



09 НОЯ 2018

№ 05-19/1 - 120

На №\_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке Уральского  
Федерального университета  
имени первого Президента

России Б.Н. Ельцина

В.В. Кружаев



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

Анисимова Сергея Игоревича

«Технико-экономическая оптимизация систем водоподготовки на основе обратного осмоса»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.17.18 – Мембранные и мембранные технологии

Диссертационная работа Анисимова Сергея Игоревича была выполнена на кафедре  
мембранных технологий Российского химико-технологического университета им. Д.И.  
Менделеева. Работа изложена на 132 страницах, содержит 45 рисунков, 10 таблиц, состоит из  
введения, шести глав, выводов и списка литературы, включающего 87 наименований.

Диссертационная работа посвящена разработке метода технико-экономической  
оптимизации систем водоподготовки на основе обратного осмоса. В связи реализацией в нашей  
стране проектов систем водоподготовки большой единичной мощности для подготовки  
глубоко-деминерализованной воды для нужд ТЭЦ и АЭС, вопросы технико-экономической  
оптимизации, направленные на выбор экономичных режимов эксплуатации таких систем и  
оценки затрат на их реализацию, становятся актуальными.

Во введении автор обосновывает актуальность темы исследования, степень  
разработанности темы, формулирует и обосновывает научную новизну теоритическую и  
практическую значимость.

В первой главе автор подвергает критическому анализу известные методы технико-экономической оптимизации и математические модели обратного осмоса, лежащие в их основе. На основании литературного обзора сформулирована цель и задачи работы, заключающиеся в исследовании особенностей массопереноса электролитов через обратноосмотическую мембрану в области разбавленных растворов, корректировке уравнений математической модели обратного осмоса и разработке метода технико-экономической оптимизации.

Вторая глава посвящена описанию методического оснащения проведенных исследований. В главе приведены используемые материалы, оборудование и реактивы. Достоверность полученных результатов обеспечивается применением современных методов химического анализа. Автором были разработаны экспериментальный стенд и методика определения характеристик массопереноса электролитов через обратноосмотическую мембрану в области разбавленных разделяемых растворов.

Третья глава посвящена обсуждению результатов экспериментов. На основе полученных данных автором предложено уравнение потока электролита через мембрану в области разбавленных разделяемых растворов и определен передел осуществления процесса обратного осмоса, а также приведена гипотеза, объясняющая отмеченные особенности массопереноса.

В четвертой главе предложено математическое описание обратного осмоса на основе уравнений модели «растворение-диффузия». Уравнение переноса ионов было дополнено аддитивной составляющей, которая характеризуется свойствами мембранны и суммой чисел гидратации катиона и аниона электролита. Предложенная система уравнений позволяет рассчитывать селективность при разделении многокомпонентных разбавленных растворов электролитов. Адекватность модели подтверждается соответствие расчетных и экспериментальных данных на примере многокомпонентного раствора.

Пятая глава посвящена разработке метода технико-экономической оптимизации систем водоподготовки на основе обратного осмоса. Автором предложен алгоритм технико-экономической оптимизации, позволяющий осуществлять выбор режимов эксплуатации и структурной организации стадии обратного осмоса в системах водоподготовки, производить расчет капитальных, энергетических затрат и себестоимости очищенной воды. В главе представлено описание компьютерной программы, реализующей предложенный метод.

В шестой главе приведен пример апробации компьютерной программы при разработке двух систем водоподготовки на основе обратного, принципиальным отличием которых являются диапазоны концентраций электролитов, обусловленные сферами применения и нормативными требованиями: При анализе аванпроекта станции орошения прибрежной воды вблизи г. Евпатория производительностью 1000 м<sup>3</sup>/час произведен подбор оборудования, оценены капитальные и энергетические затраты, а также себестоимость орошаемой воды при двух

вариантах энергообеспечении опреснительной станции - с использованием традиционных и возобновляемых энергоресурсов. При расчете и проектировании мобильных установок подготовки деминерализованной воды для гемодиализа. В диссертации отмечается, что изготовлены и введены в эксплуатацию в 2016 году три мобильные установки, которые по настоящее время используются в отделении реанимации ГБУЗ г. Киров и в отделении гемодиализа г. Омутнинск.

Автор делает выводы, в достаточной мере обобщающие результаты экспериментальных исследований.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Предложено уравнение переноса электролита через мембрану, в области низких концентраций разделяемого раствора. Потока электролита определяется суммой чисел гидратации его катиона и аниона, а также константы, характеризующей селективные свойства мембранны.
2. Определен нижний предел осуществления процесса обратного осмоса, характеризующийся концентрацией для индивидуального электролита у поверхности композитной полиамидной мембранны, при которой ее селективность стремится к нулю. Концентрация выражена в виде зависимости от суммы чисел гидратации катиона и аниона данного сорта электролита и объемного потока пермеата и константы, характеризующей селективные свойства мембранны.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Разработан действующий прототип компьютерной программы расчета и оптимизации систем водоподготовки на основе обратного осмоса.
2. Приведены результаты оценочного расчета варианта станции опреснения прибрежных вод на основе обратного осмоса для обеспечения питьевой водой населения города Евпатория.
3. Изготовлены и внедрены три мобильные установки подготовки деминерализованной воды для гемодиализа.

Теоритическая значимость заключается в возможности применения полученных в диссертационной работе результатов эксперимента, уравнений и алгоритмов в учебных заведениях, в научных учреждениях, занимающихся прикладными исследованиями, производством мембран и мембранных модулей, а также в инженеринговых компаниях.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. При чтении текста диссертации обнаружены опечатки и грамматические ошибки: стр. 15 абзац-2; стр. 30 абзац-1; стр. 30 абзац-2; стр. 46 абзац-4.

2. Обозначения рабочего давления на странице 109 (рисунок 31) не соответствуют подрисуночной подписи, а также не приводится объяснение характера наблюдаемой зависимости.

3. На приведено масштабирование результатов экспериментов, полученных с помощью мембранных элемента 1812 с коротким напорным каналом на промышленные мембранные элементы 4040 и 8040 с протяженным мембранным каналом, что может быть связано с погрешностями.

4. В главе 2 приведены геометрические характеристики сепарирующей сетки элемента TW30 1812-75. Однако, аналогичные данные для других мембранных элементов, используемых в работе, отсутствуют.

5. При расчете и проектировании систем обратного осмоса с использованием предложенной автором математической модели, в качестве исходных данных необходимо 5 констант, характеризующих мембрану, три из которых рассчитываются из экспериментальных данных. Считаю целесообразным эти константы привести в виде таблиц или номограмм для используемых в промышленности мембран.

Вышеперечисленные замечания носят непринципиальный характер и не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы Анисимова Сергея Игоревича «Технико-экономическая оптимизация систем водоподготовки на основе обратного осмоса», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.18 Мембранные и мембранные технологии.

В целом диссертация Анисимова Сергея Игоревича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно, в которой приведены теоретические положения, научные и практические результаты, соответствующие целям и задачам исследования. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Результаты исследования опубликованы в 5 научных журналах, 2 из которых включены в список рецензируемых изданий ВАК Министерства образования и науки РФ и представлены на двух научно-практических конференциях. Диссертация последовательно изложена, и в достаточной мере снабжена иллюстрациями.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности научных работников 05.17.18 – Мембранные и мембранные технологии в пунктах:

Пункт 2: «Теория мембранных процессов, механизмы переноса компонентов через мембранные различной природы. Кинетика мембранных транспорта».

Пункт 4: «Технологические схемы с применением мембранных процессов, их экономическое и экологическое обоснование».

Пункт 7: «Методы расчета и оптимизация режимов работы мембранных аппаратов и систем с целью улучшения конструкции аппаратов и повышения эффективности их работы. Изучение особенностей мембранных систем, таких как концентрационная поляризация, и методов борьбы с этим явлением».

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Анисимов Сергей Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.18 – Мембранные и мембранные технологии.

Отзыв на диссертационную работу Анисимова Сергея Игоревича «Технико-экономическая оптимизация систем водоподготовки на основе обратного осмоса» заслушан, и одобрен на заседании кафедры Водного хозяйства и технологии воды (протокол № 11 от 08 ноября 2018 г.).

Доктор технических наук, профессор,  
Заведующий кафедрой  
Водного хозяйства и технологии воды  
ФГАО ВО «Уральский федеральный  
университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина»  
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19.  
Телефон/факс: +7(343)375-44-74;  
Официальный сайт: <http://urfu.ru/>

Евгений Васильевич Мигалатий

Подпись Е.В. Мигалатия удостоверяю,  
Ученый секретарь ФГАОУ ВО  
«Уральский федеральный  
университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина»



Наталья Николаевна Озерец