

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
РХТУ.05.06 РХТУ им. Д.И. Менделеева
по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук
аттестационное дело № 20/21
решение диссертационного совета
от 16 декабря 2021 г. № 4

О присуждении ученой степени кандидата технических наук Сальникову Николаю Александровичу, представившему диссертационную работу на тему «Мембранная очистка санитарно-гигиенической воды в замкнутой системе водообеспечения» по научной специальности 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий», принятой к защите «12» ноября 2021 г., протокол № 3 диссертационным советом РХТУ.05.06 РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 18 человек приказом ректора РХТУ № 52-ОД от «14» июля 2020 г. В состав диссертационного совета внесены изменения в соответствии с приказом Врио ректора РХТУ № 1496 СТ от «16» сентября 2021 г.

Соискатель Сальников Николай Александрович 1991 года рождения, в 2014 году с отличием окончил Московский государственный машиностроительный университет (Университет Машиностроения), серия 107718 номер 0190625.

В 2014 году поступил в аспирантуру Университета Машиностроения, в настоящее время преобразованного в Московский государственный политехнический университет (Московский Политех). В 2018 году окончил аспирантуру Московского Политеха, серия 107718 номер 1026424.

Работает в должности старшего научного сотрудника в научно-исследовательском секторе систем регенерации воды Научно-исследовательского и опытно-конструкторского института химического машиностроения (АО «НИИхиммаш»).

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий» выполнена на кафедре «Процессы и аппараты химической технологии» Московского государственного политехнического университета.

Тема диссертационной работы «Мембранная очистка санитарно-гигиенической воды в замкнутой системе водообеспечения» утверждена на заседании Ученого совета Института инженерной экологии и химического машиностроения Университета Машиностроения (протокол от «15» октября 2014 года № 01-14). Научный руководитель – доцент, кандидат технических наук Николайкина Наталья Евгеньевна.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор, **Каграманов Георгий Гайкович**, ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», кафедра «Мембранной технологии»;

доктор технических наук, доцент **Таранцев Константин Валентинович**, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», кафедра «Технологии и оборудование машиностроения».

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (ФГБОУ ВО «РТУ МИРЭА»).

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 20 научных работах, опубликованных соискателем, в том числе в 2 публикациях в изданиях, индексируемых в международных базах данных, и в 5 публикациях в рецензируемых изданиях.

Опубликованные работы общим объёмом 78 страниц полностью отражают результаты, полученные в диссертации.

Результаты работы апробированы на 4 всероссийских и 10 международных научных конференциях.

Личный вклад соискателя в работах, выполненных в соавторстве, составляет 40-75% и заключается в непосредственном участии в планировании работ, проведении экспериментов, анализе данных, обсуждении полученных результатов и написании текста работ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Сальников Н.А., Николайкина Н.Е., Бобе Л.С. Применение низконапорного обратного осмоса для организации оборотного водоснабжения // Экология и промышленность России. – 2021. – т. 25. № 4. – С. 14-20.

2. Сальников Н.А., Николайкина Н.Е. Оценка характеристик отечественных обратноосмотических модулей для организации оборотного водоснабжения малотоннажных производств // Экология и промышленность России. – 2018. – т. 22. № 3. – С. 22-27.

3. Бобе Л.С., Сальников Н.А. Анализ и расчет процесса низконапорного обратного осмоса при регенерации санитарно-гигиенической воды // Космическая техника и технологии. – 2019. – № 2 (25) – С. 28 – 36.

4. Сальников Н.А., Бобе Л.С., Кочетков А.А., Железняков А.Г., Андрейчук П.О., Шамшина Н.А. Применение мембранной аппаратуры для регенерации санитарно-гигиенической воды на космической станции // Космическая техника и технологии. – 2018. – № 4 (23). – С. 29-39.

5. Сальников Н.А., Бобе Л.С., Николайкина Н.Е., Рыхлов Н.В. Исследование насосасепаратора газожидкостной смеси для санитарно-гигиенического отсека космической станции // Известия МГТУ «МАМИ». Серия «Химическое машиностроение и инженерная экология». – 2014. – т. 3. № 2 (20). – С. 9-15.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв официального оппонента – доктора технических наук по специальности 05.17.18, профессора, заведующего кафедрой «Мембранной технологии» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» **Каграманова Георгия Гайковича**. В отзыве отмечены актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, а также достоверность полученных данных и общий обзор работы. Отзыв положительный. Имеются следующие замечания и рекомендации:

1. В диссертации рассматривается процесс разделения многокомпонентной смеси методом обратного осмоса при стремящейся к 100% селективности. На практике 100%-ая селективность не достигается, поэтому целесообразно при дальнейших работах рассмотреть изменение параметров процесса обратноосмотического разделения при селективности мембран менее 100%.

2. В работе не показано, как изменяются параметры пограничного слоя связанных с мембраной веществ в зависимости от типа моющего средства.

3. В диссертации приводятся перспективы использования системы регенерации воды при полетах на Марс в условиях невесомости, но ничего не говорится о применении оборудования в ходе планируемой лунной программы, в частности на лунной базе, и не показано, какие изменения нужно внести в технологическую схему для эксплуатации системы регенерации воды в условиях лунной и планетной гравитации, где имеется ускорение свободного падения.

Приведенные замечания не влияют на общий результат работы, которая выполнена на высоком научно-техническом уровне и является целостной и завершенной.

В заключении указано, что диссертация Сальникова Николая Александровича на тему «Мембранная очистка санитарно-гигиенической воды в замкнутой системе водообеспечения» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача регенерации воды методом обратного осмоса с высоким коэффициентом возврата чистой воды в замкнутом цикле санитарно-гигиенического водообеспечения применительно к космической станции. Автором проведена большая

работа, включающая достаточно полное описание поставленной проблемы, проведение большого количества экспериментов как на модельных растворах, так и на реальной загрязненной воде, обработку и анализ полученных результатов, предложение новых подходов к оценке концентрационной поляризации и расчету массопереноса в каналах мембранных аппаратов, внедрение полученных результатов. Сальников Николай Александрович заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий».

2. Отзыв официального оппонента доктора технических наук по специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий, доцента, профессора кафедры «Технологии и оборудование машиностроения» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет» **Таранцева Константина Валентиновича**. В отзыве отмечены актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, а также достоверность полученных данных и общий обзор работы. Отзыв положительный. Имеются следующие вопросы и замечания:

1. В диссертационной работе нет информации о том, какую погрешность дает предложенная автором методика определения осмотического давления разделяемого раствора у поверхности мембраны, что затрудняет понимание границ ее применения.

2. В работе используются диффузионный критерий Нуссельта и диффузионный критерий Прандтля, в то время как чаще применяются критерии Шервуда и Шмидта.

3. Автор использует термин «слой связанных с мембраной компонентов». В курсе процессов и аппаратов более привычным является термин «адсорбционный слой». Это полные синонимы или автор использует свой термин с целью подчеркнуть какие-то особенности изучаемых процессов? Что понимается под «квазиадсорбционным слоем» (рис. 2.2)?

4. На рисунке 2.5 «Теоретическая зависимость осмотического давления раствора исследуемого моющего средства «Адажио» от его концентрации» приведена явно экспериментальная, а не теоретическая зависимость.

5. В диссертационной работе автор использует термин «толерантный», тогда как более привычным является термин «доверительный». С какой целью автор использует данный термин?

6. В пункте «4.5.6 Оценка показателей производительности обратноосмотических мембран РМЗЗК подтверждена закономерность «фильтрация с образованием осадка» при очистке воды от моющего средства и загрязнений». Зачем использовать полупроницаемую мембрану не по прямому назначению? Может быть лучше предварительно проводить очистку от твердых частиц на «предфильтре» Ф1 (рис. 5.3)?

7. К использованию размерностей в диссертационной работе у оппонента особых претензий нет, однако считаю необоснованным использование «атмосфер» вместо «Паскалей».

Несмотря на сделанные замечания, оппонент считает диссертационную работу завершенной научно-квалификационной работой, в которой рассмотрена одна из важных технических проблем и решена новая научно-техническая задача организации замкнутого водоснабжения с регенерацией воды методом обратного осмоса и степенью замкнутости по воде 97-98%.

В заключении указано, что представленная к защите диссертация Сальникова Николая Александровича на тему «Мембранная очистка санитарно-гигиенической воды в замкнутой системе водообеспечения» является законченной научно-квалификационной работой, которая по актуальности, научной новизне, практической значимости, объему, содержанию, количеству публикаций удовлетворяет требованиям к кандидатским диссертациям, соответствует пунктам «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (с последующими изменениями и дополнениями), Положению о порядке присуждения ученых степеней в РХТУ им. Д.И.

Менделеева и Положению о диссертационном совете РХТУ им. Д.И. Менделеева, а автор диссертации – Сальников Николай Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий».

3. Отзыв ведущей организации – ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет». В отзыве отмечены актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, а также достоверность полученных данных и общий обзор работы. Отзыв положительный. Имеются следующие вопросы и замечания:

1. При рассмотрении поляризованного слоя на мембране предполагается постоянство его толщины за счет динамического равновесия конвективных и диффузионных процессов. Это возможно, если конвективный поток вещества на мембрану, определяющий скорость фильтрации воды через нее, сопоставим с диффузионным потоком примесных частиц от поверхности мембраны в ядро потока. В этом случае скорость протока жидкости через мембрану существенно меньше полученных экспериментальных данных по производительности мембраны. Проводились ли автором соответствующие оценки?

2. Автор оценивает движущую силу массопереноса воды через мембрану как разность давления в канале и осмотического давления разделяемого раствора при выбранных концентрациях испытуемых веществ. Согласно данным, приведенным на рис. 2.4 и 2.5 при выбранных максимальных концентрациях примесей осмотическое давление составляет порядка 0,6 МПа, тогда как рабочее давление в канале принималось равным 0,8 МПа. Такого перепада давлений достаточно для обеспечения требуемой скорости массопереноса при обратном осмосе, поскольку требуется еще и преодоление сопротивления мембраны?

3. В табл. 2.1 и 3.1 приведены качественные физико-химические показатели и химический состав сточных вод. Однако, в работе отсутствуют ссылки на нормативную методическую документацию, согласно которой эти параметры и концентрации примесных веществ определялись.

4. Почему автор в работе отдал предпочтение мембранам рулонного типа, а не половолоконным, хотя последние из-за их сравнительно малого веса представляются более предпочтительными для доставки в космос?

5. Количество литературных источников, анализируемых в диссертационной работе, было бы полезно несколько увеличить. В частности, в диссертации для описания работы мембраны используется так называемый механистический подход, основанный на представлении ее как фильтрующей перегородки. В то же время, например, в работах С.Ф. Тимашева (ссылка на работы этого автора явно недостаточно) рассмотрены и другие физико-химические механизмы мембранного разделения.

6. Непонятно, зачем в работе потребовалось использование подзаголовков до четвертого уровня, но если это сделано, почему они не вынесены в оглавление? Зачем потребовалось в выводах использовать подпункты, которые, по сути, являются полноценными отдельными выводами?

В заключении отмечено, что диссертационная работа Сальникова Н.А. на тему «Мембранная очистка санитарно-гигиенической воды в замкнутой системе водообеспечения» полностью соответствует требованиям п. 2.1 «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева». Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения и разработки, направленные на повышение эффективности обратноосмотических процессов регенерации воды в замкнутом цикле санитарно-гигиенического водообеспечения, имеющие существенное значение для развития страны. Автор работы Сальников Николай Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 –

Процессы и аппараты химических технологий. Отзыв рассмотрен, обсужден и одобрен на заседании кафедры «Процессы и аппараты химических технологий имени Н.И. Гельперина» ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет» (Протокол № 4 от «24» ноября 2021 г.). Отзыв подписан доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой «Процессы и аппараты химических технологий имени Н.И. Гельперина» ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет» Вязьминим Андреем Валентиновичем, утвержден Первым проректором ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет», доктором химических наук, профессором Прокоповым Николаем Ивановичем.

4. Отзыв на автореферат доктора технических наук, лауреата Государственной премии СССР, начальника НИЛ МОиПК – главного научного сотрудника ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» **Крючкова Бориса Ивановича** и кандидата технических наук, старшего научного сотрудника, ведущего научного сотрудника отдела ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» **Дедкова Дмитрия Кузьмича**. Отзыв положительный. Отмечены следующие недостатки:

1. На стр. 4 утверждается, что в работе «Показана эффективность применения низконапорного обратного осмоса для регенерации воды...» на ПКК. Однако, на самом деле, в диссертации оценивание эффективности, как свойства, характеризующего приспособленность предлагаемых процессов к достижению цели ПКК, не проводилось. Даны лишь некоторые оценки экономических эффектов.

2. Не приведены сравнительные оценки предлагаемой системы и соответствующих зарубежных разработок для ПКК.

3. Предложения по использованию методов мембранной очистки воды на основе низконапорного обратного осмоса рассмотрены только в отношении орбитальных околоземных ПКК. Не ясно отношение автора к возможности развития данной технологии для будущих лунных баз и межпланетных ПКК.

5. Отзыв на автореферат кандидата технических наук, руководителя Научно-технического центра «Системы терморегулирования и жизнеобеспечения, бортовые пневмогидравлические системы» ПАО «РКК «Энергия» **Железнякова Александра Григорьевича**. Отзыв положительный. Отмечены следующие недостатки:

1. Отсутствует методика оценки экономического эффекта от регенерации СГВ на борту МКС, что не позволяет понять, учтены ли в ней прогнозируемые ресурсные показатели сменного оборудования и потребности в их доставке.

Указанное замечание не влияет на общий результат диссертационной работы, которая выполнена на высоком научно-техническом уровне и имеет высокое практическое значение.

6. Отзыв на автореферат Почетного химика РФ, кандидата технических наук, Главного конструктора по направлению - начальника отдела химии и новых химических технологий АО «Корпорация «Росхимзащита» **Ферапонтова Юрия Анатольевича**. Отзыв положительный. Отмечены следующие замечания:

1. В автореферате ничего не говорится о том, какими веществами может загрязняться атмосфера герметичного обитаемого объекта в результате проведения очистки воды предложенным методом.

2. Графические зависимости с большим количеством информации под рисунками в автореферате сложны для восприятия представленных данных.

В качестве пожелания рецензент предложил автору рассмотреть возможность более широкого практического применения полученных в диссертационной работе результатов для очистки жидких фаз на основе воды.

Тем не менее, выявленные в процессе рассмотрения автореферата замечания не влияют на положительную оценку работы, которая выполнена на хорошем научном уровне и содержит все необходимые разделы.

7. Отзыв на автореферат кандидата технических наук, менеджера проекта АО «МХК «ЕвроХим» **Митина Александра Константиновича**. Отзыв положительный. Отмечены следующие вопросы и замечания:

1. Определены ли границы использования предложенной методики расчета для высокопроизводительных систем водоподготовки химических предприятий? Планируются ли дальнейшие работы по масштабированию полученных закономерностей и предложенных технических решений?

2. Проводилась ли автором проверка полученных результатов исследования и сравнение методики расчета с уже известными расчетными системами обратноосмотических установок, например, ROSA от компании DOW Chemical?

3. По тексту автореферата используются введенные автором аббревиатуры и сокращения, но не приведен перечень принятых сокращений, что затрудняет восприятие текста автореферата.

Указанные замечания не снижают значимости настоящей диссертационной работы. Результаты, полученные автором диссертации, представляют как научный, так и практический интерес для химической и смежных отраслей промышленности и могут быть использованы при совершенствовании и модернизации систем оборотного водоснабжения предприятий.

8. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, начальника отдела систем водообеспечения АО «НИИхиммаш» **Бобе Леонида Сергеевича**. Отзыв положительный. Существенных замечаний по автореферату не имеется. Отзыв также подписан Главным конструктором АО «НИИхиммаш» Кочетковым Алексеем Анатольевичем.

9. Отзыв на автореферат кандидата химических наук, начальника ЦЗЛ АО «РМ Нанотех» **Вдовина Павла Альбертовича**. Отзыв положительный. Существенных замечаний по автореферату не имеется.

10. Отзыв на автореферат кандидата технических наук, доцента кафедры «Экология, системы жизнеобеспечения и безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» **Белявского Александра Евгеньевича**. Отзыв положительный. Отмечено следующее замечание:

1. В автореферате следовало бы уделить больше внимания использованию предложенной схемы очистки воды для наземного применения.

Указанное замечание не снижает теоретической и практической значимости работы.

11. Отзыв на автореферат Главного технолога химического производства ООО «АГАТ-АВТО ЮГ» **Ивановой Александры Андреевны**. Отзыв положительный. Существенных замечаний по автореферату не имеется, но отмечено, что часть подрисовочных надписей перегружена, что затрудняет восприятие информации. Однако это не влияет на общее понимание результатов диссертационной работы.

На все замечания Сальниковым Николаем Александровичем даны полные и исчерпывающие ответы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью, достижениями в научных исследованиях с близкой тематикой, наличием у оппонентов и ведущей организации публикаций в рецензируемых журналах и их высоким профессиональным уровнем.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

получены новые научные данные в части разделения растворов сложного состава, содержащих низкомолекулярные органические вещества, с применением метода обратного осмоса, реализуемого при значениях давления, не превышающих 1-1,5 МПа;

решена новая научно-техническая задача регенерации воды методом обратного осмоса с высоким коэффициентом извлечения чистой воды в замкнутом цикле санитарно-гигиенического водообеспечения;

доказана адекватность физической модели процесса массопереноса моющего средства в напорном канале обратноосмотического аппарата.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

предложены и апробированы режим и система регенерации воды из растворов сложного состава, содержащих низкомолекулярные органические вещества, при ранее не исследованных рабочих давлениях (до 1 МПа) и степенях концентрирования загрязняющих органических компонентов в 50 раз с обеспечением степени извлечения (возврата) воды 97...98% при селективности разделения более 99%. Способ и устройство обратноосмотической очистки санитарно-гигиенической воды защищены патентами РФ;

выявлено, что при очистке воды от моющего средства осмотическое давление разделяемого раствора у поверхности мембраны определяется слоем связанных с мембраной компонентов моющего средства, что учтено при разработке физической модели процесса транспорта растворителя.

показана ранее не исследованная возможность использования аналогии между массообменом и теплообменом при расчете внешнего массопереноса в каналах мембранной аппаратуры при числах Льюиса $Le = 80...110$, и определена поправка в виде функции $f(Le) = Le^n$, учитывающая различия коэффициентов переноса и, соответственно, диффузионного и теплового чисел Прандтля.

разработана методика оценки осмотического давления раствора у поверхности мембраны и движущей силы процесса обратного осмоса, основанная на использовании паспортных характеристик мембраны (коэффициента проницаемости) и фактической производительности аппарата.

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

показана эффективность применения низконапорного обратного осмоса для регенерации санитарно-гигиенической воды в условиях работы на космической станции при использовании общепринятых моющих средств;

разработана методика расчета производительности обратноосмотического аппарата при высоких степенях извлечения воды и стремящейся к 100% селективности, основанная на использовании аналогии между массообменом и теплообменом и учитывающая взаимодействие разделяемого раствора с материалом мембраны. Разработанная методика принята АО «НИИХиммаш» к использованию при проектировании обратноосмотической аппаратуры;

разработан и испытан прототип системы регенерации санитарно-гигиенической воды, который показал свою эффективность при высокой степени извлечения воды и малом энергопотреблении и является основой для проектирования перспективных систем регенерации санитарно-гигиенической воды.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

использование автором современных научно-исследовательских методов и поверенных приборов;

обоснованность результатов исследований, которая подтверждается соответствием данных, полученных в результате эксперимента, общепринятым теоретическим положениям;

проведение обработки экспериментальных данных при помощи ЭВМ в среде MathCAD и с помощью программ, написанных на языке программирования Python.

Личный вклад соискателя состоит во включенном участии на всех этапах процесса, самостоятельном планировании и проведении экспериментов, непосредственном участии соискателя в испытаниях прототипа системы регенерации санитарно-гигиенической воды, разработке математического описания и физической модели процесса массопереноса

моющего средства в напорном канале обратноосмотического аппарата; в личном участии в апробации результатов исследования, обработке и интерпретации полученных результатов исследований, выполненных лично автором или при участии автора, а также в подготовке основных публикаций по выполненной работе.

На заседании диссертационного совета РХТУ.05.06 РХТУ им. Д.И. Менделеева 16 декабря 2021 года принято решение о присуждении ученой степени кандидата технических наук Сальникову Николаю Александровичу.

Присутствовало на заседании – 12 членов диссертационного совета,
в том числе в режиме видеоконференции – 6 ,
в том числе докторов наук по научной специальности, отрасли науки рассматриваемой диссертации – 5 .

При проведении голосования члены диссертационного совета по вопросу присуждения ученой степени проголосовали:

Результаты тайного голосования:

«за» – 6 ,

«против» – нет ,

«воздержались» – нет .

Проголосовали 6 членов диссертационного совета, присутствовавшие на заседании в режиме видеоконференции:

«за» – 6 ,

«против» – нет ,

«воздержались» – нет .

Итоги голосования:

«за» – 12 ,

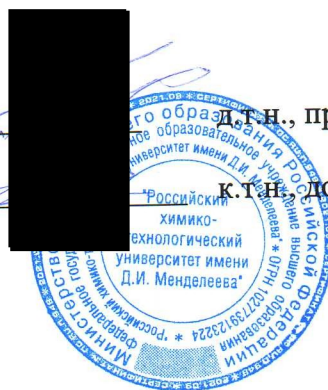
«против» – нет ,

«воздержались» – нет .

Председатель диссертационного совета _____

Ученый секретарь диссертационного совета _____

Дата «16» декабря 2021 г.



Д.т.н., профессор Глебов М.Б.

к.т.н., доцент Женса А.В.