

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», д.т.н.



И.И. Комаров

« 08 » 05 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Головесова Владимира Алексеевича

«Повышение эффективности технологии опреснения воды методом обратного осмоса на основе исследований механизма действия ингибиторов осадкообразования», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.4 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов

В диссертационной работе рассмотрены вопросы применения ингибиторов осадкообразования в мембранных установках для подготовки питьевой воды. Изучался механизм действия ингибиторов, исследовались факторы, влияющие на эффективность применения ингибиторов в различных мембранных установках.

Личный вклад автора

Исследования, выполненные в диссертационной работе, проведены лично соискателем в процессе научной деятельности.

Достоверность результатов работы

Достоверность полученных результатов исследований основана на использовании современного, сертифицированного и калиброванного оборудования, апробированных аналитических методик и методов исследования.

Работа в целом структурирована, поставленные задачи последовательно реализованы, теоретические рассуждения и сделанные практические выводы не противоречат экспериментальным данным. Результаты работы доведены до научной общественности в отечественных и зарубежных публикациях и на научных конференциях.

Научная новизна полученных автором результатов заключается в:

1. Определении локализации ингибиторов, применяемых для минимизации рисков формирования малорастворимых соединений при обратноосмотическом разделении водных растворов, и их (ингибиторов) влияния на рост кристаллов в мембранных элементах, использованных в экспериментах, благодаря использованию реагентов с флуоресцентной меткой.

2. Уточнении механизма ингибирования отложений карбоната и сульфата кальция, складывающегося из взаимодействия молекул ингибитора с высокодисперсными взвесями и коллоидами, присутствующими в обрабатываемой воде и выступающими в роли центров кристаллизации, а в дальнейшем – уже и с поверхностью укрупняющихся кристаллов.

3. Экспериментальном подтверждении возможности использования фосфонатных ингибиторов в малых дозах.

4. Выявлении решающей роли содержания метилиминодиметиленфосфоновой кислоты в обеспечении показателей эффективности фосфонатных ингибиторов.

5. Экспериментальном определении значений скорости аккумулялирования ингибиторов на кристаллах солей кальция.

Практическая ценность работы состоит в следующем:

Экспериментально продемонстрирована взаимосвязь эффективности ингибитора и скорости его аккумулялирования на растущих в обратноосмотическом аппарате кристаллах малорастворимых солей, а также влияние химического состава ингибитора на указанные параметры (эффективность и скорость накопления в твердой фазе). Полученные результаты обосновывают направления синтеза новых ингибиторов осадкообразования для предотвращения отложений на обратноосмотических мембранах.

Актуальность темы исследования

Вопросы повышения эффективности работы оборудования для мембранного разделения остаются в фокусе внимания ученых и инженеров. Мембранные технологии находят все более широкое применение в промышленной водоподготовке и для задач питьевого водоснабжения, но это не означает, что к настоящему моменту удалось устранить все существенные недостатки, им (технологиям) присущие. К основным проблемам обратноосмотической технологии в области опреснения и обессоливания воды относятся: осадкообразование на мембранах (в том числе за счет

формирования отложений малорастворимых кристаллических веществ) и сравнительно большие объемы концентратов, подлежащих утилизации.

Задача минимизации рисков осадкообразования малорастворимых соединений на поверхности мембран в настоящее время чаще всего решается путем дозирования ингибиторов в обрабатываемую воду. Беспроблемная эксплуатация установок обратного осмоса часто зависит от эффективности ингибиторов процессов кристаллизации малорастворимых соединений. Несмотря на то, что многочисленные исследования в этой области проводятся зарубежными и отечественными специалистами уже много лет, в гипотезах ингибирования остаются невыясненные вопросы, связанные, как с механизмом действия различных видов ингибиторов, так и с подходами к оценке их эффективности. Об актуальности темы свидетельствует рост количества новых разработок: синтезируются новые типы ингибиторов: экологически безопасные (например, не содержащие фосфора), биоразлагаемые, основанные на природных компонентах и т.п. Разрабатываются и внедряются передовые аналитические методы для изучения механизма ингибирования (например, с применением флуоресцентных меток для индикации молекул ингибиторов), совершенствуются подходы к проектированию мембранных установок (с акцентом на сокращение эксплуатационных затрат при обратноосмотическом разделении, снижение объема концентрата и реализацию технологий с «нулевым» или «минимальным» жидким сбросом).

В связи с изложенным, тема рассматриваемой работы, связанная с исследованием механизмов действия ингибиторов процесса кристаллообразования малорастворимых соединений при обратноосмотическом опреснении воды, следует признать актуальной. Оптимизация выбора ингибитора и грамотное его дозирование играют важную роль при проектировании и эксплуатации установок мембранного разделения для задач водоподготовки.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем работы составляет 128 страниц машинописного текста, в том числе 32 рисунка и 13 таблиц. Список литературы содержит 121 ссылку.

Во **введении** приводится обоснование актуальности темы диссертационного исследования, определены объект и предмет исследования, сформулированы цели и задачи, научная гипотеза, научная

новизна, теоретическая и практическая значимость работы и положения, выносимые на защиту, указаны данные по достоверности и апробации результатов работы.

В **первой главе** проведен обзор научно-технической литературы, посвященной формированию кристаллических осадков в аппаратах обратного осмоса, способам предотвращения этого явления, подходам к изучению механизма действия и оценке эффективности ингибиторов, а также влиянию высокодисперсной твердой фазы, присутствующей в исходной воде, на процессы образования кристаллических осадков. На основании выполненного анализа литературы определены цели и задачи экспериментальных исследований.

Во **второй главе** описываются экспериментальная база и используемые материалы, методика проведения исследований ингибиторов, план экспериментов. Приведены результаты экспериментов по ингибированию отложений карбоната и сульфата кальция. Сделаны выводы о взаимосвязи скорости аккумуляции ингибитора в кристаллическом осадке с его (ингибитора) дозой и эффективностью. С помощью ингибиторов с флуоресцентными метками установлена локализация ингибиторов на кристаллах карбоната и сульфата кальция, обнаружено взаимодействие ингибитора с материалом мембраны и с микрочастицами, содержащимися в обрабатываемой воде, подтверждено влияние микрочастиц на процесс формирования зародышей кристаллов.

В **третьей главе** описывается ряд экспериментов, которые с учетом полученных ранее результатов позволили сформировать рекомендации по подбору ингибиторов, схемным решениям и эксплуатации мембранных установок. А именно: показана возможность применения эффективных фосфонатных ингибиторов с относительно малыми дозами для предотвращения образования в мембранных аппаратах кристаллических осадков; доказано решающее влияние содержания метилиминодиметилен-фосфоновой кислоты (МИДФ) на эффективность фосфонатных ингибиторов; показано, каким образом эффективность ингибитора солеотложений и тип используемых мембран влияют на эксплуатационные затраты.

Четвертая глава посвящена технико-экономическому обоснованию выбора типа ингибитора и технологической схемы мембранной установки. В первой части приведены результаты испытаний ингибиторов в полупроизводственных условиях и экономическое сравнение ингибиторов, отличающихся своей эффективностью. Во второй части проведено технико-экономическое сравнение технологических схем очистки подземных вод:

схемы на основе обратного осмоса, используемой в большинстве случаев, и схемы, предлагаемой автором, базирующейся на применении нанофильтрации и блока обработки концентрата.

В **заключении** приводятся основные выводы по результатам диссертационного исследования.

Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

Полученные в диссертационной работе результаты имеет несомненную ценность для разработки новых типов ингибиторов кристаллических отложений.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Полученные результаты будут полезны для специалистов, занимающихся синтезом новых ингибиторов и вопросами повышения эффективности их применения.

Всего по теме диссертации В.А. Головесова опубликовано 15 печатных работ; из них восемь в изданиях, включенных в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук».

Замечания

1. Автор недостаточно глубоко проработал имеющиеся на данный момент исследования по теме диссертации, что привело к некорректной формулировке положений научной новизны и необоснованности выводов об оригинальности полученных результатов исследований. В частности:

1.1. вывод «положительный эффект применения ультрафильтрации перед обратным осмосом» не является одним из свидетельств научной новизны рассматриваемой работы, т.к. был доказан (и продемонстрирован) еще много лет тому назад (Громов С.Л. Осадкообразование в рулонных обратноосмотических и нанофильтрационных элементах и способы его предотвращения – Теплоэнергетика, 2014, №6, с. 49-58);

1.2. научная новизна вывода о влиянии «микрорегетерогенных примесей» на процессы кристаллизации не соответствует действительности: в общем случае этот эффект давно известен и широко используется не только в процессах промышленного получения кристаллических веществ, но и в

практике водоподготовки («вихревые реакторы», осветлители ОРАШ, осветлители Actiflo, «Пульсар» и т.д.). А для частного случая условий обратноосмотического разделения водных растворов вывод о влиянии высокодисперсных взвесей и коллоидов на эффективность ингибирования процессов формирования малорастворимых соединений был опубликован в упомянутой выше статье: Громов С.Л. Осадкообразование в рулонных обратноосмотических и нанофильтрационных элементах и способы его предотвращения – Теплоэнергетика, 2014, №6, с. 49-58;

1.3. Утверждение о том, что «использование метода нанофильтрации в схемах частичного опреснения (обессоливания) воды в сочетании с фосфонатными ингибиторами позволяет снизить дозу ингибитора, количество образующегося в мембранных аппаратах осадка карбоната кальция и сократить эксплуатационные расходы...» не оригинально и не нуждается в доказательствах, так как данные факты давно известны. Нанофильтрация очень давно применяется для повышения показателей экономической эффективности при опреснении морских вод на Ближнем Востоке (например, компаниями IDE Technologies, Veolia и др.) в качестве первой стадии обработки перед обратным осмосом, в различных позициях в технологических схемах процессов обессоливания при обработке стоков и концентратов (компаниями New Logic Research, Hydranautics, Veolia, Suez и др.), в отечественной энергетике для получения воды питьевого качества для системы теплоснабжения с открытым водоразбором (Приморская ГРЭС).

2. Автор допускает некорректное использование терминологии:

2.1. термин «микрорегетерогенные примеси воды» является неудачным, а выражение «микропримеси воды» – абсолютно неприемлемым, так как в работе рассматривается влияние на процессы ингибирования твердой фазы, находящейся в коллоидном и высокодисперсном состоянии. К «микрорегетерогенным примесям» могут относиться в том числе и микроорганизмы, которые вряд ли будут вовлечены в процессы кристаллизации малорастворимых осадков;

2.2. расход концентрата – некорректный термин, когда автор ведет речь не об объемной или массовой характеристике потока жидкости, а о доле концентрата по отношению к объему исходной воды, потребляемой мембранной установкой;

2.3. коллоиды и высокодисперсные взвешенные вещества, присутствующие в обрабатываемой воде, выступают в роли «затравки» (т.е. тех самых «зародышей» на поверхности которых протекают процессы роста кристаллов в пересыщенных растворах), а не принимают участие «в

образовании зародышей кристаллов карбоната и сульфата кальция в процессе работы установок обратного осмоса», как утверждает диссертант.

3. Результаты исследований по снижению эксплуатационных затрат схемы частичного обессоливания воды нельзя считать корректными, поскольку для рассматриваемой схемы не конкретизированы показатели качества исходной воды и требования, предъявляемые к целевому продукту (пермеату).

4. Проведенное автором технико-экономическое сравнение различных вариантов мембранных установок, использующих различные ингибиторы, также некорректно, поскольку разные ингибиторы применялись в разных мембранных установках. Корректные сравнения можно проводить либо для разных ингибиторов в рамках одной и той же мембранной установки (или технологической схемы); либо – для разных вариантов мембранных установок (или технологических схем) с одним и тем же ингибитором.

5. Некоторые из выносимых автором на защиту положений, а именно:

«- установлено, что в процессе обработки воды, содержащей катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , ингибитор практически не взаимодействует с поверхностью обратно-осмотической мембраны, а образует комплексы с этими катионами;

- доказан положительный эффект применения ультрафильтрации для предварительной обработки воды перед установкой обратного осмоса выражающийся в снижении образования кристаллических отложений солей жесткости;

- результаты изучения влияния вида мембран (обратный осмос или нанофильтрация) на интенсивность осадкообразования

не могут рассматриваться в качестве «достижений» соискателя, т.к. они общеизвестны (опубликованы много лет тому назад) и повсеместно используются специалистами на практике при проектировании установок мембранного разделения.

Заключение

Анализ работы позволяет сделать вывод, что диссертация Головесова Владимира Алексеевича на тему «Повышение эффективности технологии опреснения воды методом обратного осмоса на основе исследований механизма действия ингибиторов осадкообразования» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной, научной и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значение для развития соответствующей научной отрасли. Диссертационная работа

соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а автор - Головесов Владимир Алексеевич - заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.4 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов.

Отзыв на диссертацию заслушан и утвержден на заседании кафедры теоретических основ теплотехники им. М.В. Вукаловича ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». Присутствовало на заседании 46 чел. Результаты голосования: «за» - 45 чел., «против» - 1, «воздержалось» - 0. Протокол заседания № 9/23 от «23» апреля 2024 г.

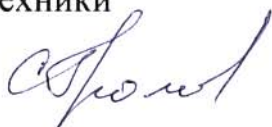
Отзыв составил:

к.т.н., с.н.с., доцент кафедры

теоретических основ теплотехники

им. М.П. Вукаловича

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»



Громов Сергей Львович

И.о. заведующего кафедрой

теоретических основ теплотехники

им. М.П. Вукаловича

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»,

к.т.н., доцент



Шацких Юлия Владимировна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Адрес: 111250, Россия, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, Красноказарменная улица, дом 14, стр. 1

E-mail: universe@mpei.ac.ru

Тел.: +7 495 362-75-60