

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Шайхиева Ильдара Гильмановича
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)

Общая характеристика работы. Диссертационная работа Александрова Романа Алексеевича посвящена актуальной проблеме разработки мобильных установок очистки воды со сложным составом загрязнителей. В процессе работы был разработан блок предварительной подготовки воды на основе устройства эжекционного дозирования и смешения реагентов. Устройство включает струйные смесители – водоводяной и водовоздушный эжекторы. Водоводяной эжектор используется для дозирования и смешивания жидких реагентов с очищаемой водой. При этом перемешивание осуществляется в интенсивном гидродинамическом поле при турбулентном режиме течения жидкости. Водовоздушный эжектор предназначен для окисления примесей загрязненных вод кислородом воздуха, а также для создания эффекта гидродинамической кавитации, обеспечивающего обеззараживание воды.

В качестве основного реагента используется так называемый гибридный алюмокремниевый реагент, разработанный на базе алюмокремниевого флокулянта-коагулянта (АКФК). Данный реагент имеет большую эффективность по степени очистки воды от характерных для чрезвычайных ситуаций загрязнителей (тяжелые металлы, нефтепродукты, соли жесткости, взвеси) по сравнению с традиционными алюмосодержащими реагентами (сульфат алюминия, полиоксихлорид алюминия и др.), а также по сравнению с прототипом (АКФК), что показано на примере очистки модельных растворов. Кроме того, при использовании данного реагента отсутствует проблема повышенного содержания остаточного алюминия в очищенной воде

в отличие от сульфата алюминия, полиоксихлорида алюминия и других традиционных алюмосодержащих реагентов.

В процессе работы также был разработан блок мембранной очистки на основе устройства микрофльтрации и обратного осмоса. В устройстве микрофльтрации используется мембрана из пористого карбида титана с нанесенным селективным слоем. В устройстве обратного осмоса используется мембрана, выполненная из тонкопленочного полиамидного композита.

Итоговым результатом работы стала разработка экспериментального образца мобильной мембранной установки очистки воды в условиях чрезвычайных ситуаций. Установка отличается низким по сравнению с аналогами удельным энергопотреблением ($\sim 2,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$), а также высоким качеством получаемой воды, что доказано на примере очистки как модельных, так и реальных загрязненных вод.

Актуальность работы определяется важностью получения очищенной воды для хозяйственно-бытовых и питьевых нужд в условиях участвующих чрезвычайных ситуаций различного характера, таких как наводнение, разлив нефтепродуктов, разрушение инфраструктуры централизованной водоподготовки.

Практическая значимость диссертационной работы Александра Романа Алексеевича заключается в разработке технологии и элементов конструкции комплексной установки очистки воды от загрязнений разной природы. Показано, что при использовании устройства эжекционного дозирования и смешения реагентов степень очистки воды от солей жесткости и тяжелых металлов повышается более чем на 20%, а степень очистки от нефтепродуктов на 8% по сравнению со стандартным перемешиванием лопастной мешалкой (120 об/мин) за счет реализации процесса перемешивания в интенсивном гидродинамическом поле при $Re \gg Re_{кр}$. На примере очистки сточных вод показано, что разработанный экспериментальный образец мобильной установки с блоками предварительной реагентной подготовки и мембранной очистки обеспечивает

высокую степень очистки по основным тестируемым загрязнителям. Степень очистки сточных вод после стадии микрофильтрации по всем показателям составляет более 99%, после стадии обратного осмоса достигает 99,9% по тяжелым металлам и 99,7% по нефтепродуктам. При этом габаритные размеры и удельные энергозатраты установки ниже, чем у аналогов.

Научная новизна заключается в разработке нового способа получения гибридного алюмокремниевого реагента, определении оптимальных значений доз реагента и значений pH при очистке растворов с различными загрязнителями, обнаружении эффекта снижения концентрации остаточного алюминия в воде после обработки данным реагентом, а также разработке технологии очистки воды сложного состава, включающей реагентную обработку, кавитационное воздействие, аэрацию воздухом, с коагуляцией примесей загрязнителей и последующим их отделением флотацией в сочетании с мембранными процессами микрофильтрации и обратного осмоса.

Достоверность результатов и выводов. Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Достоверность результатов обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований. В работе диссертант грамотно интерпретирует полученные результаты, обосновывает все допущения. Работа представляет собой законченное, объемное, тщательно спланированное и добросовестно выполненное исследование.

Содержание. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников из 102 наименований и 1 приложения. Диссертация изложена на 114 страницах машинописного текста, включает 30 рисунков и графиков, 13 таблиц.

Во введении отмечена актуальность темы диссертационной работы, определены цели и основные задачи исследования, сформулированы научная новизна, практическая значимость и положения, выносимые на защиту.

В главе 1 приведен анализ существующего положения и тенденции в использовании методов обработки в водоподготовке, приведены недостатки существующих технологий очистки загрязненных поверхностных и сточных вод. Глава заканчивается выводами, которые предопределяют дальнейшие изыскательские работы.

В главе 2 приведены методы и подходы, которые были применены в рамках выполнения работы. На базе алюмокремниевого коагулянта-флокулянта (АКФК), взятого за прототип, разработан и запатентован новый способ получения модифицированного гибридного алюмокремниевого реагента путем обработки нефелинового концентрата 8-10 % раствором серной кислоты. Разработаны методы исследования реагента, а также подходы к моделированию процесса очистки воды гибридным алюмокремниевым реагентом. Для решения задачи выбора дозы реагента и исследования его эффективности в сравнении с прототипом разработана методика экспериментального исследования процессов очистки модельных растворов, имитирующих состав загрязненных вод с такими видами загрязнителей, как: ионы тяжелых металлов, нефтепродукты, соли жесткости, взвешенные вещества. Разработаны методы гидродинамического расчета струйных смесителей – водоводяного и водовоздушного эжекторов.

В главе 3 приведены результаты исследования гибридного алюмокремниевого реагента, результаты моделирования процесса гидролиза компонента гибридного алюмокремниевого реагента – сульфата алюминия, а также результаты экспериментальных исследований процессов очистки модельных растворов с использованием гибридного реагента и его прототипа – реагента АКФК. В процессе экспериментальных исследований определены оптимальные значения доз реагента и значения pH для очистки воды от наиболее распространенных загрязнителей, а также подтверждены результаты, полученные при моделировании. Проведен эмпирический и численный расчет водоводяного и водовоздушного эжекторов, оценена возможность создания режима гидродинамической кавитации в

водовоздушном эжекторе. На основании гидродинамического расчета разработаны эжекторы, а также новое устройство эжекционного дозирования и смешения реагентов.

В главе 4 представлены результаты разработки экспериментального образца мобильной установки очистки воды в условиях ЧС с блоками предварительной реагентной подготовки и мембранной очистки с использованием микрофильтрационной мембраны из пористого карбида титана с нанесенным селективным слоем и обратноосмотической мембраны, выполненной из тонкопленочного полиамидного композита.

Установка имеет производительность до 200 л/ч и позволяет проводить очистку вод различной степени загрязненности, а также исследовать степень очистки на разных стадиях.

Показано, что показатели воды, полученные после очистки на экспериментальном образце установки, удовлетворяют нормам ПДК для питьевой воды согласно СанПиН 1.2.3685-21. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности разработанного экспериментального образца мобильной мембранной установки очистки воды.

Выводы, сделанные автором по итогам проведенной работы, вполне обоснованы и отражают суть основных результатов, а также показывают, что поставленные задачи решены в полной мере и цель научного исследования, сформулированная в диссертации, достигнута полностью.

Представленные в диссертации результаты исследований достаточно полно отражены в многочисленных научных публикациях диссертанта, а именно в 4 статьях в изданиях, индексируемых в международных базах данных (Scopus, Web of Science, GeoRef, Chemical Abstracts Service), 5 тезисах и материалах международных и всероссийских конференций, а также 3 патентах.

Несмотря на общее хорошее впечатление от диссертации, как в любой масштабной работе, она не свободна от ряда недостатков:

- отсутствует указатель условных обозначений и сокращений, хотя таковые имеются в тексте диссертации;

- в диссертации автор постулирует, что осуществляется очистки от ионов металлов. На самом деле, имеет место удаление **ионов** металлов из водных сред. Сами тяжелые металлы, как приведено в тексте диссертации имеют плотность более 5 г/см^3 и просто выпадут в осадок;

- не описан процесс обратного осмоса в литературном обзоре диссертации, в чем отличие данного метода от нанофильтрации;

- размерность объема во всей диссертации приведена в «литрах», а не в единицах СИ – в «дм³»;

- таблица 1.2 (стр. 18 диссертации. Обозначения, приведенные после таблицы, не соответствуют приведенным в таблице;

- использование сленговых терминов и непонятных словосочетаний, например, в тексте диссертации встречаются термины «железный купорос», «кремнезем» и др., словосочетание «поверхностные сточные воды»?;

- не приведены графические зависимости удаления ионов марганца полученным гибридным алюмокремниевым реагентом. Не указана валентность ионов марганца;

- непонятно, что за реагент ФКС-9 (рисунок 3.12);

- цветность воды выражается в градусах цветности, а не в «мг/л».

Однако высказанные замечания относятся в основном к оформительской части диссертации не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку данной диссертационной работы.

В целом диссертационная работа Александрова Романа Алексеевича выполнена на высоком научном и экспериментальном уровне с использованием современных методов исследования, содержит обширный теоретический и экспериментальный материал. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

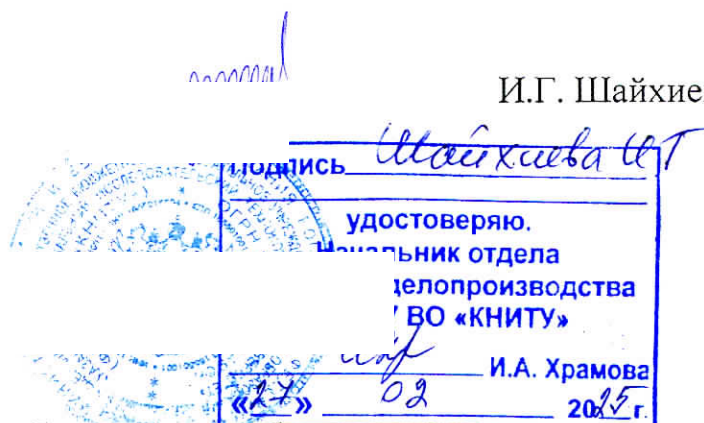
Диссертационная работа Александрова Романа Алексеевича на тему «Разработка мобильной мембранной установки очистки воды в условиях

чрезвычайных ситуаций» по содержанию, актуальности, целям и задачам, научной новизне, теоретической и практической значимости 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 Александров Роман Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15. Мембраны и мембранная технология.

Работа 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.

Профессор кафедры
Инженерной экологии
ФГБОУ ВО «КНИТУ»
доктор технических наук

И.Г. Шайхиев



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»)
420015, Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68
Рабочий e-mail, рабочий телефон: ildars@inbox.ru, 8(843)231-40-97.