

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель директора
по научной работе ИФХЭ РАН

С.А. Кулюхин

«20» января 2025 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН) на диссертационную работу Александрова Романа Алексеевича на тему **«Разработка мобильной мембранной установки очистки воды в условиях чрезвычайных ситуаций»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15. Мембраны и мембранная технология (технические науки)

Актуальность работы

Диссертационная работа Александрова Романа Алексеевича посвящена весьма важной и актуальной теме- разработке мобильной мембранной установки очистки вод, загрязненных в результате природных и техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС). Работа направлена на решение проблемы получения чистой воды в условиях, участившихся ЧС, путем создания малогабаритных мобильных установок очистки воды, в которых используются новые и разработанные ранее технологии водоочистки. Все это определяет актуальность темы диссертации.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 114 страницах и содержит 30 рисунков и 13 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, дана общая характеристика работы, изложена ее научная новизна и практическая значимость, сформулированы цели и задачи работы.

В **главе 1** приведен обзор научно- технической информации, посвященной современному состоянию установок и технологий очистки поверхностных и сточных вод. Особое внимание уделено баромембранным процессам. Рассмотрены коагулянты, флокулянты и композиционные реагенты, применяемые при очистке поверхностных и сточных вод, проведен анализ эффективности данных материалов при очистке вод различного состава. Рассмотрены различные технологии введения реагентов в очищаемые воды, а также способы интенсификации процессов очистки.

В **главе 2** описаны основные методы и подходы, использованные при выполнении настоящей диссертационной работы. Представлены результаты

разработки способа получения модифицированного гибридного алюмокремниевого реагента, обладающего одновременно свойствами коагулянта, флокулянта и сорбента. Кроме того, в главе приведены методы исследования гибридного алюмокремниевого реагента, а также разработаны подходы к моделированию процесса очистки воды данным реагентом. Разработана методика экспериментального исследования процессов очистки различных видов модельных растворов с использованием гибридного алюмокремниевого реагента и его прототипа – алюмокремниевого флокулянта-коагулянта (АКФК). Разработана методика расчета струйных смесителей – водоводяного и водовоздушного эжекторов, а также методика экспериментального исследования водоводяного эжектора и методика исследовательских испытаний экспериментального образца мобильной мембранной установки очистки воды на модельных и реальных загрязненных водах.

В главе 3 изложены результаты исследования гибридного алюмокремниевого реагента, результаты экспериментального исследования процессов очистки модельных растворов с использованием гибридного реагента и его прототипа, а также результаты расчета струйных смесителей – водоводяного и водовоздушного эжекторов. С помощью результатов математического моделирования и экспериментальных исследований получены данные об оптимальном диапазоне рН (6,0-8,0), в котором эффективность очистки воды гибридным реагентом максимальна, а также определены оптимальные дозы реагента. На основании результатов предварительного эмпирического расчета и численного моделирования, была подтверждена возможность создания водоводяного и водовоздушного эжекторов, которые при заданных внешних параметрах (давление, расход) и рассчитанных геометрических параметрах могли бы обеспечить необходимый коэффициент инжекции по реагентам и воздуху, а также режим гидродинамической кавитации. Разработана конструкторская документация и произведено изготовление эжекторов, экспериментально подтверждена их работоспособность.

В главе 4 представлены результаты разработки экспериментального образца мобильной мембранной установки очистки воды в условиях ЧС с блоками предварительной реагентной подготовки и мембранной очистки, а также результаты исследования процессов очистки модельных растворов и реальных загрязненных вод на экспериментальном образце установки. Разработана принципиальная гидравлическая схема блока предварительной подготовки воды, в которой основным элементом является устройство дозирования и смешения реагентов. Отличительной особенностью устройства является использование водоводяного эжектора, обеспечивающего турбулентный режим течения и эффективное перемешивание реагентов с водой, а также водовоздушного эжектора, обеспечивающего режим гидродинамической кавитации. Кроме того, в устройстве предложена новая схема разделения потоков вода-реагент и вода-воздух по параллельным линиям трубопровода, которые впоследствии встречаются и перемешиваются в реакционной камере флотатора. Такая организация потоков благоприятствует

быстрому распределению реагентов во всем объеме обрабатываемой воды и повышению эффективности и степени очистки в целом. Разработана принципиальная гидравлическая схема блока мембранной очистки на основе устройства микрофльтрации с использованием мембраны из пористого карбида титана и устройства обратного осмоса с использованием мембраны, выполненной из тонкопленочного полиамидного композита. Разработан и смонтирован экспериментальный образец мобильной установки. Показано, что при меньших габаритных размерах, удельные энергозатраты установки ниже, чем у аналогов от 1,5 до 2,5 раз. В заключительной части работы проведены исследовательские испытания экспериментального образца мобильной мембранной установки очистки на модельных растворах и реальных загрязненных водах, таких как фильтрационные воды полигона твердых коммунальных отходов (ТКО), а также сточные воды завода цветной металлургии. Доказано, что показатели модельных и сточных вод, полученные после очистки на экспериментальном образце установки, удовлетворяют нормам предельно допустимых концентраций (ПДК) по СанПиН 1.2.3685-21.

В **заключении** диссертационной работы приведены основные результаты, полученные при ее выполнении:

1. Установлены закономерности процессов очистки воды с использованием гибридного алюмокремниевого реагента на основе результатов математического моделирования и экспериментальных исследований. Показано, что использование гибридного реагента позволяет увеличить степень очистки воды, и более чем на порядок снизить концентрацию остаточного алюминия в очищенной воде по сравнению с прототипом за счет формирования в процессе очистки алюмокремниевых цеолитоподобных структур, обладающих высокой сорбционной способностью. Определены оптимальные дозы реагента в зависимости от начальной концентрации загрязнителей в воде.

2. На основании гидродинамического расчета и результатов моделирования разработаны струйные смесители – эжекторы, а также новое устройство эжекционного дозирования и смешения реагентов, обеспечившее повышение степени очистки от солей жесткости и тяжелых металлов более чем на 20%, а от нефтепродуктов – на 8% по сравнению со стандартными перемешивающими устройствами.

3. Разработан экспериментальный образец мобильной мембранной установки очистки поверхностных вод в условиях чрезвычайных ситуаций с блоками предварительной подготовки и мембранной очистки. Показано, что установка обеспечивает необходимую степень очистки (до 99%) реальных загрязненных вод по тяжелым металлам и нефтепродуктам вод при минимальных среди аналогов удельных энергозатратах.

Практическая значимость

Результаты работы представляют большую практическую значимость как для экстренных служб при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, так и в

полевых условиях для получения чистой, в том числе питьевой воды. Разработанная установка характеризуется низкими по сравнению с аналогами габаритными размерами, высокой мобильностью, низкими удельными энергозатратами.

Достоверность и обоснованность результатов

Полученные в ходе выполнения работы результаты получены с использованием современных физико-химических методов исследования и современного аналитического оборудования, т.е. являются достоверными и обоснованными и не противоречат известным литературным данным и основным физическим закономерностям.

По материалам диссертационной работы было **опубликовано** 4 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных (Scopus, Web of Science, GeoRef, Chemical Abstracts Service), 5 тезисов докладов в сборниках трудов международных и всероссийских конференций. По результатам работы получено 2 патента Российской Федерации на полезную модель и 1 патент Российской Федерации на изобретение. Опубликованные труды и автореферат полностью отражают содержание исследования.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

В целом, диссертационная работа логично структурирована, написана хорошо, понятным языком, основная терминология использована корректно.

По работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. С.45. При описании способа получения гибридного алюмокремниевого реагента не указано соотношение Т : Ж и время обработки.
2. С.58. На рис. 3.3 на оси X отсутствуют значения рН.
3. С.67. В разделе 3.2.2 приведены результаты очистки модельных растворов, содержащих соли жесткости. Однако, под общей жесткостью понимают сумму концентраций кальция и магния. В модельных растворах присутствовал только кальций.
4. С.82. Как осуществляется и контролируется расход рабочих растворов извести, гибридного реагента для обеспечения оптимальной дозировки реагентов, особенно при изменении состава исходной воды?
5. С.84. Являются ли предлагаемые микрофильтрационные мембраны, полученные по технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) промышленно выпускаемыми изделиями?

Однако, приведенные выше вопросы и замечания не снижают научной значимости результатов работы и не влияют на положительную оценку диссертации, выполненной на высоком экспериментальном и научном уровне с использованием современных физико-химических методов анализа.

Заключение

По тематике, методам исследования и полученным результатам диссертационная работа **Александрова Романа Алексеевича** на тему «Разработка мобильной мембранной установки очистки воды в условиях чрезвычайных

ситуаций» соответствует паспорту научной специальности 2.6.15. Мембраны и мембранная технология в п. 5 «Комбинированные и гибридные процессы мембранной технологии (сочетание мембранных процессов с другими процессами химической технологии: абсорбцией, адсорбцией, ректификацией, дистилляцией)», 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» и п. 7 «Изучение особенностей мембранных систем, таких как концентрационная поляризация, засорение и старение мембран, и методов борьбы с этими явлениями».

Также 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.

Отзыв обсужден и единогласно одобрен на заседании межлабораторного коллоквиума лаборатории хроматографии радиоактивных элементов и лаборатории физико-химических методов локализации радиоактивных элементов ИФХЭ РАН (протокол № 1 от 16.01.2025 г.).

Милютин Виталий Витальевич, доктор химических наук, заведующий лабораторией хроматографии радиоактивных элементов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН)


подпись

16.01.2025 г.
Дата подписания

Контактная информация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН); 119071, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4
Тел.: +7(495)335-92-88; e-mail: vmilyutin@mail.ru

Подпись заведующего лабораторией хроматографии радиоактивных элементов ИФХЭ РАН Милютина Виталия Витальевича удостоверяю:

Зав. канцелярией ИФХЭ РАН


Н.А. Емельянова