

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
**САЛЬНИКОВА НИКОЛАЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА**  
на тему: «**Мембранная очистка санитарно-гигиенической воды в замкнутой системе водообеспечения**»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

В диссертационной работе Сальникова Н.А. решаются актуальные задачи, связанные с обеспечением экономии ресурсов путем организации замкнутого водообеспечения. В частности, решена задача создания замкнутого цикла санитарно-гигиенической воды на космической станции, в котором выбран и применен метод обратного осмоса, учтены условия проведения процесса при жестких требованиях по максимальному возврату воды в систему водообеспечения. В условиях длительных космических полетов проблема сохранения пресной воды является особенно острой и полученные результаты могут способствовать расширению применения мембранных методов очистки воды не только в данной отрасли, но в других отраслях народного хозяйства. По указанным выше причинам диссертационная работа Сальникова Н.А., посвященная разработке мембранной очистки санитарно-гигиенической воды в замкнутой системе водообеспечения, является актуальной и своевременной.

В рамках диссертационной работы была **поставлена и достигнута цель**, состоящая в решении задачи регенерации воды методом обратного осмоса с высоким коэффициентом возврата воды.

**Научная новизна диссертационной работы** состоит в том, что рассмотрен процесс концентрирования многокомпонентных растворов, содержащих ПАВ, методом обратного осмоса при низких значениях давления в аппарате, которое не превысило 1 МПа, при этом степень замкнутости контура водоснабжения составила 97-98%. Способ и устройство для осуществления процесса очистки запатентованы.

В ходе исследований автор выявил влияние адсорбции растворенных веществ на производительность аппарата и учел это явление в методике расчета. Для расчета аппарата обратного осмоса автор использовал аналогию между массообменом и теплообменом и показал возможность ее применения при анализе массообмена в аппарате обратного осмоса в диапазоне чисел Льюиса от 80 до 110. Для учета



значительной разницы между числами Прандтля и Шмидта автором введена поправка в виде функции от числа Льюиса.

Оценка осмотического давления у поверхности мембраны проводилась по разработанной автором методике, в которой использованы паспортные характеристики мембраны и экспериментальные данные по производительности.

**Практическая значимость диссертационной работы** заключается в разработанной и внедренной в промышленность методике расчета производительности обратноосмотического аппарата, а также в подтвержденной эффективности предложенной схемы очистки воды при использовании реальных сточных вод и проведении испытаний на прототипе системы регенерации воды. Результаты диссертационной работы внедрены в АО «НИИхиммаш», где используется разработанная автором методика расчета производительности обратноосмотического аппарата при проектировании системы регенерации воды, и используются при обучении студентов Московского авиационного института на базе АО «НИИхиммаш».

Диссертационная работа построена традиционным образом: введение, пять глав с описанием и обсуждением полученных результатов, основные результаты и выводы, список литературы и приложения. Работа изложена на 162 страницах, включая 49 рисунков и 38 таблиц.

**Во введении** обосновывается актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, охарактеризована научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** обсуждаются способы очистки воды от низкомолекулярных нелетучих органических веществ, рассмотрено замкнутое регенерационное водообеспечение на космических станциях, показана его специфика и необходимость использования процессов и аппаратов химической технологии для проведения регенерации воды на таких объектах. Сделан обзор систем регенерации воды для космических станций. Обоснован выбор обратного осмоса в качестве основного процесса очистки санитарно-гигиенической воды, подробно рассмотрены конструкции мембранных аппаратов и факторы, влияющие на разделяющую способность обратноосмотических мембран. Обоснована необходимость проведения исследований процесса обратного осмоса и сформулированы задачи работы.



**Во второй главе** автором предложен способ и схема регенерации воды с коэффициентом извлечения воды 97-98%, рассмотрена физическая модель процесса обратноосмотической очистки при условии взаимодействия растворенных веществ с материалом мембраны (адсорбции) и без него. Для оценки проявления концентрационной поляризации автором использована аналогия между массообменом и теплообменом для расчета концентрации у поверхности мембраны. В результате экспериментальной проверки возможности применения данной аналогии для расчета мембранных аппаратов автором показана необходимость введения дополнительной поправки в виде функции от числа Льюиса.

Разработана методика определения перепада давления на мембране и осмотического давления разделяемого раствора у поверхности мембраны, которая позволяет оценивать проявление концентрационной поляризации в промышленном аппарате, используя только паспортную проницаемость мембраны и фактическую производительность аппарата. Проведена оценка осмотического давления модельных растворов и предложен подход к оценке ресурса мембранных аппаратов.

**В третьей главе** описаны экспериментальные установки, изложены методики проведения и обсуждены результаты экспериментов на модельных растворах, проведена оценка погрешностей измерений. Эксперименты на модельных растворах подтвердили возможность применения аналогии между массообменом и теплообменом к расчету массопереноса в каналах мембранных аппаратов. Соотнося данные по производительности обратноосмотического аппарата при очистке водных растворов моющих средств и учитывая ранее полученные результаты экспериментов, автор обнаружил образование слоя связанных с мембраной компонентов моющего средства, который оказывает основное сопротивление транспорту воды через мембрану, повышая осмотическое давление на ее границе. Он вывел эмпирические соотношения, которые позволяют учитывать связывание компонентов моющего средства с материалом мембраны и использовал их при создании методики расчета производительности обратноосмотического аппарата.

**В четвертой главе** обсуждаются результаты экспериментов на промышленных сточных водах при использовании прототипа системы регенерации воды, проводится оценка эффективности предложенной автором схемы очистки воды. По результатам экспериментов автор подтвердил, что при очистке промышленных сточных вод и концентрировании загрязнений наблюдается



значительное снижение производительности обратноосмотических модулей, а проведение предварительной очистки позволяет продлить их ресурс. Также показано, что после проведения доочистки фильтрата качество регенерированной воды удовлетворяет требованиям ГОСТ. При обработке экспериментальных данных автором подтверждено, что отбор воды через мембрану осуществляется по закону фильтрования с образованием осадка. Рассчитаны константы фильтрования для модельных растворов и реальных сточных вод. Показано, что наличие дополнительных загрязнений органического и минерального происхождения в санитарно-гигиенической воде снижает ресурс исследуемых мембранных модулей в 3 раза.

**В пятой главе** предложена принципиальная схема системы регенерации санитарно-гигиенической воды для космической станции, эффективность которой подтверждена экспериментально. Проведена экономическая оценка внедрения системы регенерации санитарно-гигиенической воды на международной космической станции, которая показала, что оборудование для проведения водных процедур, и разработанная система регенерации воды окупятся через 1,5-2 года эксплуатации на МКС, а последующий экономический эффект от снижения доставок грузов может достигать 6,5 млн. долларов США в год. Предложены направления возможного применения разработанного процесса и схемы системы регенерации воды в промышленности, коммунальном хозяйстве и в быту.

**В приложениях** приводятся данные экспериментов, расчеты, программный код на языке программирования Python, на котором реализована предложенная в диссертации методика расчета производительности аппарата, приложена копия акта внедрения результатов диссертационной работы.

По материалам диссертационных исследований опубликовано 20 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах из реферативной базы данных SCOPUS, 1 статья в журнале, рекомендованном ВАК, 4 статьи в прочих рецензируемых журналах по тематике внедрения результатов работы. Сальников Н.А. является соавтором патентов на изобретение и полезную модель. Опубликованные Сальниковым Н.А. работы как самостоятельно, так и в соавторстве, полностью отражают содержание диссертационной работы. Результаты диссертационных исследований обсуждались на ряде российских и международных конференций.



Полученные в диссертации результаты согласуются с теоретическими положениями. Для получения экспериментальных данных использовались поверенные измерительные приборы, для обработки результатов – современные программные комплексы. Выводы, сделанные в работе, логичны и обоснованы.

Автореферат и опубликованные соискателем печатные работы в полном объеме отражают основные положения диссертационной работы, соответствуют ее содержанию и задачам исследования, раскрывают положения ее научной новизны. Объем автореферата достаточен для понимания существа проведенных исследований, материал оформлен в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Тем не менее по диссертационной работе 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 «адсорбированный слой». Это полные синонимы или автор использует свой термин с целью подчеркнуть какие-то особенности изучаемых процессов? Что понимается под «квaziадсорбционным 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 подтвердила 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 не обоснованным использование «атмосфер» вместо «Паскалей».

Несмотря на сделанные замечания, считаю, что диссертационная работа Сальникова Н.А. является 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%.

Диссертация Сальникова Н.А. на тему «Мембранная очистка санитарно-гигиенической воды в замкнутой системе водообеспечения» **удовлетворяет критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук и соответствует паспорту специальности 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий», а именно следующим областям исследований «Способы, приемы и методология исследования гидродинамики движения жидкости, газов, перемещения сыпучих материалов, исследование тепловых процессов в технологических аппаратах и технологических схемах, исследования массообменных процессов и аппаратов.», «Методы изучения и создания ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности, обеспечивающие минимизацию отходов, газовых выбросов и сточных вод».**

По результатам рассмотрения диссертационной работы необходимо отметить, что автором проведена большая работа. Вклад автора в диссертацию, по моему мнению, состоит в анализе и выборе требуемых процессов регенерации воды, планировании экспериментов, монтаже экспериментальных установок, проведении экспериментальных исследований, обработке экспериментальных данных, в том числе с использованием современных программных комплексов, обобщении результатов и формулировании выводов, внедрении результатов исследований. Также необходимо отметить, что автор дополнил разработанную методику расчета производительности аппарата программой для проведения



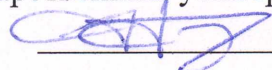
автоматического расчета, написанной автором на современном языке программирования Python.

### Заключение

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».

Официальный оппонент:

Доктор технических наук по специальности 05.17.08 - Процессы и аппараты химических технологий, доцент, профессор кафедры «Технологии и оборудование машиностроения» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»,

 Таранцев К.В.

Сведения о лице, представившем отзыв:

Ф.И.О.: Таранцев Константин Валентинович, e-mail: kvtar@bk.ru,

раб. тел.: +7 (8412) 368-224

Полное название организации: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет», (г. Пенза)

Почтовый адрес: 440026 г. Пенза, ул. Красная, д. 40

Телефон: (8412) 66-60-01 (приемная)

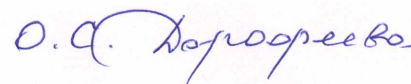
Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <https://www.pnzgu.ru//>

Адрес электронной почты: [rector@pnzgu.ru](mailto:rector@pnzgu.ru)

Собственноручную подпись Таранцева К.В. удостоверяю:

Ученый секретарь ученого совета





26.11.2021