

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Сальникова Николая Александровича «Мембранная очистка санитарно-гигиенической воды в замкнутой системе водообеспечения», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

Актуальность темы диссертации

В настоящее время мембранная технология охватывает все больше сфер промышленности и является перспективным направлением совершенствования процессов и аппаратов химической технологии. В связи с необходимостью повышения эффективности проводимых мембранных процессов представляет интерес изучение экстремальных условий эксплуатации мембранных аппаратов, поведения мембран при высоких концентрациях растворенных веществ в разделяемых растворах. Данная проблема была рассмотрена и применена к задаче регенерации санитарно-гигиенической воды Сальниковым Н.А. в его диссертации.

Цель работы

Целью диссертационного исследования Сальникова Н.А. было решение задачи регенерации воды методом обратного осмоса с высоким коэффициентом извлечения (возврата) чистой воды в замкнутом цикле санитарно-гигиенического водообеспечения.

Научная новизна диссертации

В диссертации Сальниковым Н.А. проведены исследования наиболее «нагруженных» режимов работы обратноосмотической аппаратуры, что

представляет интерес для расширения возможностей применения мембранных методов разделения и позволяет проводить прогнозирование поведения мембранной аппаратуры при высоких степенях концентрирования разделяемых растворов. Так, в диссертационной работе в ходе экспериментов получены ранее неизвестные данные по обратноосмотическому разделению водных растворов моющих средств при значительном концентрировании моющего средства в разделительном контуре в ходе замкнутой циркуляции разделяемого раствора через аппарат с рулонным модулем. Предложен подход к оценке концентрационной поляризации в каналах мембранных модулей с использованием аналогии между массообменом и теплообменом. Введена поправка, учитывающая значительные отличия (в 80-110 раз) чисел Прандтля и Шмидта.

Экспериментальные данные получены с использованием поверенных приборов, а сделанные выводы достаточно обоснованы и согласуются с теоретическими положениями.

Практическая значимость диссертации

Практическая значимость диссертационной работы заключается в расширении области внедрения мембранных процессов разделения на смежные отрасли техники. В частности, предложена схема системы регенерации санитарно-гигиенической воды для космической станции, основанная на процессе обратного осмоса. Апробирован прототип системы регенерации воды, который показал свою эффективность при извлечении воды из растворов моющих средств со степенью замкнутости по воде до 98%. Автором предложена методика расчета производительности обратноосмотического аппарата, учитывающая выявленное в ходе экспериментов взаимодействие разделяемого раствора с мембраной и обеспечивающая учет влияния концентрационной поляризации на процесс мембранного разделения.

В настоящее время разработанная Сальниковым Н.А. методика используется при проведении расчетов производительности обратноосмотических аппаратов в Научно-исследовательском и опытно-конструкторском институте химического машиностроения, а также, применяется при обучении студентов в ходе прохождения практики на предприятии.

Общая характеристика диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы, включающего 79 источников, и пяти приложений, в том числе акт внедрения результатов исследований. Диссертация изложена на 162 страницах, содержит 49 рисунков и 38 таблиц. По материалам работы соискателем самостоятельно и в соавторстве опубликовано 20 печатных работ, в том числе 1 статья в журнале из перечня ВАК, 2 статьи в журналах, включенных в международную реферативную базу данных Scopus, 4 статьи в российских рецензируемых журналах. Соискатель является соавтором патентов на изобретение и полезную модель.

В первой главе проведено сравнение эффективности наиболее распространенных методов очистки воды от низкомолекулярных органических веществ, содержащихся в моющих средствах (МС). Проведен анализ разрабатываемых за рубежом и внедренных зарубежными коллегами систем регенерации воды для космических станций. По результатам литературного обзора для очистки санитарно-гигиенической воды (СГВ) обоснован выбор метода разделения, очистки и концентрирования – обратный осмос. Проведен анализ самого процесса и аппаратуры обратноосмотической очистки. Обоснована необходимость проведения исследований процесса обратноосмотической регенерации СГВ, сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе предложен способ и схема очистки СГВ для космической станции с коэффициентом извлечения воды 97-98% и селективностью до 99%, требующие апробации и экспериментальной

проверки. Рассмотрена физическая модель процесса обратноосмотической очистки с учетом взаимодействия (и без взаимодействия) компонентов разделяемого раствора с мембраной. Проведен анализ процесса массопереноса в каналах мембранного модуля. Проведенные эксперименты показали необходимость введения поправки $f_3(Le) = Le^{0,33}$ (для рулонных модулей) вследствие существенного различия в значениях чисел Прандтля и Шмидта.

Во второй главе также предложена методика определения перепада давления на мембране обратноосмотического аппарата, с помощью которой можно определить осмотическое давление раствора у мембранной поверхности. Предложен подход к оценке ресурса обратноосмотических модулей, который при разделении растворов моющих средств и замкнутости по воде 97-98% составил 10000 литров, для реальных сточных вод 3600 литров.

В третьей главе представлены схемы экспериментальных установок и методики проведения исследований; рассматриваются результаты экспериментов и расчетов массопереноса в напорных каналах аппарата при обратноосмотическом разделении модельных растворов NaCl и моющего средства; проводится оценка погрешностей измерений.

С использованием аналогии между массообменом и теплообменом показано, что при очистке модельных растворов NaCl методом обратного осмоса молекулярно-диффузионный отвод соли от поверхности мембраны при числах Рейнольдса (Re) в диапазоне от 10 до 130 не является лимитирующей стадией процесса транспорта растворителя через мембрану.

При исследовании регенерации водных растворов моющего средства (МС) выявлено наличие дополнительного сопротивления массопереносу – пограничного слоя связанных с мембраной компонентов МС. Показано, что слой связанных с мембраной компонентов МС оказывает основное сопротивление транспорту отбираемого через мембрану компонента раствора.

В ходе экспериментов выявлено, что при очистке растворов МС, рабочем давлении более 0,6 МПа и числах Re менее 50, заметно проявление концентрационной поляризации (КП). При этом, влияние данного явления на производительность аппарата гораздо меньше, чем сопротивление слоя связанных с мембраной компонентов МС. С учетом выявленных особенностей разработана методика для расчета производительности обратноосмотической аппаратуры.

В четвертой главе представлены результаты испытаний прототипа системы регенерации СГВ, которые подтвердили, что при очистке растворов МС и натурной СГВ методом низконапорного обратного осмоса, селективность мембраны РМ33К остается постоянной и составляет 98-99,8%, а степень извлечения чистой воды из сточной СГВ составила 0,97. Качество регенерированной воды соответствует требованиям нормативов.

В пятой главе описана разработанная схема системы обратноосмотической регенерации санитарно-гигиенической воды для космической станции и обозначены направления использования предложенных в диссертации процесса и системы регенерации воды. Проведена оценка экономического эффекта от введения водных процедур и системы регенерации СГВ на Международной космической станции, который составит до 6 миллионов долларов США в год.

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.

Соответствие диссертации предъявляемым требованиям

Диссертация Сальникова Н.А. соответствует паспорту специальности 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий» в части областей исследований «... 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». Необходимое количество публикаций у Сальникова Н.А. имеется, содержание публикаций достаточно полно отражает содержание диссертационной работы, результаты диссертационных исследований обсуждались на 14 российских и международных конференциях, оформление диссертации и автореферата выполнено в соответствии с требованиями, изложение диссертации выстроено логично, стиль написания можно признать хорошим. Содержание автореферата в полной мере отражает содержание диссертации. Диссертация Сальникова Н.А. соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней в РХТУ им. Д.И. Менделеева и Положением о диссертационном совете РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Заключение

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».

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой
«Мембранной технологии»
Российского химико-технологического
университета им. Д.И. Менделеева,
д.т.н., профессор
« 23 » 11 2021 г.

Каграманов Г.Г.

Каграманов Георгий Гайкович
Специальность ученой степени:
05.17.18 Мембраны и мембранная технология
125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9
Рабочий телефон: +7 (499) 978-82-60

Подпись Каграманова Г.Г. заверяю:

фенки секретари



(И.К. Каграманов)