

На правах рукописи



**АЛЕКСЕЕВА МАРИНА ЮРЬЕВНА**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ  
ОЧИСТКИ ПЛАСТОВЫХ ВОД  
КОРОНООБРАБОТАННЫМИ  
ПОЛИСУЛЬФОАМИДНЫМИ  
МЕМБРАНАМИ**

2.10.2. Экологическая безопасность

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Казань – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

**Научный руководитель:** **Шайхиев Ильдар Гильманович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инженерная экология», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань

**Официальные оппоненты:** **Каграманов Георгий Гайкович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мембранная технология», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», г. Москва

**Гущин Андрей Андреевич**, доктор химических наук, доцент, профессор кафедры «Промышленная экология», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет», г. Иваново

**Ведущая организация:** федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь

Защита диссертации состоится 23 апреля 2026 г. в 11 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.2.310.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по адресу: 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, ауд. Д-224, тел.: (843) 519-42-58.

Отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просьба направлять по адресу: 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, ученому секретарю диссертационного совета 24.2.310.03, Svetlana-zag@bk.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» и на сайте <https://www.kgeu.ru>.

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, к.т.н.



**Борисова Светлана  
Дмитриевна**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Нефть и нефтепродукты (НП) пагубно воздействуют на все без исключения звенья биологической цепочки, изменяют химические и физические свойства почвы, атмосферы и водной среды. Особую сложность представляют водонефтяные эмульсии (ВНЭ), которые в большом количестве образуются на нефтепромысле в виде пластовых вод, а эмульгированные НП формируются в качестве отходов отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Для разделения или разложения названных эмульсий применяются различные методы: физико-химические (коагуляция, флокуляция, деэмульгирование, адсорбция, флотация), химические (окисление озоном, хлором), механические, термические, биологические. Однако, данные методы, в большинстве случаев не удовлетворяют требованиям по обеспечению степени очистки до нормативов, что в конечном итоге вызывает загрязнение водных объектов. Для решения данной проблемы, целесообразно применить мембранный метод, основанный на разделении веществ через мембрану, который имеет ряд неоспоримых достоинств: барьер для загрязнений; экономию площади; высокое качество очищенной воды, минимальное количество реагентов или их отсутствие. Данное обстоятельство подтверждается справочником наилучших доступных технологий ИТС 8-2022.

Однако, при использовании мембранной очистки от загрязняющих веществ с течением времени, снижаются основные характеристики процесса из-за явления концентрационной поляризации. С целью повышения производительности и эффективности отделения НП от водной среды, мембраны подвергаются модификации, как обработкой различными химическими реагентами, так и физическим воздействием.

Анализ литературных источников показал, что улучшение эксплуатационных свойств полимерных мембран достигается обработкой коронным разрядом (КР). В этой связи, исследование очистки водных сред от нефти и НП мембранами и изучение влияния КР на технологические параметры процесса является актуальной задачей, так как позволяют обеспечить экологическую безопасность водных объектов и предотвратить попадание нефти и НП в окружающую природную среду.

**Степень разработанности:** в результате диссертационного исследования проанализированы работы, которые посвящены очистке сточных вод (СВ), в виде эмульсий мембранным методом с 2013 года. К последним относятся лабораторные и полупромышленные разработки, авторами которых являются Шайхиев И.Г., Дряхлов В.О., Федотова А.В., Фазуллин Д.Д., N. Zhang, R. Y. Yue, E. Hassan и другие.

**Цель и задачи диссертационной работы:** повышение экологической безопасности процессов добычи нефти за счет увеличения эффективности

очистки пластовых вод, с использованием полисульфонамидных мембран (ПСА), обработанных в поле КР.

На основании вышеизложенной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Определить режимы коронообработки ПСА мембран с размером пор 0,002, 0,004, 0,01, 0,02 мкм (масса отсекаемых частиц 10, 20, 50, 100 кДа, соответственно), при которых достигаются оптимальное соотношение эффективности и производительности очистки эмульсий типа «масло в воде» и «нефть в воде».

2. Провести очистку промышленных отработанных водомасляных эмульсий (ВМЭ), в виде СОЖ образующихся в результате производственной деятельности ООО «ТатНефтеСервис» с использованием ПСА мембран, обработанных в поле КР.

3. Провести исследования влияния предварительного деэмульгирования на эффективность очистки модельных ВМЭ ПСА мембранами.

4. Определить влияние обработки КР на внутреннюю структуру и поверхность ПСА мембран.

5. Провести испытания по очистке реальных пластовых вод, содержащих нефть в виде эмульсий образующихся на предприятии ООО «ТатНефтеСервис» с использованием мембранных технологий; оценить токсичность очищенной воды.

6. Усовершенствование существующей принципиальной технологической схемы очистки пластовой воды от эмульгированных НП за счет внедрения мембранных технологий.

7. Провести расчёт ожидаемого ущерба от загрязнения вод эмульгированными НП.

**Научная новизна.** Получены новые данные обработки ПСА мембран в поле униполярного КР с варьированием параметров процесса. Определены параметры коронной обработки мембран, при которых достигается максимальная эффективность очистки модельной ВМЭ на основе индустриального масла марки «И-20А» и ВМЭ на основе нефтей карбонового и девонского отложений Тумутукского месторождения (Республика Татарстан), способствующая к повышению экологической безопасности процессов добычи нефти.

Проведено исследование внутренней и поверхностной структуры коронообработанных ПСА мембран инструментальными методами. Показано, что обработка ПСА мембран КР способствует увеличению шероховатости, гидрофильности и уменьшению краевого угла смачивания, что способствует повышению эффективности процесса мембранной очистки.

### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

- Проведена очистка пластовой воды в виде ВНЭ, образующейся в результате производственной деятельности ООО «ТатНефтеСервис» методом ультрафильтрации с последующей доочисткой методом обратного осмоса, что приводит к снижению концентрации НП с 534 мг/дм<sup>3</sup> до <0,05 мг/дм<sup>3</sup>.

- Предложена усовершенствованная принципиальная технологическая схема очистки пластовой воды с помощью мембранных технологий с последующей утилизацией концентратов нефти и НП.

- Оценен ожидаемый ущерб, получаемый при отсутствии разработанного способа мембранной очистки

**Методология и методы исследования**, представленные в настоящей работе: теоретические, потенциометрические, атомно-силовая микроскопия, ИК-спектрофотометрический метод, дифрактометрия, метод сидячей капли, определение размера частиц, ИК-спектрометрия.

### **Положения, выносимые на защиту.**

1. В результате коронной обработки ПСА мембран происходит увеличение эффективности очистки, как модельных водомасляных и водонефтяных эмульсий, так и реальных пластовых вод.

2. Определение изменений во внутренней и поверхностной структуре полимерных мембран, подвергнутых воздействию униполярного КР, в результате которого наблюдается повышение шероховатости и уменьшения краевого угла смачивания поверхности фильтрационных элементов.

3. Предварительная стадия деэмульгирования ВНЭ приводит к укрупнению частиц эмульсий, и как следствие, повышению селективности мембранной очистки НП от водной среды.

4. Предложена принципиальная технологическая схема очистки пластовой воды, содержащей эмульгированные НП, с использованием процессов ультрафильтрации и обратного осмоса.

**Степень достоверности результатов работы** обеспечивается в результате применения современного оборудования и средств измерений, стандартных методик согласно ГОСТ; анализа точности измерений.

**Личный вклад автора** заключается в постановке цели и задач работы, аналитическом обзоре методов очистки сточных вод от нефти и НП, проведении экспериментов и обсуждении полученных результатов исследований, а также написании публикаций по теме диссертации, участии в работе конференций.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Результаты диссертации соответствуют паспорту научной специальности 2.10.2. Экологическая безопасность по п. 10 – Разработка и совершенствование методов, технологий и средств снижения негативного воздействия антропогенной хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы опубликованы в следующих материалах и сборниках докладов конференций различного уровня: IX Международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы инновационного развития нефтехимии» (Нижнекамск, 2016); Всероссийской научно-практической конференции «Теоретические и практические аспекты разработки инновационных ресурсосберегающих технологий разделения жидких смесей» (Барнаул, 2016); Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых аспирантов, студентов и школьников (с международным участием) «Химия. Экология. Урбанистика» (Пермь, 2017); Международной научно-технической конференции «Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды» (Алушта, 2018); Международной научной конференции «Химия и инженерная экология» (Казань, 2018); Международной научно-технической конференции «Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды» (Алушта, 2019); Всероссийской конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования» (г. Белгород, 2019); XIII Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности (газ, нефть, энергетика)» (г. Москва, 2019); XV Всероссийской научно-практической конференции им. А.И. Щеповских «Промышленная экология и безопасность» (Казань, 2020), Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной 100-летию образования Татарской АССР (Казань, 2020), Сборник материалов в международной научно-практической конференции молодых ученых, (Альметьевск, 2020), IV Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов, (Казань, 2024).

**Публикации.** Основные результаты диссертационной работы представлены в 23 научных публикациях. Из них – 3 в международной базе цитирования «Scopus», 5 – в рецензируемых журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ и Chemical Abstracts, в т.ч. 2 статьи в журналах по специальности 2.10.2.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, 4 глав, выводов и приложений, изложена на 132 страницах машинописного текста, содержит 21 таблицу, 32 рисунка, список литературы содержит 179 наименований источников.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность представленной работы, указаны основные методы исследования, приведены научная новизна и практическая

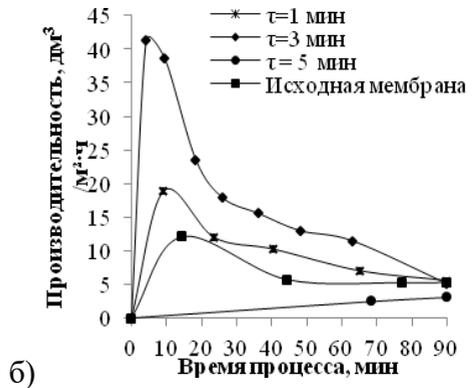
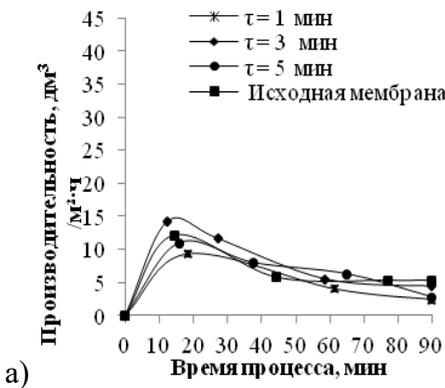
значимость, показаны положения, выносимые на защиту, представлены личный вклад, апробация работы, указана структура и объём диссертации.

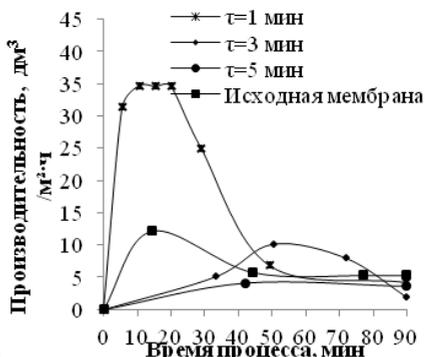
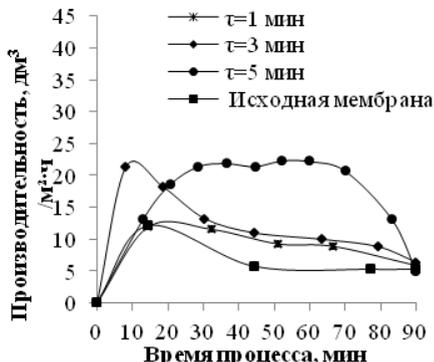
**Первая глава** посвящена аналитическому обзору литературных данных, в частности, представлены характеристики СВ, содержащих эмульгированные НП, а также основные методы их очистки с детальным рассмотрением мембранных технологий. Также рассмотрены основные способы модификации полимерных материалов, в т.ч. с использованием КР.

Во **второй главе** представлены методики и приборы проводимых в диссертационной работе исследований. Метрологически проработаны результаты измерений.

**Третья глава** посвящена исследованию разделения 3 %-ной ВМЭ на базе индустриального масла марки «И20-А» ПСА мембранами с размером пор 0,004; 0,01; 0,02 мкм, обработанными в поле униполярного КР при напряжении  $U = 5, 15, 25, 35$  кВ и времени обработки  $\tau = 1, 3, 5$  мин. На рисунках 1а-г представлены графики изменения производительности разделения ВМЭ нативными и коронированными ПСА мембранами с размером пор 0,02 мкм в зависимости от времени процесса.

Анализ графиков производительности, выявил, что обработка мембраны КР приводит к увеличению рассматриваемого параметра. При напряжении коронирования  $U = 15$  кВ и времени воздействия  $\tau = 3$  минуты наблюдается максимальная производительность разделения эмульсии. Аналогичные зависимости отмечены и в случае применения коронированных ПСА мембран с размером пор 0,004 и 0,01 мкм, обработанных в таких же режимах коронирования. Из представленных выше ПСА мембран, максимальная производительность процесса достигается при использовании фильтрующих элементов с размером пор 0,02 мкм, обработанных в поле КР.





в)

г)

Рисунок 1 – Графики изменения производительности разделения ВМЭ, на основе масла марки И-20А, ПСА мембранами с размером пор 0,02 мкм, обработанными КР при: а) U = 5 кВ; б) U = 15 кВ; в) U = 25 кВ; г) U = 35 кВ в зависимости от времени процесса

Как показано значениями ХПК пермеатов, полученных при разделении ВМЭ ПСА мембранами, обработанными коронным разрядом, представленными в таблице 1, наблюдается снижение рассматриваемого параметра и, как следствие, увеличение эффективности разделения эмульсии по сравнению с исходными значениями.

Таблица 1 – Значения ХПК пермеатов, полученных при разделении ВМЭ, на основе масла марки И-20А, короннообработанными ПСА мембранами с размером пор 0,02 мкм

Время короннообработки, τ, мин	Значения ХПК (концентрация НП), мг О/дм³ (мг/дм³)			
	Напряжение короннообработки, U, кВ			
	5	15	25	35
1	23960 (984)	15970 (656)	22940 (943)	26490 (1089)
3	25130 (1032)	<b>6230 (256)</b>	7990 (328)	11300 (4640)
5	23570 (968)	7210 (2 96)	10520 (432)	25910 (1065)
Пермеат после разделения эмульсии исходной мембраной	<b>26300 (1081)</b>			
Исходная эмульсия	<b>31360 (1287)</b>			

Минимальное значение ХПК пермеата, равное 6230 мг О/дм³, наблюдается при разделении модельной эмульсии короннообработанной ПСА мембраной при

напряжении  $U = 15$  кВ и времени воздействия  $\tau = 3$  мин, при этом эффективность процесса разделения составила 80 %. Рассматриваемый параметр при использовании нативной мембраны составил 16 %.

Как было указано ранее, также проведены исследования разделения ВМЭ с использованием мембран с размерами пор 0,004; 0,01 мкм. Найдено, что наименьшее значение ХПК пермеата, равное 1040 мг О/дм<sup>3</sup>, получено при разделении 3 %-ной ВМЭ ПСА мембраной с размером пор 0,004 мкм, обработанной в поле КР при  $U = 5$  кВ и  $\tau = 5$  мин, в результате чего достигается максимальная эффективность процесса разделения ВМЭ, которая составила 97 %, что в 1,35 раза выше такового значения, полученного при использовании исходного образца мембраны.

В последующем, проводились исследования разделения модельной 1 %-ной ВНЭ на основе нефти девонского отложения Тумутукского месторождения (Республика Татарстан), с использованием ПСА мембран с размерами пор 0,004; 0,01; 0,02 мкм, обработанных в поле КР, при таких же режимах, как и в предыдущих случаях.

В результате проведенных исследований, в большинстве случаев наблюдаются низкие значения производительности разделения 1 %-ной ВНЭ на основе нефти девонского отложения коронообработанными мембранами. В этой связи, для повышения селективности мембранного разделения, решено применить предварительную стадию деэмульгирования, способствующей укрупнению частиц ВНЭ и дальнейшим ее разделением ПСА мембранами с размером пор 0,02 мкм, основываясь на данных, полученных из предыдущих исследований.

Применялись следующие марки деэмульгаторов: «РЕАПОН», «Сульфанол», «Separol F46», «СНПХ-4315М», «РЭНТ». Определялась дозировка последних в виде 1 %-ной (по объему) раствора для последующего их добавления в исследуемую эмульсию. Из всех представленных выше реагентов, эффективнее всего способствует укрупнению частиц эмульсии деэмульгатор марки «СНПХ-4315М» с дозировкой 10 см<sup>3</sup> на 100 см<sup>3</sup> эмульсии, что является основанием для проведения дальнейших исследований влияния данного реагента на разделение ВНЭ, с целью увеличения эффективности процесса.

В продолжение работ, проведено разделение 1 % ВНЭ на основе нефти девонского отложения, полученной с применением деэмульгатора марки «СНПХ-4315М, соответствующие графики производительности и значения ХПК пермеатов представлены на рисунках 2а-г и таблице 2, соответственно.

Анализ зависимостей производительности мембранного разделения от времени процесса, представленных на рисунке 2а, показывает увеличение рассматриваемого параметра при использовании коронообработанной при  $U = 5$  кВ;  $\tau = 1$  мин ПСА мембраны по сравнению с исходным образцом. В остальных случаях значения максимальной производительности корономодифицированных

мембран меньше такого показателя, чем при использовании исходного образца мембраны. Выявлено отсутствие каких-либо зависимостей рассматриваемого параметра от режимов коронирования, что обусловлено сложной конкуренцией процессов травления, спекания, окисления, деструкции и образованию новых связей, протекающих на поверхности мембраны при воздействии коронного разряда.

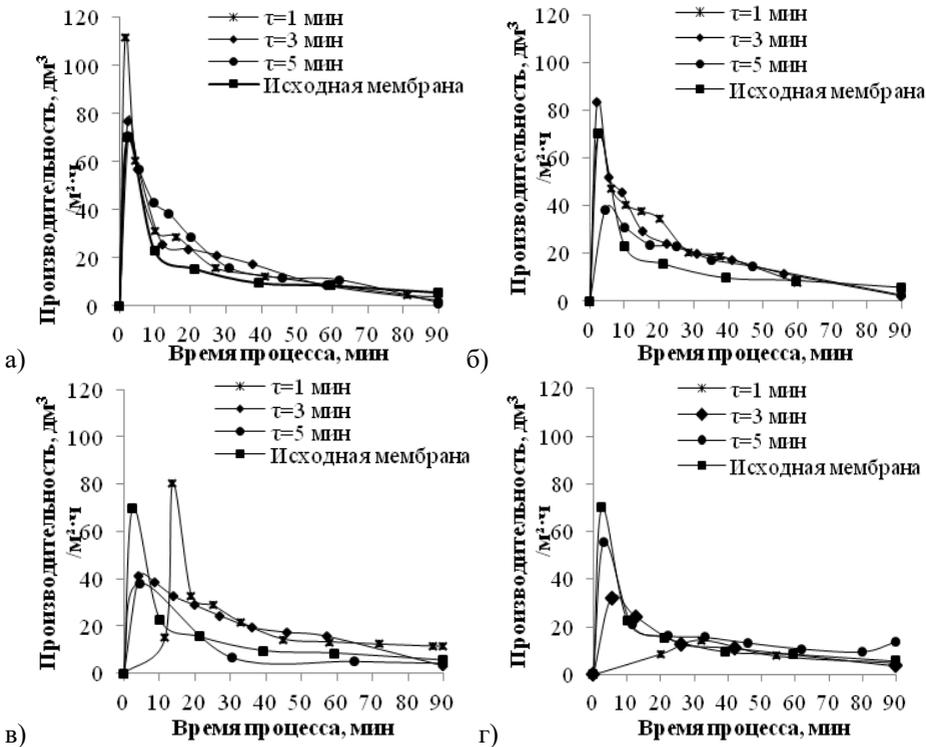


Рисунок 2 – Графики изменения производительности разделения ВНЭ, полученной с применением деэмульгатора марки «СНПХ-4315М» ПСА мембранами с размером пор 0,02 мкм, обработанными КР при: а)  $U = 5$  кВ; б)  $U = 15$  кВ; в)  $U = 25$  кВ; г)  $U = 35$  кВ в зависимости от времени процесса

Данными, представленными в таблице 2, показано уменьшение значений ХПК пермеатов в результате разделения ВНЭ ПСА мембранами, модифицированными в поле КР. Минимальное значение рассматриваемого параметра наблюдается при использовании мембраны, обработанной КР при напряжении  $U = 35$  кВ и времени воздействия  $\tau = 5$  мин, которое составило 515

мг О/дм<sup>3</sup>; при этом эффективность процесса разделения эмульсии составила 97,1 %.

Также проведены исследования по разделению 1 %-ной ВНЭ на основе нефти карбонового отложения Тумугукского месторождения (Республика Татарстан), полученной применением 1 %-ого раствора деэмульгатора марки «СНПХ-4315М» (10 см<sup>3</sup> на 100 см<sup>3</sup> эмульсии), ПСА мембранами с размером пор 0,02 мкм, аналогичным предыдущим исследованиям режимам.

Таблица 2 – Значения ХПК пермеатов, полученных при разделении ВНЭ, на основе нефти девонского отложения с применением деэмульгатора марки «СНПХ-4315М» коронообработанными ПСА мембранами с размером пор 0,02 мкм

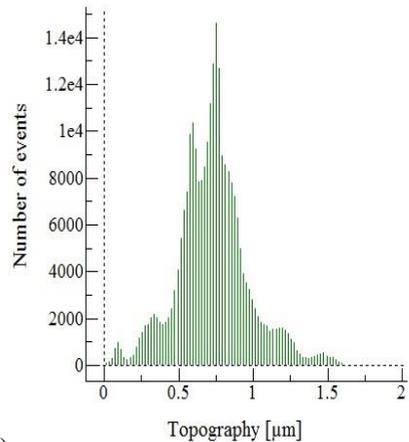
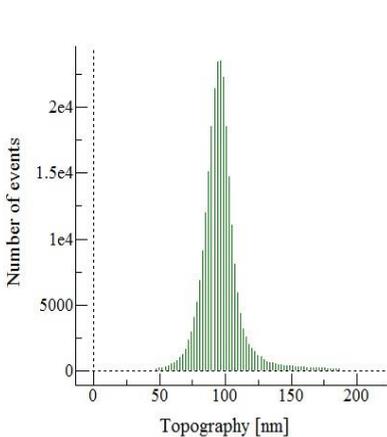
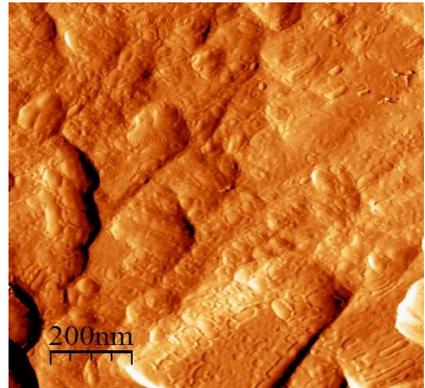
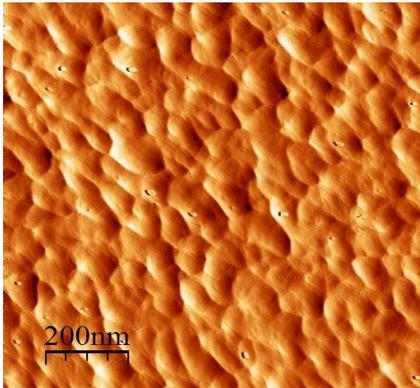
Время коронообработки, т, мин	Значения ХПК (концентрация НП), мг О/дм <sup>3</sup> (мг/дм <sup>3</sup> )			
	Напряжение коронообработки, U, кВ			
	5	15	25	35
1	1330 (55)	662 (27)	809 (33)	662 (27)
3	1324 (54)	1298 (53)	1104 (45)	736 (30)
5	1177 (48)	736 (30)	1030 (42)	<b>515 (21)</b>
Пермеат после разделения эмульсии исходной мембраной	<b>1331 (55)</b>			
Исходная эмульсия	<b>17555 (721)</b>			

С целью выявления поверхностных и структурных деформаций, способствующих увеличению эффективности разделения масло- и нефтесодержащих эмульсии, инструментальными методами анализа проведены исследования исходной и коронообработанных ПСА мембран с размером пор 0,004 мкм на основе методов измерения краевого угла смачивания, ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа.

Получены микрофотографии и гистограммы поверхности исходной и коронообработанной при напряжении U = 5 кВ и времени обработки  $\tau = 5$  мин мембран, представленные на рисунках 3а,б, с помощью зондового микроскопа.

На основании представленных изображений поверхностей нативной и обработанной ПСА мембран, очевидно наличие поверхностных деформаций у коронообработанной мембраны. Высота поверхности исходной мембраны относительно базовой линии составляет 50-150 нм. Как следует из данных рисунка 3б, шероховатость поверхности модифицированной мембраны составляет 0-1500 нм с максимумом при 750 нм.

Данное обстоятельство объясняется окислительным воздействием озона, образующегося при КР в воздухе, на поверхность мембраны, что приводит к травлению и окислению поверхности последней.



а)

б)

Рисунок 3 – Изображения поверхности с соответствующими топографическими гистограммами ПСА мембран: а) исходной; б) короннообработанная при  $U = 5$  кВ,  $\tau = 5$  мин

Одной из основных характеристик полимерных мембран является их смачиваемость. В результате модификации ПСА мембран с размером пор 0,004 мкм КР при напряжении  $U = 5$  кВ и времени обработки  $\tau = 5$  мин, краевой угол смачивания снижается с  $59,7^\circ$  до  $54,6^\circ$ , что свидетельствует о гидрофиллизации

поверхности мембраны. Данный образец показывает наибольшую степень эффективности процесса, вследствие чего увеличивается производительность и снижается значение ХПК пермеата, что подтверждается данными, представленными в настоящей диссертации. Однако, в результате обработки ПСА мембран в поле КР изменения химической структуры, степени кристалличности полимерных мембран не выявлено.

В **четвертой главе** представлены исследования очистки пластовой воды, содержащей нефть в виде эмульсии, образующейся в результате производственной деятельности ООО «ТатНефтеСервис» при добыче нефти карбонового отложения Тумутукского месторождения (Республика Татарстан) исходной и наиболее эффективной ПСА мембранами с размером пор 0,02 мкм, обработанной в поле КР при напряжении на аноде  $U = 35$  кВ и времени обработки  $\tau = 5$  мин.

Данными, полученными в результате исследований, показано улучшение параметров разделения пластовой воды мембраной, обработанной в поле униполярного КР с размером пор 0,02 мкм по сравнению с нативной. В результате, концентрация НП снижается с 534 мг/дм<sup>3</sup> до 32 мг/дм<sup>3</sup> после разделения пластовой воды модифицированной ПСА мембраной при напряжении  $U = 35$  кВ и времени обработки  $\tau = 5$  мин; эффективность удаления нефти составила 93,3 %.

Для доочистки пермеата, полученного после прохождения коронообработанной ПСА мембраны предлагается стадия обратного осмоса. В результате чего, значение ХПК и содержание НП составили 16 мг О/дм<sup>3</sup> и < 0,05 мг/дм<sup>3</sup>, что позволяет использовать очищенную воду для технологических процессов производства.

С целью подтверждения обозначенных результатов испытаний эффективности очистки пластовой воды, проведено биотестирование образцов последней с использованием стандартных тест-объектов *Daphnia magna Straus* и *Paramecium caudatum*. Наименьшую токсичность на стандартные тест-объекты оказывает пермеат, полученный после прохождения коронообработанной ПСА мембраны, а пермеат после стадии обратного осмоса не оказывает токсического действия на стандартные тест-объекты.

На основании проведенных экспериментов, предложена принципиальная технологическая схема очистки СВ от эмульгированных НП, в частности, пластовых вод, представленная на рис. 4.

Пластовые воды поступают в отстойник 1, где осуществляется удаление крупнодисперсной твердой фазы в виде песка, глины, после чего идет стадия фильтрации в сетчатом фильтре 2, где задерживаются мелкие частицы взвешенных твердых загрязнений. Далее пластовая вода направляется в смеситель 3.2, где происходит перемешивание с разбавленным 1 % раствором дезэмульгатора марки «СНПХ-4315М» с дозировкой 1 дм<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> эмульсии из

смесителя 3.1. Следующим этапом смесь пластовой воды с деэмульгатором направляется в приемную емкость 4 для укрупнения частиц пластовой воды. Твердая фаза, образующаяся на стадии отстаивания и фильтрации 1 и 2, соответственно, направляется в шламовую площадку 8.

Из приемной емкости 4 эмульсия направляется на стадию ультрафильтрации 5 с использованием мембраны с размером пор 0,02 мкм, в результате чего содержание НП снижается до 32 мг/дм<sup>3</sup>, что позволяет использовать полученную смесь для закачки обратно в пласт для поддержания давления согласно соответствующему нормативу при содержании НП менее 50 мг/дм<sup>3</sup>. При необходимости получения более чистой технической воды предусмотрена стадия обратного осмоса 6, обеспечивающая промывку механических и мембранных фильтров.

Концентраты после стадии ультрафильтрации 5 и обратного осмоса 6 направляются в товарный парк и далее на рекуперацию.

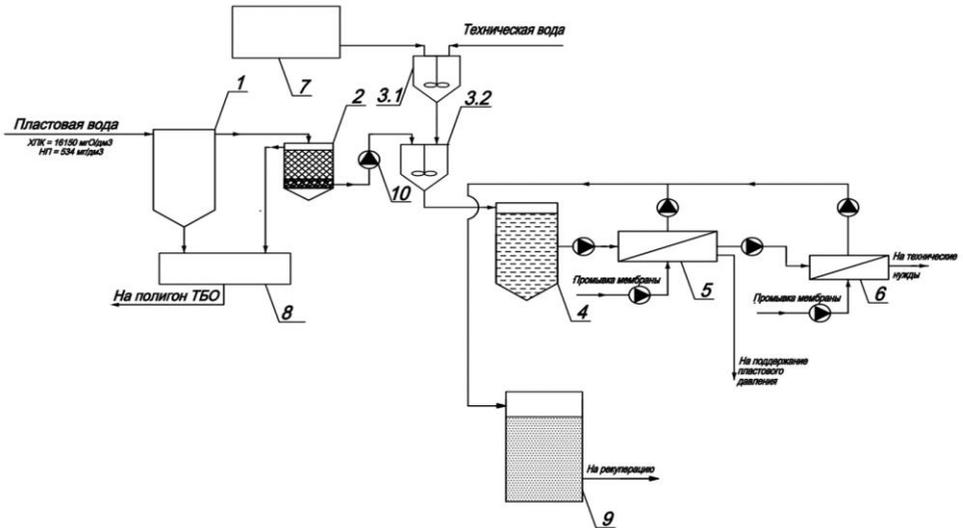


Рисунок 4 – Принципиальная технологическая схема очистки пластовой воды: 1 – отстойник, 2 – фильтр, 3.1 и 3.2 – смесители, 4 – приемная ёмкость, 5 – ультрафильтрация, 6 – обратный осмос, 7 – склад деэмульгатора, 8 – шламовая площадка, 9 – товарный парк, 10 – насос

В продолжение исследований произведен расчёт ожидаемого ущерба от загрязнения вод эмульгированными НП, который составил 346882,03 тыс. руб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определены режимы коронообработки, при которых достигается наибольшая эффективность разделения модельных водомасляных и водонефтяных эмульсий ПСА мембранами с размером пор 0,004, 0,01, 0,02 мкм. Найдено, что при разделении 3 %-ной ВМЭ на базе индустриального масла марки «И-20А» наибольшей эффективностью обладает ПСА мембрана, обработанная при  $U = 5$  кВ,  $\tau = 5$  мин (97 %); при разделении 1 % ВНЭ на основе нефти девонского и карбонового отложений Тумутукского месторождения (Республика Татарстан) ПСА мембранами, обработанными в поле коронного разряда при  $U = 35$  кВ,  $\tau = 5$  мин (97,1 %) и  $U = 5$  кВ,  $\tau = 3$  мин (91,3 %) соответственно.

2. Проведена очистка промышленных отработанных ВМЭ коронообработанной ПСА мембраной при напряжении  $U = 5$  кВ и времени воздействия  $\tau = 5$  мин, в результате которого наблюдаются снижения значений ХПК и концентрация НП до 5020 мг О/дм<sup>3</sup> и 206 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. При этом эффективность очистки СОЖ модифицированной мембраной составил 72,3 %, а при использовании нативного образца равен 49,6 %.

3. Выявлено, что 1-ный раствор деэмульгатора марки «СНПХ-4315М» в количестве 1 см<sup>3</sup> на 1 дм<sup>3</sup> эмульсии способствует достижению наибольших размеров частиц НП для предварительной стадии деэмульгирования. В результате происходит увеличение размера частиц дисперсной фазы при введении данного реагента в эмульсию, с 169 (100 %); 855(67,07 %) до 155(16 %), 528(33 %) и 2030 (100 %) нм.

4. Определено, что в результате обработки ПСА мембраны в поле коронного разряда, происходит увеличение гидрофильности, что подтверждается снижением значения краевого угла смачивания капель дистиллированной воды на поверхность мембраны с 59,7° до 54,6°. Исследования методами ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа показали, отсутствие изменений в химической структуре и степени кристалличности в модифицированных образцах ПСА мембран.

5. Проведена очистка реальных пластовых вод, содержащих эмульгированные НП, образующихся в результате производственной деятельности ООО «ТатНефтеСервис» с использованием исходной и коронообработанной ( $U = 35$  кВ,  $\tau = 5$  мин) ПСА мембраны, эффективность по удалению НП которых составила 64,1 % и 72,5 % соответственно. В результате определения токсичности с использованием стандартных тест-объектов *Daphnia magna* Straus и *Paramecium caudatum*, выявлено, что очищенная вода, полученная после стадии обратного осмоса, не оказывает токсического действия на тест-объекты. В результате доочистки пластовых вод со значением ХПК = 1076 мг О/дм<sup>3</sup> и концентрацией НП равным 32 мг/дм<sup>3</sup>, значение последних снизились до

16 мг О/дм<sup>3</sup> и <0,05 мг/дм<sup>3</sup>, при этом эффективность процесса очистки составила 98,5; 99,9 % соответственно.

6. Предложена принципиальная технологическая схема очистки пластовой воды, содержащей водонефтяную эмульсию с использованием мембранных технологий, которая позволяет возвращать очищенную воду в пласт для поддержания пластового давления или использовать для технологических нужд предприятия.

7. Оценен ожидаемый ущерб, получаемый при отсутствии разработанного способа очистки и последующем нарушении водного законодательства, который составил 346882,03 тыс. руб.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.**

***Статьи, опубликованные в журналах из библиографической базы SCOPUS:***

1. Alekseeva M.Yu. Enhancement of separation of water-oil emulsion using unipolar corona-treated polysulfonamide membranes / M.Yu. Alekseeva, V.O. Dryakhlov, M.F. Galikhanov, I.R. Nizameev, I.G. Shaikhiev // Petroleum Chemistry. – 2018. – Vol. 58, №2. – P. 152-156.

2. Алексеева М.Ю. Интенсификация разделения водомасляной эмульсии с использованием полисульфонамидных мембран, обработанных униполярным коронным разрядом / М.Ю. Алексеева, В.О. Дряхлов, И.Г. Шайхиев, М.Ф. Галиханов, И.Р. Низамеев // Мембраны и мембранные технологии. – 2018, № 1. – С. 59-65.

3. Alekseeva M.Yu. Effect of unipolar corona discharge parameters on the surface characteristics of polysulfonamide membranes and their separation efficiency for water-in-oil emulsions / M.Yu. Alekseeva, V.O. Dryakhlov, I.G. Shaikhiev, M.F. Galikhanov, I.R. Nizameev // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2020. – Vol.56, No.2. – P. 222-227.

***Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ и Chemical Abstracts:***

4. Алексеева М.Ю. Интенсификация разделения водомасляных эмульсий полисульфонамидными мембранами, обработанными в поле униполярного коронного разряда / М.Ю. Алексеева, И.Г. Шайхиев, Г.Ш. Сафина, В.О. Дряхлов и др. // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 17. – С. 217-220

5. Алексеева М.Ю. Влияние параметров униполярного коронного разряда на селективность и производительность разделения водомасляной эмульсии полисульфонамидными мембранами / М.Ю. Алексеева, И.Г. Шайхиев, Г.Ш. Сафина, В.О. Дряхлов, А.А. Гужова // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 5. – С. 89-92.

6. Алексеева М.Ю. Влияние дозировок деэмульгатора марки "РЭНТ" и параметров обработки полисульфонамидных мембран коронным разрядом на

эффективность разделения водонефтяной эмульсии / М.Ю. Алексеева, В.О. Дряхлов, И.Г. Шайхиев, Д.Д. Фазуллин, С.В. Свергузова // Вестник технологического университета. – 2018. - Т. 21, № 11. - С. 35-40.

7. Алексеева М.Ю. Разделение водомасляных эмульсий полисульфонамидными мембранами, обработанными плазмой тлеющего и коронного разрядов / М.Ю. Алексеева, И.Г. Шайхиев, В.О. Дряхлов, З.Т. Санатуллова // Нефтегазовое дело. – 2024, - №3. - С. 6-30.

8. Алексеева М.Ю. Разделение эмульсий масла и нефти полисульфонамидными мембранами, обработанными плазмой коронного разряда / М.Ю. Алексеева, И.Г. Шайхиев, В.О. Дряхлов, З.Т. Санатуллова, А.С. Зиганшина, М.Ф. Галиханов // Нефтегазовое дело. – 2024, - №4. - С. 37-54.

***Статьи в прочих изданиях:***

9. Алексеева М.Ю. Влияние деэмульгатора и параметров обработки коронным разрядом полисульфонамидных мембран на разделение водонефтяных эмульсий / М.Ю. Алексеева, И.Г. Шайхиев, М.Ф. Галиханов, Фазуллин Д.Д. // Вода: химия и экология. – 2019, № 1-2. – С. 77-82.

10. Алексеева М.Ю. Влияние параметров униполярного коронного разряда на поверхностные характеристики и эффективность разделения полисульфонамидными мембранами водонефтяной эмульсии / М.Ю. Алексеева, В.О. Дряхлов, И.Г. Шайхиев, М.Ф. Галиханов, И.Р. Низамеев // Электронная обработка материалов. – 2019. – Т. 55, № 4. – С. 50-55.

11. Алексеева М.Ю. Применение коронного разряда при мембранном разделении водонефтяных эмульсий / М.Ю. Алексеева, И.Г. Шайхиев, В.О. Дряхлов // Сборник «Химия и инженерная экология – XX», международной научной конференции, посвященный 100-летию образования Татарской АССР, Казань. – 2020. – С. 144-146.

12. Алексеева М.Ю. Мембранная очистка от эмульгированной нефти / М.Ю. Алексеева, В.О. Дряхлов // Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии. Сборник материалов в международной научно-практической конференции молодых ученых, Альметьевск. – 2020. – С. 697-699.

13. Алексеева М.Ю. Разделение эмульсий углеводов полисульфонамидными мембранами, обработанными плазмой коронного разряда / М.Ю. Алексеева, И.Г. Шайхиев, З.Т. Санатуллова и др. // сборник материалов IV Всероссийской научной конференции преподавателей и студентов вузов, Казань. – 2024. – С. 527-529.





Подписано в печать 12.02.2026. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.  
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 1,17. Тираж 100 экз. Заказ № 2996.

Отпечатано в типографии «Арт Печать Сервис»  
420061, г. Казань, ул. Космонавтов, 41, офис 9.  
Тел. +7 (843) 295-10-19, <http://arpskazan.ru/>  
E-mail: [arps@bk.ru](mailto:arps@bk.ru)