

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Каграманова Георгия Гайковича 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

Актуальность темы исследования

Повышение эффективности мембранных технологий опреснения воды уже само по себе является актуальной задачей, так как относительная высокая стоимость оборудования и чувствительность обратного осмоса к условиям эксплуатации заставляют совершенствовать технологию и ее аппаратное оформление. Успешная эксплуатация обратноосмотических установок во многом зависит от предварительной обработки воды, к которой можно отнести и дозирование ингибиторов осадкообразования. Совершенствование ингибиторов, основанное на изучении механизмов их действия, является одной из важных задач мембранной науки.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа Головесова В.А. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 128 страниц машинописного текста, включая 32 рисунка и 13 таблиц. Количество литературных источников — 121, в том числе 93 — зарубежных.

Во **введении** содержится обоснование актуальности темы диссертационного исследования, приведена степень разработанности темы исследования, поставлены цели и задачи работы, приведены научная

новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования.

В первой главе приведен анализ научно-технических работ по вопросам формирования отложений малорастворимых солей при эксплуатации установок обратного осмоса и нанофильтрации, факторам, влияющим на этот процесс, и методам предотвращения отложений, экспериментального изучения эффективности ингибиторов и существующим проблемам эксплуатации мембранных установок.

На основании проведенного анализа литературы автор делает выводы о перспективности дальнейших исследований для установления закономерностей образования кристаллических отложений в зависимости от типа мембран, свойств ингибитора и его дозы. Для изучения механизма действия ингибиторов и мест их локализации решено использовать ингибиторы, содержащие флуоресцентные метки. Полученные данные автор предполагает использовать при разработке технологической схемы частичного обессоливания воды, характеризующейся меньшими эксплуатационными затратами и расходом концентрата.

Во второй главе описывается методика проведения лабораторных экспериментов и используемые материалы и оборудование. В своих исследованиях автор использует три фосфонатных ингибитора известных марок и два ингибитора с флуоресцентными метками, на основе полиакриловой кислоты и фосфоновой кислоты. Основной объем экспериментов проведен с осадком карбоната кальция, который наиболее часто образуется в мембранных аппаратах при обработке природных вод. Одну серию испытаний ингибиторов автор провел на модельных растворах сульфата кальция. При проведении испытаний автор использовал известную методику определения скорости накопления кристаллического осадка в мембранном элементе и адаптировал ее для определения скоростей

адсорбции ингибитора в процессе обратноосмотического обессоливания воды.

Полученные экспериментальные данные позволили установить взаимосвязь между способностью ингибитора замедлять рост осадков карбоната и сульфата кальция и его адсорбционной способностью. В частности, именно скорость адсорбции автор предлагает в дальнейшем как критерий сравнения различных ингибиторов. На основании изучения мест локализации ингибитора на кристаллическом осадке и на мембране с помощью флуоресцентной микроскопии автор делает выводы о взаимодействии ингибитора и микрогетерогенных примесей воды, которые служат центрами кристаллизации.

В третьей главе описываются эксперименты, направленные на создание научной базы для практического применения полученных ранее данных об эффективности ингибиторов и разработки технологической схемы частичного обессоливания воды.

Обработав данные по скоростям адсорбции ингибиторов, наблюдаемых при обратноосмотическом обессоливании воды, автор предлагает использовать их как инструмент сравнения эффективности различных ингибиторов (по-видимому, для случая предотвращения образования садка карбоната кальция, независимо от показателей качества исходной воды — жесткости, щелочности, общего солесодержания), а кроме того, делает вывод о достаточности малых доз (2 мг/л) наиболее эффективных фосфонатных ингибиторов для успешного предотвращения роста осадка карбоната кальция. Также, на основе изучения химического состава различных фосфонатных ингибиторов, автор делает вывод, что их эффективность во многом зависит от процентного содержания МИДФ в их составе.

Далее автор справедливо обращает свое внимание на нанофильтрацию, как метод, способный решить ряд проблем, возникающих при подготовке

питьевой воды из природных водоисточников с помощью обратного осмоса. Приводятся результаты эксперимента, подтверждающего, что скорости накопления кристаллического осадка на нанофильтрационных мембранах существенно меньше, чем на обратноосмотических.

На примере опреснения морской воды автор диссертации демонстрирует, как эффективность ингибитора может влиять на эксплуатационные затраты.

Четвертая глава посвящена технико-экономическому обоснованию рекомендаций по использованию тех или иных марок ингибиторов или технологических схем очистки подземной воды. Предлагаемые автором подходы могут быть использованы на практике при проектировании установок водоподготовки или при оценке уже существующих станций, а также при выборе подходящего ингибитора для мембранной установки.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность полученных результатов, представленных в диссертационной работе, обеспечена использованием апробированной методики проведения испытания ингибиторов, достаточным количеством проведенных опытов, использованием современного, сертифицированного и калиброванного оборудования и стандартных методик анализа качества воды. Экспериментальные данные обработаны и представлены в достаточно ясной форме. Выводы, представленные в главах и в заключении диссертации, согласуются с результатами экспериментально-теоретических исследований, логически взаимосвязаны и обоснованы.

К основной научной новизне диссертационной работы можно отнести следующее:

- установлена взаимосвязь между адсорбционной способностью ингибитора и его эффективностью;

- экспериментально подтверждена возможность использования малых доз фосфонатных ингибиторов и установлена решающая роль содержания МИДФ в их составе на их эффективность;

- с помощью ингибиторов с флуоресцентными метками установлены места локализации ингибитора, а также сделан вывод о взаимодействии ингибитора и микрогетерогенных примесей воды, которые служат центрами кристаллизации;

- доказан положительный эффект применения ультраfiltrации для предварительной обработки воды перед установкой обратного осмоса.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в изучении механизма действия ингибиторов отложений малорастворимых солей с применением современных методов исследования, что позволило уточнить этот механизм и выявить роль микрогетерогенных примесей во взаимодействии ингибитора и кристаллических отложений. К теоретическим и практически значимым результатам можно отнести использование оценки скоростей адсорбции ингибиторов при опреснении воды методом обратного осмоса для оценки его эффективности, а также данные, подтверждающие, что использование нанофильтрационных мембран позволяет снизить интенсивность накопления осадка карбоната кальция и тем самым сократить эксплуатационные расходы. Практическую ценность работы также составляют рекомендации по выбору типа ингибитора и технологической схемы для частичного обессоливания воды.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных автором, подтверждается соблюдением научного подхода при проведении всех этапов диссертационного исследования,

использованием свежих литературных источников, большим объемом экспериментальных данных и последовательным анализом полученных результатов.

Материалы диссертационной работы достаточно емко и ясно представлены в автореферате и в научных статьях автора, в том числе 8 из них опубликованы в журналах, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты на соискание ученой степени кандидата наук», а также доложены на научных конференциях.

Замечания

1. Из экспериментов по изучению адсорбции ингибитора на мембране автором делаются нелогичные выводы о том, что ингибитор не может воздействовать на начальной стадии образования кристаллического осадка через «блокировку» потенциально возможных центров кристаллизации на поверхности мембраны.

Во-первых, приведенные причины более интенсивной адсорбции ингибитора в дистиллированной воде по сравнению в водопроводной, неубедительны. Зародыши кристаллов если и представляют более привлекательную мишень для адсорбции ингибитора, то они должны не конкурировать с поверхностью мембраны, а увеличивать общую интенсивность адсорбции ингибитора, тем более, как утверждается в работе, их суммарная площадь меньше площади мембраны.

Во-вторых, даже если ингибитор покрывает всю поверхность мембраны, то вместе с этим он «блокирует» и возможные центры кристаллизации на ней, что должно оказывать положительный эффект, действуя синергетически вместе с блокировкой центров кристаллизации в объеме воды.

2. Описание экспериментов по десорбции ингибитора с поверхности мембраны во второй главе в опытах с карбонатом кальция представляется

излишним, так как ингибирующее действие сорбированного на мембране реагента вряд ли имеет перспективы промышленного применения, а результаты этого опыта не используются в дальнейшем обсуждении.

3. В разделе 3.1 автор упоминает работы Первова А.Г., в которых достаточно убедительно доказывается, что источником кристаллообразования в рулонных мембранных аппаратах в основном являются застойные зоны — места, где узлы турбулизаторной сетки соприкасаются с поверхностью мембраны. При описании механизма действия ингибиторов и формулировании выводов о местах зародышеобразования в мембранных аппаратах эта теория автором никак не учитывается.

4. Разделы 3.5 и 3.6, посвященные экспериментам по опреснению морской воды, представляются избыточными, так как основное внимание в диссертационной работе направлено на применение обратного осмоса и нанофильтрации для обработки маломинерализованных вод. Приведенных материалов достаточно для кандидатской диссертации и не было необходимости приводить в ней все эксперименты, которые проводил автор в ходе своей исследовательской работы по данной теме.

Заключение

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:

доктор технических наук
(специальность 05.17.18 Мембраны
и мембранная технология),
профессор, заведующий кафедрой
мембранной технологии,
ФГБОУ ВО «Российский химико-
технологический университет
имени Д.И. Менделеева»

Каграманов Георгий Гайкович

«27» апреля 2024 г.

Адрес: 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9, стр. 1
E-mail: kagramanov.g.g@muctr.ru
Тел.: +7 (499) 978-82-60

