

«УТВЕРЖДАЮ»

генеральный директор
АО «НПК Медиана-Фильтр»
к.х.н., Смирнов В.Б.



2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему: «Повышение эффективности установок обратного осмоса» по научной специальности 2.6.15 – Мембраны и мембранная технология (технические науки) выполнена в техническом департаменте АО «НПК Медиана-Фильтр».

В процессе подготовки диссертации Смирнов Александр Александрович, «03» сентября 1987 года рождения, был начальником технологического отдела АО «НПК Медиана-Фильтр».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов по философии науки и техники и английскому языку выдана в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в 2025 году, справка о сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине выдана в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» в 2025 году.

Научный руководитель – кандидат химических наук по специальности 02.00.03, Органическая химия, генеральный директор АО «НПК Медиана-Фильтр» Смирнов Владимир Брониславович.

По результатам рассмотрения диссертации на тему: «Повышение эффективности установок обратного осмоса» принято следующее заключение.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной задачи по повышению эффективности работы установок обратного осмоса непрерывного типа, путем снижения количества образующегося концентрата на 20-60% без применения дополнительных ступеней обработки концентрата, реагентной обработки или сложных дорогостоящих баромембранных процессов.

В результате проведенных исследований определены границы применимости предлагаемого нового способа, проведена оценка влияния на качество пермеата и предложен способ его повышения. Впервые построена математическая модель широко используемого критерия пригодности воды – коллоидного индекса, показаны его фундаментальные недостатки и предложен качественно иной способ оценки пригодности воды – обобщенный коллоидный

индекс. На основании проведенных исследований разработаны методические рекомендации по регенерации ионообменных фильтров, используемых для глубокой очистки пермеата УОО в комбинированных ВПУ. Разработан и апробирован на промышленных установках новый способ улучшения качества пермеата двухступенчатых УОО на основе двухступенчатого физического и химического глубокого удаления растворенной углекислоты.

Личный вклад автора состоит в разработке нового подхода к уменьшению объёма концентрата установок обратного осмоса непрерывного типа на основе гидродинамики и контроле осадкообразования; апробировании новой методики оценки влияния коллоидных частиц на процессы фильтрования, в том числе пригодности исходной воды для подачи на обратноосмотические мембранные элементы; разработке нового эффективного способа устранения негативного влияния растворённой углекислоты на качество фильтрата и эксплуатационные затраты в ВПУ на базе установок обратного осмоса; внедрении результатов исследований в проектные решения при создании технологических и схемных решений при проектировании новых и модернизации действующих ВПУ.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Разработан новый комплексный подход позволяющий минимизировать поток концентрата в обратноосмотических установках при обработке вод с содержанием до 2 г/л, основанный на поддержании минимально необходимого потока воды над мембраной, оценке предельной степени концентрирования труднорастворимых веществ и оценке пригодности воды по коллоидной нагрузке математически обоснованным способом
2. Впервые разработана математическая модель методики определения коллоидного индекса, на основе которой введено понятие обобщенного коллоидного индекса
3. Для комбинированных систем обессоливания воды, включающих технологию обратного осмоса и противоточного ионного обмена, установлены неочевидные отличительные особенности фильтров ионного обмена на доочистке пермеата обратного осмоса
4. Разработан новый комплексный подход к построению системы двухступенчатого обратного осмоса по пермеату с двухступенчатым удалением углекислоты на основе комбинации физического и химического способов.

Теоретическая и практическая значимость выражается в следующем:

1. Разработан простой и экономически эффективный способ увеличения степени извлечения фильтрата установок обратного осмоса непрерывного типа; определены факторы, лимитирующие степень извлечения фильтрата и определены пути преодоления их влияния.
2. Разработан и апробирован новый метод определения качества и пригодности исходной воды для подачи на обратноосмотические мембраны по содержанию в ней коллоидных частиц – обобщенный коллоидный индекс.

3. Установлены важные для эксплуатации систем водоподготовки отличия процесса регенерации катионообменных фильтров, в которых они являются второй ступенью обессоливания воды после одноступенчатых установок обратного осмоса, и разработаны рекомендации по эксплуатации таких систем водоподготовки.
4. Разработана методика и представлен высокоэффективный способ улучшения качества фильтрата двухступенчатых установок обратного осмоса, основанный на применении сочетания физического и химического способов удаления углекислоты из воды в мембранных установках.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 9 научных работах, в том числе 3 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, 4 работы в материалах международных конференций.

Результаты диссертации докладывались на V Международном Водно-Химическом Форуме. (НИУ «МЭИ», г. Москва, 2012 г.), XI и XII международных научно-технических конференциях «Международный водно-химический форум» (г. Минск, 2018 г., 2024 г.), IV международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (НИУ «МЭИ», г. Москва, 2024 г.).

Публикации в рецензируемых изданиях:

1. Panteleev A. A. Treatment of Makeup Water for Drum Boilers by the Two-Stage Reverse Osmosis / A. A. Panteleev, A. A. Smirnov, V. B. Smirnov // Thermal Engineering. 2019. V. 66. № 6. P. 450-456. (**Scopus, Web of Science**)
2. Panteleev A. A. New Method For Measuring Colloidal Index / A. A. Panteleev, A. A. Smirnov, V. B. Smirnov, V. P. Kovalenko // Thermal Engineering. 2021. Vol. 68. N. 9, P. 723–729. (**Scopus, Web of Science**)
3. Смирнов А.А. Обзор безреагентных методов уменьшения количества концентрата установок обратного осмоса / А.А. Смирнов, В.Б. Смирнов // Мембраны и мембранные технологии. 2025. т. 15, № 1, с. 76–86 (**Chemical Abstracts**)

Публикации в прочих изданиях:

1. Смирнов А.А. Повышение эффективности двухступенчатых установок обратного осмоса / А.А. Смирнов, В.Б. Смирнов // Новое в российской электроэнергетике. 2024. № 7. С. 24. (**РИНЦ**)
2. Смирнов А.А. Особенности эксплуатации комбинированных систем обессоливания воды / А.А. Смирнов, В.Б. Смирнов, С.Ю. Ларионов, А.А. Пантелеев // Новое в российской электроэнергетике. 2025. № 2. С. 16 (**РИНЦ**)

Публичные доклады на всероссийских и международных научных мероприятиях (конференциях, съездах, симпозиумах, конгрессах):

1. Календарев Р.Н., Смирнов А.А. Проектирование ВПУ с применением каскадного концентрирования стока с установки обратного осмоса. V Международный Водно-Химический Форум. НИУ «МЭИ». 3 – 6 апреля 2012 г., г. Москва (Устный)
2. Ларионов С.Ю., Пантелеев А.А., Смирнов В.Б., Бобинкин В.В., Смирнов А.А. Особенности режимов работы комбинированных систем водоподготовки // Сборник материалов XI Международного водно-химического форума, 22-25 мая 2018 г., Минск : Институт физико-органической химии НАН Беларуси, 2018, С. 95.
3. Смирнов А.А., А.А. Пантелеев, Смирнов В.Б. Коллоидный индекс. Методологические заметки. // Сборник материалов XI Международного водно-химического форума, 22-25 мая 2018 г., Минск : Институт физико-органической химии НАН Беларуси, 2018, С. 157.
4. Смирнов А.А., Смирнов В.Б. Повышение эффективности установок обратного осмоса. // Сборник материалов XII Международного водно-химического форума, 21-24 мая 2024 г., Минск : Институт физико-органической химии НАН Беларуси, 2024, С. 68-71.
5. Смирнов А.А., Чудова Ю.В., Смирнов В.Б. Повышение эффективности установок обратного осмоса на ТЭС. IV Международная конференция «Современные проблемы теплофизики и энергетики». // Материалы IV Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (СПТЭ). Москва, 21-25 октября 2024 г. – М.: Издательство МЭИ, 2024. С. 417-418.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.15 – Мембраны и мембранная технология в части:

п. 3. Разработка принципов функционирования мембран различного назначения (обратноосмотических, нано-, ультра-, микрофльтрационных, первапорационных, ионообменных, газоразделительных) при мембранном разделении компонентов жидких и газовых смесей, в том числе в мембранных контакторах и мембранном катализе;

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);

п. 7. Методы расчета и оптимизация режимов работы мембранных аппаратов и систем с целью улучшения конструкции аппаратов, мембранных модулей и повышения эффективности их работы. Изучение особенностей

мембранных систем, таких как концентрационная поляризация, засорение и старение мембран, и методов борьбы с этими явлениями.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Смирнова А.А. является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Смирнову А.А.; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Повышение эффективности установок обратного осмоса» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15 – Мембраны и мембранная технология.

Диссертация рассмотрена на заседании научно-технического совета АО «НПК Медиана-Фильтр», состоявшемся 18 декабря 2025 года, протокол № 04-12/25. В обсуждении приняли участие: председатель совета директоров, д.ф.м.н., проф., Пантелеев А. А., генеральный директор, к.х.н., Смирнов В.Б., технический директор, к.х.н., Бобинкин В.В., ведущий научный сотрудник, д.т.н., Рябчиков Б.Е., зам. ген. директора по научной работе, к.т.н., Ларионов С.Ю.

Принимало участие в голосовании 5 человек. Результаты голосования: «За» - 5 человек, «Против» - 0 человек, «Воздержались» - 0 человек, протокол № 04-12/25 от 18 декабря 2025 года.

Председатель научно-технического совета
АО «НПК Медиана-Фильтр»

технический директор
кандидат химических наук

Секретарь заседания



Бобинкин В.В.

Корзина Ю.Е.