других.

Соответствие содержания диссертационной работы указанной специальности

Область исследования соответствует паспорту специальности 2.10.2 «Экологическая безопасность» по пунктам:

П.3. Научное обоснование, исследование, разработка прогнозно-аналитических систем, математических моделей и методик управления экологическим риском на антропогенных источниках негативного воздействия на окружающую среду.

П.10. Разработка и совершенствование методов, технологий и средств снижения негативного воздействия антропогенной хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду.

П.11. Создание и совершенствование энерго- и ресурсосберегающих методов, и технологий эксплуатации объектов, совершенствование системы обращения с отходами на всех стадиях жизненного цикла.

Замечания по диссертационной работе

1. В главе 1.3 автор анализирует эффективность использования воды на предприятиях отрасли. Не показано в явном виде, что нового предложено

автором. То же самое относится и к установленным автором критериям оценки технологий и оборудования. Возможно, следовало кроме эмпирических заключений, предложить интегральный показатель.

2. В главе 1.5 автор указывает на необходимость применения методов доочистки сточных вод: сорбционным и обессоливании для достижения максимального повторного использования воды, с чем трудно не согласиться. Однако выбор в пользу применения опок в качестве сорбционного материала не выглядит убедительным. Недостаточно данных по экономическому сравнению различных материалов.

3. В главе 3 не представлены экспериментальные данные о насыщаемости сорбента и методах его регенерации, что могло бы усилить аргументацию в пользу опок.

4. Раздел 3.5 посвящен способам утилизации отработанного сорбента, что безусловно является положительным моментом и говорит о комплексном подходе автора к исследованию. Однако, к сожалению, далее рассматривается только реагентный способ.

5. В выводах главы 4 указано, что за счет применения импульсного тока происходит снижение затрат электроэнергии в 2,4 раза при плотности тока выше предельной, тогда как по данным таблиц 4.1 и 4.3 разница меньше (10,2 против 4,9 кВт.ч/кг). Необходимо пояснение.

6. Методический аппарат главы 6 отражает владение автором современными подходами в управлении промышленной экологией и инвестициями, включая стандарты ISO, методологии AACE, HAZOP, HAZID и др. Однако, недостаточно проработан вопрос интеграции ESG-факторов в стратегию водного хозяйства. Хотя речь идёт об устойчивом развитии и экологической безопасности, раздел не рассматривает роль нефинансовой отчётности, рейтингов устойчивости и требований инвесторов в области экологической, социальной и управленческой ответственности (ESG), особенно на стадии pre-FEED.

7. Ограниченное применение сравнительного анализа. В таблице 6.3 приведены характеристики различных фильтрующих материалов, но не даётся технико-экономическое сравнение с зарубежными аналогами (например, это могли бы быть цеолиты, гранулированные шлаки, полиуретановые носители), что ограничивает полноту обоснования выбора опок.

Замечания носят непринципиальный характер и не снижают общей положительной оценки выполненного исследования.

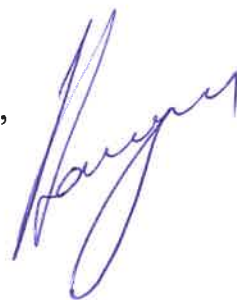
Заключение

Диссертационная работа Вурдовой Н.Г. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, связанную с разработкой и внедрением удовлетворяющих экологическим требованиям экономически приемлемых технологий для максимального использования оборотной воды на предприятии, основанных на принципе эколого-экономической сбалансированности, внедрение которой вносит существенный вклад в развитие ресурсосберегающей деятельности промышленных предприятий. Работа носит ярко выраженный научно-практический характер, а ее результаты могут способствовать усовершенствованию водоочистки крупнотоннажных предприятий. Работа Вурдовой Н.Г. вносит существенный вклад в развитие экономики страны.

Диссертационная работа «Совершенствование мембранных и сорбционных технологий в водообороте крупных предприятий на основе эколого-экономической сбалансированности», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, соответствует требованиям Положения правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. 16.10.2024), «Положения о порядке присуждений ученых степеней в НИТУ «МИСИС», содержит все необходимые элементы, присущие докторским диссертациям, с точки зрения научной и практической значимости полученных результатов, а ее автор Вурдова Надежда Георгиевна заслуживает присуждения степени доктора технических наук по специальности 2.10.2 - «Экологическая безопасность».

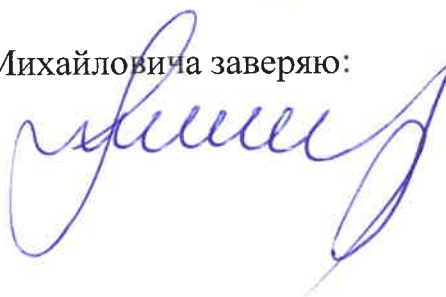
Диссертационная работа «Совершенствование мембранных и сорбционных технологий в водообороте крупных предприятий на основе эколого-экономической сбалансированности» Вурдовой Надежды Георгиевны, автореферат и отзыв были рассмотрены, обсуждены и одобрены на заседании кафедры технологии переработки нефти (протокол № 7 от 1 апреля 2025 г.)

Заведующий кафедрой
технологии переработки нефти
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина,
профессор, д.т.н.
Рабочий телефон: +7 (499) 507-85-98
e-mail: kapustin.v@gubkin.ru



В.М. Капустин

Подпись Капустина Владимира Михайловича заверяю:
Начальник отдела кадров



Ю.Е. Ширяев