

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

**кандидата технических наук, старшего научного сотрудника
Аскерния Афрасияба Абдуллаевича
на диссертационную работу Головесова Владимира Алексеевича
на тему «Повышение эффективности технологии опреснения воды
методом обратного осмоса на основе исследований механизма действия
ингибиторов осадкообразования», представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности
2.1.4 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны
водных ресурсов**

Возрастающий дефицит пресной воды как в нашей стране, так и на планете в целом, вызывает необходимость все более широкого использования для питьевых и технических целей природных вод в том числе из подземных источников. Качество воды из значительного количества подземных водоносных горизонтов отличается повышенной минерализацией, содержанием ионов жесткости и других растворенных в воде химических и органических веществ в количествах превышающих нормативные требования, что делает невозможным их использование в питьевых целях и в техническом водоснабжении ряда производств во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства.

Как известно, наиболее эффективные технологические решения по очистке воды от растворенных в ней загрязнений включают в себя методы обратного осмоса и нанофильтрации.

Однако подготовка подземных вод с использованием этих методов сопряжена с рядом возникающих при эксплуатации установок проблем требующих своего решения. При обработке подземных вод, характеризующихся наличием определенных концентраций ионов кальция, гидрокарбонатов или сульфатов и работы установок в режиме оптимальных значений (с точки зрения экономической составляющей) гидравлического КПД требуется применение специальных реагентов, ингибирующих (задерживающих) формирование на поверхности полупроницаемых мембран отложений малорастворимых солей. Образование и рост кристаллической структуры осадков внутри мембранных элементов сопровождается снижением их производительности ухудшением солезадерживающих свойств, имеют прогрессирующую динамику, которая в итоге приводит к

разрушению элемента в результате телескопинга. Загрязнения мембранных элементов влечет за собой возникновение локальных застойных зон, где создаются условия для развития микроорганизмов. Это обуславливает необходимость проведения частых химических моек, в том числе дезинфекцию установок, а также снижению гидравлического КПД, т.е. увеличению расходов концентрата, сбрасываемого в систему канализации. Таким образом, от эффективности используемых ингибиторов зависят их дозы для предварительной обработки исходной воды, частота проведения химических моек и расход сбрасываемого концентрата, что существенно влияет на себестоимость получаемой очищенной воды (пермеата). В настоящее время на рынке услуг предлагается большой выбор ингибиторов, которые отличаются по химическому составу и эффективности, что создает для специалистов (пользователей) серьезные проблемы с точки зрения выбора и оценки их надежности. До сих пор не существует единого обоснованного взгляда на механизмы взаимодействия ингибиторов с веществами в пересыщенных растворах и непосредственно с отложениями на поверхности мембран.

Рассматриваемая диссертационная работа посвящена теоретическому и экспериментальному изучению механизма предотвращения роста кристаллов карбоната и сульфата кальция, что позволило автору не только выявить химические составы наиболее эффективных ингибиторов, повысить надежность работы обратноосмотических установок и существенно сократить их эксплуатационные затраты. Это делает работу чрезвычайно актуальной.

Основываясь на базовых критериях, установленных Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, могу дать на нее следующий отзыв.

Актуальность темы исследования

Актуальность темы диссертационной работы Головесова В.А. не вызывает сомнений. Автор отмечает, что решение вопросов повышения надежности, энергоемкости и долговечности мембранных систем невозможно без глубокого понимания процессов, происходящих при обработке воды методом обратного осмоса. Сам процесс обратного осмоса, как и теория кристаллизации солей из пересыщенных растворов, изучены достаточно хорошо. Однако, снижение опасности роста объектов кристаллических осадков малорастворимых веществ, а также разработка

новых, экологически безопасных и совместимых с полимерными материалами мембран ингибиторов являются востребованными, требующими своего решения задачами. Эффективное применение ингибиторов напрямую влияет на надежность и долговечность мембранных элементов, а также величину эксплуатационных затрат.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа соискателя представляет собой законченный научный труд, изложенный на 128 страницах машинописного текста, включая 32 иллюстрации и 13 таблиц. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов, списка литературы из 121 наименований и приложения.

Во **введении** обоснована актуальность работы и представлены: степень разработанности темы диссертационной работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, цели и задачи работы, положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** приведен обзор литературы по темам формирования отложений малорастворимых солей в мембранных аппаратах и методах их предотвращения. Соискатель подробно проанализировал подходы различных специалистов к изучению эффективности ингибиторов, и на основании этого анализа выбрал наиболее подходящую методику экспериментальных исследований. Также в литературном обзоре сделан акцент на роли микрочастиц в формировании и ингибировании отложений малорастворимых солей, на появление новых видов ингибиторов с флуоресцентными метками и на перспективы применения нанофильтрационных мембран для частичного обессоливания и очистки подземных вод.

Во **второй главе** описана лабораторная экспериментальная установка, методика проведения экспериментов, используемые материалы и вспомогательное оборудование. В качестве основного объекта для изучения механизма действия ингибиторов выбраны растворы, содержащие карбонат кальция, часть опытов также проведена на модельных растворах сульфата кальция.

Изучая интенсивность накопления кристаллического осадка в мембранном аппарате, а также динамику изменения концентрации ингибитора в циркулирующем растворе, соискатель установил взаимосвязь ингибирующего действия реагента и интенсивности его адсорбции на кристаллах осадка. Визуализация процесса роста кристаллов и ингибирования с помощью электронной и флуоресцентной микроскопии

позволила соискателю сделать ряд выводов о местах сорбции ингибитора и выявить роль микропримесей в этом процессе.

Третья глава также посвящена экспериментальным исследованиям, в частности, с помощью изучения химического состава фосфонатных ингибиторов выявлена взаимосвязь содержания МИДФ с их эффективностью по предотвращению образования отложений. Представлены результаты экспериментов с нанофильтрационными мембранами, которые подтверждают их меньшую склонность к зарастанию осадком малорастворимых солей.

В главе приведены также экспериментальные данные, на примере которых продемонстрировано определение эксплуатационных показателей и поиск оптимальных параметров работы мембранных установок, в том числе предназначенных для опреснения морских и подземных минерализованных вод.

В **четвертой главе** соискатель на базе данных, полученных на реальном объекте, выполняет экономический расчет с целью обоснования методики выбора ингибитора для промышленной мембранной установки. На примере очистки подземных вод для питьевого водоснабжения проведена экономическая оценка различных подходов к применению мембранных технологий для снижения содержания ионов жесткости и некоторых микроэлементов. Соискатель доказывает преимущества применения нанофильтрационных мембран для ряда случаев и предлагает технологическую схему с блоком утилизации концентрата.

В **заключении** представлены основные выводы из выполненного диссертационного исследования, пути использования его результатов, указаны рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

В **приложении** приводится справка о внедрении результатов диссертационного исследования и список публикаций соискателя по теме работы.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность результатов, представленных в диссертации, достигается за счет использования общепринятых научных подходов и принципов проведения экспериментов, благодаря чему полученные данные и выводы, согласуются с поставленными задачами работы.

Основные теоретические положения, экспериментальные результаты и сделанные выводы представлены в достаточном количестве публикаций и доложены на конференциях различного уровня.

Новизна результатов диссертационной работы заключается в сделанных уточнениях в теории механизма действия ингибиторов и ряде рекомендаций по их практическому применению, основанных на экспериментальных исследованиях соискателя и анализе литературных данных.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии теоретических основ ингибирования отложений малорастворимых солей в мембранных аппаратах, в частности:

- в установлении зависимости эффективности процесса ингибирования от скорости их адсорбции на отложениях кристаллической структуры;
- в выявлении влияния МИДФ на эффективность фосфонатных ингибиторов;
- в установлении взаимодействия ингибитора и микрогетерогенных примесей в процессе образования кристаллов малорастворимых солей;
- в подтверждении положительного эффекта применения в системе предподготовки методов ультрафильтрации и нанофильтрации для снижения интенсивности образования отложений в обратноосмотических установках.

Практическая значимость работы состоит в разработке рекомендаций по подбору и применению эффективных ингибирующих веществ, и использованию нанофильтрационных мембран, что позволяет существенно сократить расходы реагентов и снизить расходы концентрата при эксплуатации опреснительных установок. Высокий экономический эффект достигается благодаря применению разработанной автором методики оценки эффективности ингибиторов, основанной на измерении скорости их адсорбции.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Степень обоснованности научных положений, логичность сделанных выводов и рекомендаций обеспечивается грамотной постановкой целей и задач исследований, основанных на анализе большого количества отечественных, а также зарубежных литературных источников и последовательной их реализацией с соблюдением подходов к научно-исследовательской работе и использованием основ мембранной технологии.

Материалы диссертации изложены в 15 печатных работах, из них 8 – в журналах, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», 4 – в журналах, индексируемых реферативными базами Web of Science и Scopus. Основные результаты работы представлены на одной всероссийской и двух международных конференциях. Следует отметить, что работа в 2019 году была поддержана грантом РФФИ.

Замечания

1. Насколько обосновано было проведение опытов в первой и второй серии экспериментов с растворами, содержащими карбонат кальция на одном мембранном элементе? Так как реагентная промывка мембранного элемента не гарантирует полное удаление осадка, его остаточные количества могут исказить результаты последующих экспериментов.

2. Требуется пояснений вывод о механизме действия ингибитора, сделанный во второй главе по результатам экспериментов с модельными растворами сульфата кальция. Как в данном случае определяется эффективность процесса ингибирования?

3. Не ясно, как было рассчитано относительное снижение удельной производительности мембранных элементов, указанное в таблице 4.3. По данным о проектной и фактической производительности установки по пермеату, приведенным в таблице 4.2 получаются другие цифры.

4. В таблице 4.3 указано, что эффективность ингибирования солеотложений с использованием реагента Аминат-К составила 98-99%. Таких высоких значений не наблюдалось при проведении экспериментов в главе 2, о чем можно косвенно судить из приведенных там данных о скорости осадкообразования и количеству накопленного осадка карбоната кальция. С чем связана столь высокая эффективность, полученная в производственных условиях?

5. Следовало бы оговорить в главе 4, что при проведении технико-экономического сравнения рассматриваются только те составляющие эксплуатационных затрат, на которые влияет изменение дозы ингибитора и его эффективность, изменение количества мембранных элементов, их средняя производительность и регулярность химических промывок. То есть в таблицах 4.2, 4.6, 4.7 графа «Итого годовые эксплуатационные затраты» это не полные эксплуатационные затраты, а только часть их, которая подвергается изменению.

6. При проведении технико-экономического сравнения технологических схем с обратноосмотическими и нанофильтрационными мембранами в разделе 4.2 и выводе экономического эффекта не учитывается рост капитальных затрат для схемы с нанофильтрационными мембранами, так как их количество в водоподготовительной установке значительно больше. Здесь можно порекомендовать автору провести более полный экономический расчет с учетом и капитальных и эксплуатационных затрат, в том числе, с учетом всего жизненного цикла системы водоподготовки. Такое сравнение позволило бы выявить действительно ли предлагаемая схема будет выгоднее с учетом всех факторов, а не только затрат на эксплуатацию, которые, безусловно, для нее ниже.

Других замечаний нет.

Заключение

Оценивая работу в целом, следует отметить, что диссертационная работа Головесова Владимира Алексеевича является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей научные результаты, выводы и рекомендации, отличающиеся новизной. Диссертация на тему «Повышение эффективности технологии опреснения воды методом обратного осмоса на основе исследований механизма действия ингибиторов осадкообразования» отвечает 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 ее автор Головесов Владимир Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.4 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук
(специальность 05.23.04
Водоснабжение и канализация),
старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник
лаборатории водоочистного
оборудования, Акционерное
общество «Научно-



Аскерния Афрасияб Абдуллаевич

исследовательский институт
коммунального водоснабжения и
очистки воды»

«02» мая 2024 г.

Адрес: 125371, г. Москва, Волоколамское шоссе, 87, стр. 1

E-mail: office@niikvov.ru

Тел: +7 (495) 491-69-69



*Сергей А.А. усовершенств
оффиса картов* / А.Д. Уленец