



«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. проректора по научной
работе и инновациям
ФГБОУ ВО «КНИТУ»

Гильмутдинов И. М.

«05» июня 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ») на диссертационную работу Со Тхурейн на тему «Реагентно-мембранное разделение многокомпонентных водных растворов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15 – Мембраны и мембранная технология (технические науки)

Актуальность темы

Современные промышленные и экологические требования обуславливают необходимость разработки эффективных методов очистки и разделения многокомпонентных водных растворов. Проблема удаления жёсткости воды, вызванной присутствием солей кальция и магния, остаётся одной из наиболее значимых в области водоподготовки и ресурсосбережения.

Традиционные методы умягчения воды, такие как термическая обработка, химическое осаждение и ионообмен, обладают рядом существенных недостатков, включая высокие эксплуатационные затраты, образование вторичных отходов и ограниченную эффективность при повышенных концентрациях загрязняющих веществ. В связи с этим комбинированные технологии, сочетающие реагентные и мембранные методы, представляют собой перспективное направление, обеспечивающее высокую степень очистки, снижение расхода реагентов и увеличение срока службы мембранных систем.

Разработка и внедрение реагентно-мембранного метода разделения многокомпонентных водных растворов имеют важное значение не только для химической и нефтегазовой отраслей, но и для смежных сфер, связанных с очисткой и подготовкой воды. Исследование, представленное в данной диссертации, направлено на решение этих актуальных задач, что определяет его значимость как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Анализ содержания работы

В диссертационной работе всесторонне исследованы фундаментальные аспекты мембранных и реагентных процессов. Автором проведен комплексный анализ существующих технологий водоподготовки и

предложены инновационные подходы, обеспечивающие повышение селективности и эффективности разделения многокомпонентных систем. Теоретические разработки подтверждены результатами экспериментальных исследований, что гарантирует достоверность полученных научных данных. В работе подробно рассматриваются:

- Жесткость воды и влияние ее состава на технологические процессы;
- Различные методы умягчения воды, включая термические, реагентные, ионообменные и мембранные технологии;
- Проблемы, возникающие при разделении многокомпонентных растворов, в том числе флулинг мембран;
- Использование керамических и полимерных мембран для удаления солей жесткости;
- Перспективы комбинированного реагентно-мембранного подхода для повышения эффективности очистки воды.

Автор уделяет особое внимание влиянию различных факторов на процесс разделения, а также перспективам внедрения разработанных методов в промышленную практику. Полученные результаты демонстрируют, что предложенный подход позволяет значительно снизить эксплуатационные затраты и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Научная новизна и методология

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Установлено влияние инфракрасного облучения на стабилизацию заряда кристаллов при стехиометрическом соотношении реагентов;
- Доказано, что распределенное дозирование реагента через мембранный контактор с капиллярными элементами повышает степень выделения солей жесткости;
- Разработаны оптимальные гидродинамические параметры мембранного концентрирования золя, обеспечивающие стабилизацию функционирования пористых мембран при высоких концентрациях твердой фазы.

Методологическая часть включает подробное описание экспериментальных установок, аналитических методов, а также алгоритмов проведения исследований. В работе применяются современные методы анализа, включая титриметрический метод, атомно-абсорбционную спектроскопию и динамическое светорассеяние для определения размеров частиц.

Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением современных методов физико-химического анализа и подтверждена серией экспериментов, проведенных с использованием современного аналитического и технологического оборудования. Примененные методы исследований, включая спектрофотометрические и титриметрические анализы, соответствуют международным стандартам. Сопоставление экспериментальных данных с теоретическими расчетами подтверждает корректность методик и достоверность выводов.

Практическая значимость

Результаты работы могут быть полезны для предприятий нефте- и газодобывающей химической, нефтехимической, фармацевтической и других отраслей промышленности, связанных с переработкой многокомпонентных растворов. В частности, предложенные решения:

- Повышают эффективность удаления ионов жесткости без значительных затрат на реагенты;
- Способствуют продлению срока службы мембранных фильтров;
- Позволяют утилизировать концентраты солей жесткости в качестве минеральных удобрений;
- Могут быть применены для очистки водно-метанольных растворов, образующихся в газодобывающей отрасли.

Замечания и вопросы по работе:

1. В диссертации отсутствуют данные о долговечности мембран в рабочих условиях (стр.: 41–42, 128). Упоминается проблема загрязнения (стр. 41) и методы регенерации (стр. 128), но нет результатов длительных испытаний мембран при разделении водно-метанольных растворов. Критично знать, как часто требуется замена мембран и как их характеристики меняются со временем.
2. В диссертации предлагается утилизировать концентрат фосфатов кальция и магния в качестве минерального удобрения (стр. 129). Однако отсутствует экономический анализ себестоимости переработки, логистики, а так же сравнения с рыночной стоимостью аналогичных удобрений. Не рассмотрены альтернативные методы утилизации, например, захоронение, возврат в производственный цикл (если возможно), или переработка в другие продукты (строительные материалы, сорбенты). Не учтены экологические риски – если

концентрат содержит остатки метанола, его использование в сельском хозяйстве может быть ограничено.

3. В разделе, посвященном мембранному разделению, отсутствует комплексный анализ влияния кислотно-основных характеристик среды на эффективность процесса. Хотя в работе отмечается зависимость растворимости фосфатов от pH (стр. 94-96), не проведено систематическое исследование, охватывающее весь технологически значимый диапазон кислотности - от сильноокислых до сильнощелочных условий. Особого внимания заслуживает вопрос изменения селективности мембран при различных значениях pH, поскольку этот параметр напрямую связан с зарядом поверхности как частиц фосфатов, так и самих керамических мембран.
4. В разделе, посвященном исследованию температурного фактора (стр. 97-99, 105-106), влияние температуры на процесс мембранного разделения раскрыто недостаточно полно. Хотя приведены данные о повышении производительности мембран при росте температуры от 25 до 40°C, отсутствуют границы температурного интервала для предлагаемой технологии. В работе не указано, при каких минимальных температурах процесс сохраняет эффективность, что особенно актуально для северных месторождений, где температура подтоварной воды может опускаться ниже 10°C. Также не исследовано поведение системы при повышенных температурах (выше 60°C), которые могут возникать при регенерации метанола или в процессе предварительного подогрева растворов.

Представленные выше замечания не являются принципиальными и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертационная работа Со Тхурейн на тему «Реагентно-мембранное разделение многокомпонентных водных растворов» выполнена на высоком научном уровне, обладает четко сформулированной целью и задачами, содержит обоснованные выводы и практические рекомендации. Представленные материалы свидетельствуют о достаточном понимании автором исследуемой проблемы и его высоком профессиональном уровне. Исследование вносит значительный вклад в развитие мембранных технологий, в том числе их комбинированного применения с реагентными методами.

По тематике, методам исследования и полученным результатам диссертационная работа Со Тхурейн на тему «Реагентно-мембранное разделение многокомпонентных водных растворов» соответствует паспорту

научной специальности 2.6.15. Мембраны и мембранная технология (пункты 3, 5, 6 и 7).

Представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям к кандидатским диссертациям, определенным Положением о порядке присуждения ученых степеней в РХТУ им. Д.И. Менделеева, утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15. Мембраны и мембранная технология.

Диссертация, автореферат и отзыв были рассмотрены и одобрены на заседании кафедры «Процессы и аппараты химической технологии» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ») (протокол № 09 от 03.06.2025 г.).

Доцент кафедры «Процессы и аппараты химической технологии»
к.т.н., Фазлыев Азат Равильевич
тел: +7(843)231-40-65
FazlyevAR@corp.knrtu.ru
04 июня 2025г



Подпись А.Р. Фазлыева заверяю
Ученый секретарь
Ученого совета ФГБОУ ВО «КНИТУ»



И.А. Загидуллина

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

Почтовый адрес: 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 68;

e-mail: <http://www.kstu.ru>; office@kstu.ru;

Контактные телефоны: +7(843)231-42-16