

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора химических наук, доцента Плиско Татьяны Викторовны

на диссертационную работу Хтет Аунг на тему

**«Разработка технологии получения воды питьевого качества из
подземных источников Мьянмы»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.6.15 – Мембраны и мембранная технология
(технические науки)

Актуальность исследования.

Мембранные процессы разделения смесей веществ широко используются в высокотехнологичных производствах в пищевой, фармацевтической, биотехнологической отраслях промышленности для очистки биологических сред и медицинских препаратов, фракционирования, очистки и концентрирования растворов синтетических и природных высокомолекулярных соединений, коллоидов, вирусов, для осветляющей и стерилизующей фильтрации. Кроме того, мембранные технологии представляют собой одно из наиболее эффективных решений мировой проблемы нехватки чистой и питьевой воды и очистки сточных вод, отвечающее требованиям концепции «устойчивого развития». Диссертация посвящена актуальной задаче разработки технологии очистки подземных вод Республики Союза Мьянма до уровня питьевого качества с применением баромембранных процессов (ультрафильтрация и обратный осмос). Проблема обеспечения населения Мьянмы безопасной питьевой водой сохраняет высокую социальную и экологическую значимость. Учитывая особенности гидрохимического состава подземных вод региона (повышенные концентрации железа, марганца, кальция, магния и натрия), применение интегрированных мембранных технологий (ультрафильтрация и обратный осмос) представляется перспективным и научно обоснованным направлением.

Автором проведён комплексный анализ литературы по вопросам состава и источников загрязнения природных вод в Республике Союза Мьянма и методов очистки природных вод, на основании которого были выбраны перспективные процессы предподготовки воды (окислительная обработка) и очистки (ультрафильтрация и обратный осмос) для получения воды хозяйственно-бытового и питьевого назначения. Было установлено влияние условий проведения баромембранных процессов разделения на качество воды и эффективность очистки, на основании чего предложена технологическая схема очистки с применением совмещенных схем на основе ультрафильтрации и обратного осмоса, а также выполнено технико-экономическое обоснование предложенной технологии. Представленные в диссертации положения подтверждаются результатами лабораторных и опытных исследований, хорошо согласующимися с современными научными представлениями и практикой водоподготовки. Структура и логика изложения материала выдержаны, а выводы аргументированы и вытекают из полученных данных.

Научная новизна работы заключается в обосновании и разработке стадии предподготовки воды методом ультрафильтрации с применением предварительной окислительной обработки, обеспечивающей повышенную эффективность фильтрации. Получены новые экспериментальные и расчетные данные по очистке подземных вод Мьянмы с использованием ультрафильтрации и обратного осмоса, что позволило уточнить технологические особенности мембранных процессов. Установлено, что при совместном присутствии ионов железа и марганца в растворе наблюдаются конкуренция и электростатические взаимодействия, усиливающие эффект разделения за счёт синергетического взаимодействия.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработке методики расчета баромембранных установок с использованием полуволоконных мембран для ультрафильтрации и рулонных элементов для обратного осмоса. Обоснованы технические решения, позволяющие получать питьевую воду при конструктивной простоте систем и низких энергетических

затратах, при этом достигается высокая степень очистки, сопоставимая с результатами многостадийных технологий. Проведён технико-экономический анализ, демонстрирующий возможность снижения затрат при очистке солоноватых подземных вод за счёт применения совмещенной схемы УФ–ОО. Предложенная технология обеспечивает получение воды высокого качества при одновременном снижении ресурсо- и энергозатрат, что делает её перспективной для практического внедрения в системах водоподготовки.

Достоверность результатов работы подтверждена использованием воспроизводимых методик, применением адекватных расчётных моделей и воспроизводимостью экспериментов. Комплексный подход к исследованию, тщательная проработка экспериментальной части и публикация результатов в научных изданиях обеспечивают высокую степень достоверности полученных данных.

Содержание. Диссертация Хтет Аунг состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы 131 страница, включая 26 рисунков, 17 таблиц, библиографию из 115 наименований и приложение.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, определены научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимость, а также структура диссертации.

В **главе 1** представлен литературный обзор современных технологий водоочистки, с акцентом на мембранные процессы. Рассматриваются принципы работы ультрафильтрации и обратного осмоса, особенности очистки подземных вод, содержащих ионы железа, марганца, кальция, магния и натрия. Проанализированы литературные данные о физико-химических механизмах мембранного разделения, методы предварительной обработки воды, а также современные подходы к проектированию и расчёту баромембранных установок. На основе анализа литературы сформулированы направления для проведения собственных исследований.

В главе 2 изложены методические основы и описание экспериментальной части исследования. Приведена характеристика модельных растворов, имитирующих состав подземных вод Мьянмы, с указанием концентраций основных ионов (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+}). Подробно описаны методы подготовки растворов, схемы окислительной обработки, а также лабораторные установки и применяемые типы мембранных элементов для ультрафильтрации и обратного осмоса. Рассмотрены используемые аналитические методы контроля качества воды и мембранного разделения. Представлена методика проведения экспериментов, направленных на определение влияния давления, температуры и состава воды на рабочие характеристики мембранных процессов. Описан подход к оценке эксплуатационных характеристик мембран, в том числе удельной производительности и степени удаления ионов (селективности). Глава служит методологической основой для последующего анализа полученных результатов.

В главе 3 представлены и подробно проанализированы результаты экспериментальных исследований по очистке модельных растворов, состав которых соответствует подземным водам Республики Союз Мьянма. Рассмотрено влияние технологических параметров — давления, температуры, концентрационного состава — на рабочие характеристики мембранных процессов ультрафильтрации и обратного осмоса. Особое внимание уделено исследованию поведения ионов железа и марганца в двухкомпонентных системах: установлено, что при их совместном присутствии наблюдаются явления ионной конкуренции и электростатических взаимодействий, приводящие к синергетическому эффекту и повышению эффективности удаления. Представлены графические зависимости, характеризующие изменения удельной производительности и селективности по ионам металлов при различных условиях работы. Проведён анализ устойчивости мембран к загрязнению, а также эффективности обратной промывки и химической очистки, с обоснованием оптимальных режимов эксплуатации. Полученные

результаты служат основой для выбора рациональных технологических режимов очистки подземных вод и позволяют сформировать практические рекомендации для промышленного применения.

В главе 4 представлена разработанная технологическая схема очистки подземных вод с использованием комбинированной системы ультрафильтрации и обратного осмоса. Выполнены расчёты производительности установки, расхода воды и реагентов, энергопотребления, а также проведён технико-экономический анализ. Разработанная технология демонстрирует способность обеспечивать высокое качество очистки при экономичном расходе ресурсов, что подтверждает её применимость в реальных условиях.

В заключении автор подводит итоги проведённого исследования, формулирует основные выводы, подтверждающие достижение поставленных целей и задач.

Апробация работы. Диссертационная работа прошла достойную апробацию. Результаты исследования были представлены и обсуждены на нескольких профильных научных конференциях. Кроме того, основные результаты опубликованы в научных журналах, индексируемых в международных базах данных (Scopus, GeoRef и Chemical Abstracts), что свидетельствует о высокой степени проработки и достоверности проведённого исследования.

Замечания и рекомендации по диссертации:

1. В диссертационной работе встречаются не очень удачные выражения с лексической точки зрения, например, «ригидность крупных молекул» (с. 42), «инерционный удар» (с. 42), «Бикарбонат магния, присутствующий в воде, вызывает процесс осаждения только после длительного кипячения» (с. 28), «отторжение ионов» (с. 97).
2. На графике на рисунке 1.4 (с. 39-40) отсутствуют подписи оси ординат.

3. В литературном обзоре встречается не точная классификация, например, на с. 43 указано:

«Нанофильтрационные мембраны изготавливаются в виде плоских, спиральных, трубчатых и полых волокон», что неверно, так как определение «спиральный» относится к мембранным элементам, а не к мембранам.

4. В диссертационной работе не указана эффективная площадь фильтрации используемого ультрафильтрационного модуля (производитель ООО «Текон МТ», г. Москва, Россия); концентрации окислителей (гипохлорита натрия и перманганата калия), которые использовались для окисления ионов Fe^{2+} и Mn^{2+} в экспериментах по предварительной окислительной обработке воды; метод определения концентрации анионов (сульфата и хлорида) (таблица 3.6).

5. Обсуждение зависимости селективности обратноосмотического мембранного элемента по ионам натрия от температуры на с. 101 не согласуется с данными, представленными на рисунке 3.12.

Данные замечания не носят принципиального характера и не снижают научной и практической значимости проведённого исследования.

Заключение

Тематика диссертационной работы Хтет Аунг «Разработка технологии получения воды питьевого качества из подземных источников Мьянмы», применённые методы исследования, а также полученные результаты соответствуют паспорту научной специальности 2.6.15 – Мембраны и мембранная технология. Структура и содержание автореферата отражают основные положения диссертационного исследования.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ имени Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД. Соискатель Хтет Аунг заслуживает

присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15 – Мембраны и мембранная технология.

Диссертационная работа Хтет Аунг соответствует паспорту научной специальности 2.6.15. Мембраны и мембранная технология в п. 2. Теория мембранных процессов, механизмы переноса компонентов через мембраны различной природы. Кинетика мембранного транспорта, п. 4. Технологические схемы с применением мембранных процессов, их экономическое и экологическое обоснование, п. 5. Мембранные процессы очистки, извлечения (кондиционирования) жидких и газообразных энергоносителей из смесей их содержащих природного, биогенного и техногенного происхождения. Комбинированные и гибридные процессы мембранной технологии (сочетание мембранных процессов с другими процессами химической технологии: абсорбцией, адсорбцией, ректификацией, дистилляцией) и п. 6. Применение мембранных процессов в промышленности, охране окружающей среды и медицине, в том числе решение проблем водного хозяйства, разделения жидких и газовых смесей, выделения ценных или токсичных компонентов из сточных вод и газовых выбросов, использование процессов и устройств для поддержания жизнедеятельности человека.

Официальный оппонент

Заведующая лабораторией
мембранных процессов
Государственного научного учреждения
«Институт физико-органической химии
Национальной академии наук Беларуси»
д.х.н., доцент

Handwritten signature

Т. В. Плиско

Handwritten marks

05.06.2025

Контактная информация:

Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии
Национальной академии наук Беларуси»; 220072, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Сурганова, 13.

Тел./факс.: +375173782055; Моб. тел.: +375333025744

E-mail: [plis](mailto:plis@il.com)

il.com, plisko@ifoch.bas-net.by



7 *Handwritten signature*
plisko

Handwritten signature

Handwritten signature