

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ В РФ

DOI: 10.34828/UdSU.2023.60.83.009

УДК 541.13

И.Т. Гарипов, Praveen Thaggikuppe Krishnamurthy, P.P. Хайдаров

НОВЫЙ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЙ АНТИСКАЛАНТ ДЛЯ МЕМБРАННЫХ СИСТЕМ ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ

Аннотация. Статья посвящена актуальному вопросу создания нового импортозамещающего антискаланта (ингибитора осадкообразования) для защиты обратноосмотических мембран в установках опреснения воды, эксплуатируемых в Узбекистане. Опыт показывает, что при очистке природных солоноватых вод, характерных для нашей Республики, происходит быстрое загрязнение обратноосмотических мембран отложениями минеральных солей и коллоидных частиц, что приводит к падению производительности мембран с их последующим выходом из строя, т.е. резкому сокращению срока службы/эксплуатации дорогостоящих систем обратноосмотической очистки воды. Показано, что разработанный экономичный импортозамещающий антискалант позволяет предотвратить проблему осадкообразования на мембранах, не уступая по своим характеристикам более дорогостоящим зарубежным аналогам. С 2021 года системы мембранного обессоливания воды с применением нового отечественного антискаланта активно внедряются в Узбекистане для обеспечения населения Республики качественной питьевой водой.

Ключевые слова: антискалант, вода, водоподготовка, ингибитор осадкообразования, обратный осмос, опреснение.

Для цитирования: Гарипов И.Т., Praveen Thaggikuppe Krishnamurthy, Хайдаров Р.Р. Новый импортозамещающий антискалант для мембранных систем опреснения воды // Управление техносферой: электрон. журнал, 2023. Т.6. Вып.3. URL: <https://technosphere-ing.ru> С. 414- 434. DOI: 10.34828/UdSU.2023.60.83.009

Введение

В последние годы в Узбекистане начали широко применяться мембранные установки опреснения воды, основанные на методе обратного осмоса. Эти установки незаменимы при организации питьевого водоснабжения

в тех районах Узбекистана, где вода характеризуется повышенными значениями минерализации, при снабжении питьевой водой отдаленных от центрального водоснабжения населенных пунктов, вахтовых поселков нефтегазовых месторождений, развертывании локальных систем водоснабжения на объектах, использующих артезианские/поверхностные воды, не отвечающие требованиям O'zDST 950:2011 (в пищеблоках предприятий, особо важных объектов, больниц и пр.) Эти установки должны соответствовать утвержденным Республиканским санитарным нормам, правилам и гигиеническим нормативам «Оценки эффективности опреснительных установок, работающих по принципу обратного осмоса и контроля за их эксплуатацией в условиях Узбекистана» (СанПиН № 0156-04 от 9 июня 2004 г Республики Узбекистан).

Существенным фактором, ограничивающим применение обратного осмоса, является наличие в исходных водах, как в поверхностных и артезианских, так и в сточных, различных загрязнений. Эти загрязнения способны привести к осадкообразованию на мембранах, которое ведет к резкому ухудшению эксплуатационных характеристик мембранных установок [1–3]. Снижения пагубного воздействия таких загрязнений: ионов кальция и магния (ионы жесткости), железа и марганца, сульфатов и карбонатов, можно добиться способом, который направлен на уменьшение способности минеральных соединений к образованию плотных осадков на мембранах и заключается в дозировании специальных реагентов в исходный поток, идущий на установки обратного осмоса. Эти вещества принято называть ингибиторами осадкообразования или антискалантами (от англ. antiscalant) [4]. Использование антискалантов позволяет надежно защитить мембраны обратноосмотических установок [5–6], причем капитальные и эксплуатационные затраты на такой способ подготовки значительно ниже, чем при использовании традиционных методов.

Зарубежные компании разработали и успешно реализуют на рынке Узбекистана целый ряд антискалантов, которые в минимальном количестве (2 – 5 мг/л) дозируются в исходный поток воды с целью воспрепятствовать образованию осадка на мембранах. Стоимость импортных антискалантов довольно высока (годовые затраты на них могут достигать до 10–15 % от общей стоимости установки обратного осмоса). Следует также отметить, что рекомендуемая доза антискалантов не варьируется с изменением качества воды и зачастую является завышенной.

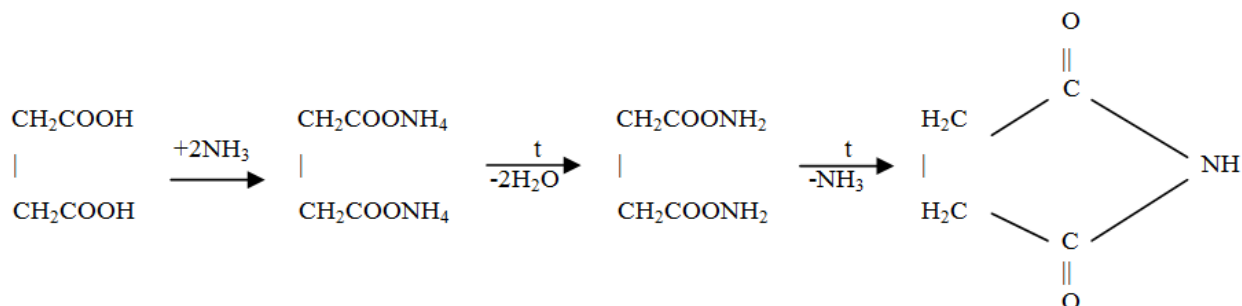
Таким образом, расходы на приобретение антискалантов для поддержания высокой производительности мембран вносят наибольший вклад в общую сумму эксплуатационных расходов обратноосмотических установок, применяемых в Узбекистане. На сегодняшний день является крайне актуальным вопрос организации импортозамещающего производства недорогих антискалантов, максимально адаптированных к составу артезианских вод нашей Республики.

При разработке нового вида антискаланта нами учитывались имеющиеся литературные данные о различных соединениях, используемых в рецептурах антискалантов. Как правило, антискаланты в своем составе содержат, в основном, комплексообразующие вещества [7], которые образуют прочные комплексы с ионами кальция и магния. Для ингибирования образования отложений в основном применяют фосфонаты и полиакрилаты [8], которые препятствуют росту кристаллов труднорастворимых солей щелочноземельных металлов, но при этом постепенно загрязняют окружающую среду, накапливаясь в почве и водоемах. Проведенный литературный анализ предположил возможность получения более эффективного антискаланта с помощью растворов, содержащих в своем составе экологически безопасные комплексообразующие вещества, которые не загрязняют окружающую среду. Применение биологически расщепляемых производных дикарбоновых кислот

имеет преимущество, так как они могут заменить нерасщепляемые или трудно расщепляемые фосфонаты и полиакрилаты. К таким соединениям относятся производные янтарной кислоты, которые обладают не только высокой комплексообразующей способностью к ионам щелочноземельных металлов, но и тем, что не накапливаются в почве и водоемах, а разлагаются на усваиваемые растениями и живыми организмами фрагменты микроэлементов и аминокислот. Универсальность комплексообразующих свойств иминодиянтарной и этилендиаминдиянтарной кислот, их нетоксичность и возможность крупномасштабного производства привлекает все большее внимание к этим перспективным комплексонам [9–10]. Это связано с разработкой простых и доступных методов их синтеза и наличием у них ряда специфических полезных свойств. В публикациях производные дикарбоновых кислот приводятся в качестве пригодных для очистки фильтрующих материалов от карбонатных отложений [11]. Однако до настоящего времени отсутствуют данные, которые подтверждали бы возможность применения производных дикарбоновых кислот в мембранных процессах в качестве ингибиторов осадкообразования.

Материалы и методы

На начальном этапе в процессе разработки новой композиции экономичного антискаланта подбирали условия получения иминодиянтарной кислоты [12]. Синтез осуществляли по реакции взаимодействия янтарной кислоты с раствором аммиака по реакции:



Эксперименты по получению полимерного комплексона на основе янтарной кислоты проводили при комнатной температуре ($\sim 25^\circ\text{C}$). В качестве полимера был взят «Lupasol» PR 8515, содержащий иминную группу. Были получены растворы, которые исследовались в дальнейшем в качестве ингибиторов осадкообразования. Для оценки эффективности полученных растворов антискалантов разработана методика, суть которой состоит в создании условий, способствующих образованию осадков малорастворимого карбоната кальция, т.к. карбонат кальция является одним из распространенных осадков, выделяющихся при мембранной очистке воды. Причиной осаждения карбоната кальция является низкая растворимость карбоната кальция $\text{PP}_{\text{CaCO}_3} - 1,2 \cdot 10^{-8}$ при температуре 20°C [13], чему соответствует его сравнительно малая растворимость в воде – 11-14 мг/л. Для этого получали пересыщенные растворы и оценивали возможность подавления осаждения с использованием полученных антискалантов. Растворы солей готовили путем растворения взятых навесок в дистиллированной воде. Использовали хлорид кальция марки «хч», карбонат натрия «чда», из которых готовили растворы заданных концентраций. На первом этапе проводили ориентировочную оценку антискалантов добавлением их к пересыщенному раствору карбоната кальция. Через 30 минут были взяты аликвоты из этих растворов и высушены на стеклянной подложке. Аналогично была взята аликвота из раствора, не содержащего антискалант. Высушенные образцы подвергли анализу на оптическом микроскопе марки МБУ-5, степень увеличения – 300.

Эффективность антискалантов определяли также:

- 1 – по изменению содержания кальция или величины общей жесткости, определенных титрометрическим методом [14];
- 2 – по количеству образовавшегося осадка [15-16].

В 1-ом случае были приготовлены модельные растворы с начальной общей жесткостью $\sim 5,6$; $7,0$ и 15 мг-экв/л. Добавление антискаланта

осуществлялось в виде раствора с концентрацией 1 г/л. К 100 мл исследуемой воды добавляли от 1 до 6 мл раствора антискаланта, что соответствует концентрации его в пробе от 10 до 60 мг/л. Затем определяли общую, карбонатную и некарбонатную жесткость полученных растворов. Проводили термическую обработку растворов в течение 30 минут и после охлаждения растворов определяли общую жесткость. Для определения общей жесткости использовали комплексометрический метод, основанный на образовании прочного комплексного соединения трилона Б с ионами кальция и магния. Общую жесткость воды (X), мг-экв/л вычисляли по формуле

$$X = V_1 \cdot 0,1 \cdot K \cdot 1000 / V_2 , \quad (1)$$

где: V_1 – объем трилона Б, израсходованного на титрование, см^3 ;

K – поправочный коэффициент;

V_2 – объем воды, взятый для анализа, см^3 .

Для определения ионов кальция использовали комплексометрический метод с использованием в качестве индикатора – мурексид.

Для измерения показателя рН раствора применяли переносной прибор рН-метр. Эффективность антискаланта определяли по изменению содержания кальция или величины общей жесткости ($J_{\text{кон.}}$ и $J_{\text{исх.}}$). Процент ингибирования рассчитывали по формуле

$$Z = (J_{\text{кон.}}/J_{\text{исх.}}) \cdot 100 \% . \quad (2)$$

Во втором случае эффективность антискалантов оценивали по количеству выпавшего осадка карбоната кальция. Процесс осадкообразования контролировали визуально-микроскопическим методом с помощью микроскопа Veho DX-1 с цифровой камерой, подключенной к компьютеру. Методика позволила наблюдать за выпадением осадка и его изменением во времени, выполнять отдельные снимки, фиксировать время начала выпадения осадка (индукционный период). Длительность наблюдения за образованием осадка -10 минут, фотографии объекта исследования выполнялись на 1, 3, 5 и 10 минутах

опыта. Интенсивность осадкообразования определяли переводом фотографий графическим редактором в черно-белую палитру и нахождением программой APFill Ink& Coverage Meter (AVPSOFT, Россия) процента (%) заполнения фотографии цветом.

Подбирали оптимальную дозу антискаланта, при которой образование осадка не наблюдалось в течение 1 часа, затем в дальнейшем уменьшали дозировку до тех пор, пока не наблюдалось образования осадка. Таким образом, определяли минимальную дозу, при которой не наблюдалось выпадение осадка, и дозу, при которой количество осадка значительно понизилось по сравнению с «холостым» экспериментом.

При сравнительном изучении вида и дозы антискалантов на процесс осаждения были использованы доступные на рынке Узбекистана препараты – АКВА ИС-2 (Россия), Аминат К (Россия) и Vitek 3000 (Китай), хорошо зарекомендовавшие себя в ходе применения на различных объектах Республики.

Результаты и обсуждение

Новый экономичный антискалант (ингибитор осадкообразования неорганических веществ на обратноосмотических мембранах), разработанный в ИЯФ АН РУ, состоит из производной дикарбоновой кислоты и аминоксодержащего полимера с добавлением поверхностно-активных веществ.

Снимки полученных осадков при добавлении антискаланта к пересыщенному раствору карбоната кальция приведены на рис.1 и демонстрируют изменение кристаллической структуры карбоната кальция.

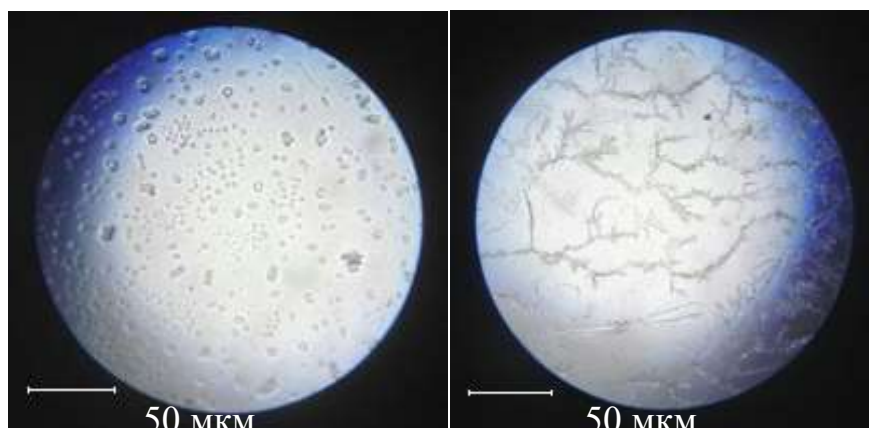


Рис.1. Фотографии полученных осадков карбоната кальция при 280 кратном увеличении: слева – карбонат кальция; справа – карбонат кальция в присутствии разработанного антискаланта

Результаты определения жесткости в растворах (табл. 1) показали, что полученный антискалент ингибирует процесс осадкообразования карбоната кальция.

Таблица 1

Результаты определения жесткости в растворах с добавлением полученных антискалентов (Реагент: 0 – без антискаланта; 1 – с антискалентом)

№	Ж _{общ.} МГ-ЭКВ/Л	Са МГ-ЭКВ/Л	Mg МГ-ЭКВ/Л	pH	Реагент	Ж _{кон.} МГ-ЭКВ/Л	%
1	5,6	3,5	2,1	8,2	0	0,20	3,5
					1	5,58	99,6
2	7,0	4,3	2,7	8,5	0	0,35	5,0
					1	6,97	99,6
3	15,0	10,0	5,0	7,8	0	0,87	5,8
					1	14,9	99,2

В табл.2 представлены характеристики антискалентов, используемых в процессе сравнения.

Таблица 2

Состав и основные характеристики используемых антискалантов при проведении сравнительных экспериментов

Марка	Состав	Цвет	Агрегатное состояние	Плотность при 20°C г/см ³	pH
АКВА-ИС-2	Водный раствор поликарбоксилатов и производного фосфоновой кислоты	бесцветная	жидкость	1,18	2-3
Аминат К	Водный раствор натриевых солей метилиминодиметилфосфоновой и нитрилтриметилфосфоновой кислот	Бесцветная или зеленоватая	жидкость	1,20-1,30	5-7
Vitek 3000	44 % раствор полиакриловой кислоты	Светло-желтая	жидкость	1,15	2-3
Разработанный антискалант	Раствор полиаминодиянтарной кислоты	Бесцветная или светло-желтая	жидкость	1,10-1,15	3-3,5

Было найдено, что наиболее удобно наблюдать за выпадением осадка карбоната кальция при концентрации, превышающей его растворимость в 10–15 раз. Такая концентрация достаточна для четкой фиксации начала образования осадка. На первом этапе подбирали условия образования осадков, позволяющие контролировать процесс в отсутствие антискалантов таким образом, чтобы значение Р (количество образовавшегося осадка) составляло примерно 20-30 %, что обеспечивает хорошую воспроизводимость результатов эксперимента. Для дальнейших исследований была выбрана концентрация карбоната кальция, равная 250 мг/л, достаточная для четкой фиксации начала образования осадка – индукционный период составил ~ 30 с. На рис. 2 приводятся фотографии осадка карбоната кальция, полученные в различные промежутки времени при его концентрации в растворе 250 мг/л. Было также найдено, что скорость образования осадка карбоната кальция при перемешивании выше, чем без перемешивания. Поэтому в дальнейшем после

объединения растворы помещали на магнитную мешалку и проводили перемешивание в течение 30 секунд.

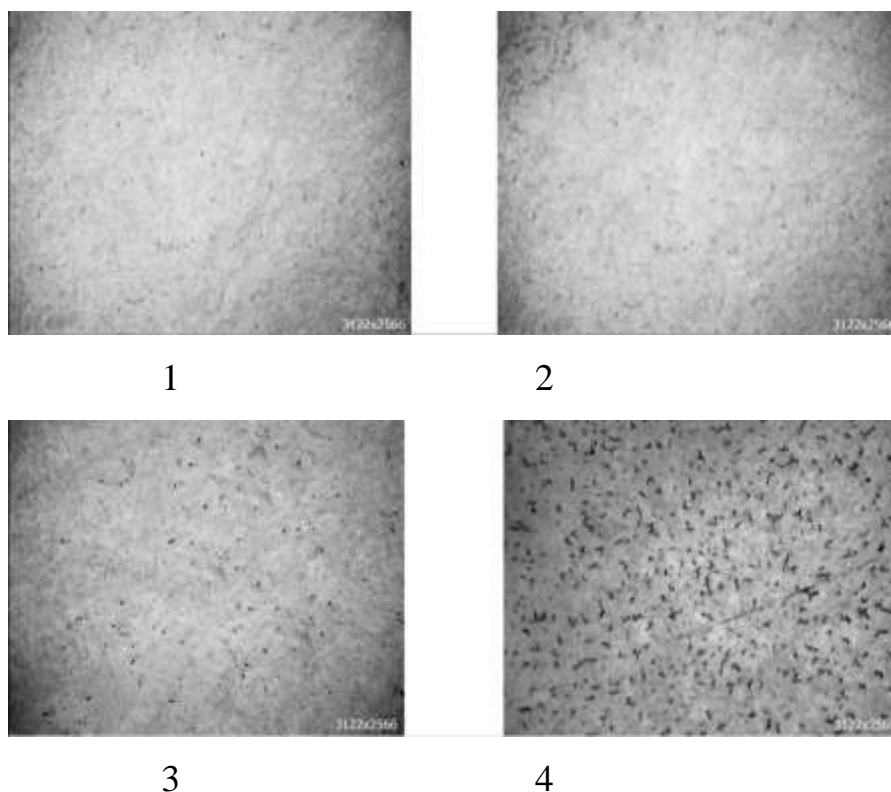


Рис.2. Фотографии осадка карбоната кальция, полученного при его концентрации в растворе 250 мг/л на 1, 3, 5 и 10 минутах после начала эксперимента

В опытах с антискалантом необходимая концентрация ингибитора достигалась путем введения его в раствор хлорида кальция. Продолжительность опытов и условия съемки были такими же, как и в опытах без антискалантов. Проведены эксперименты по изучению выпадения осадка карбоната кальция при различных концентрациях и значениях рН. Концентрация карбоната кальция варьировалась от 150 до 300 мг/л. По полученным данным строили зависимость показателя Р (в %) от времени (рис. 3–5).

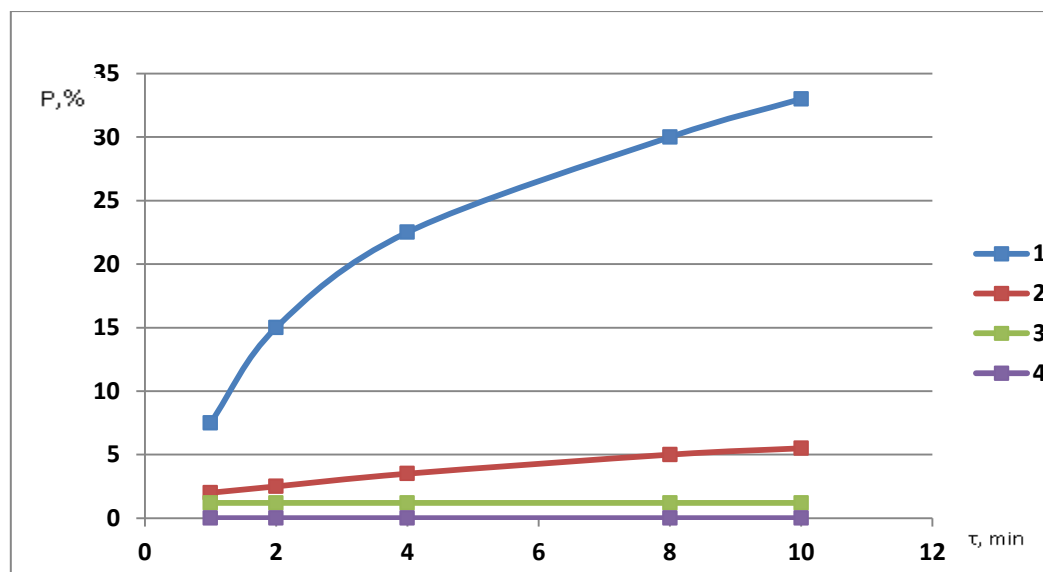


Рис.3. Зависимость количества осадка карбоната кальция от времени при добавлении различных антискалантов (концентрация антискаланта – 4 мг/л): 1 – карбонат кальция без антискаланта; 2 – в присутствии антискаланта Аминат К; 3 – Vitek 3000; 4 – разработанный антискалант

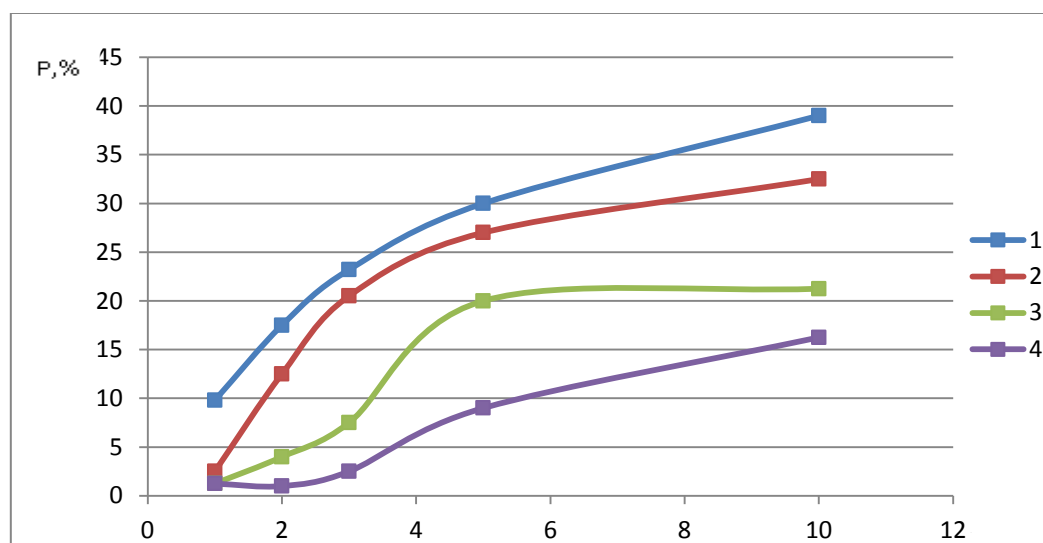


Рис.4. Зависимость количества осадка карбоната кальция при различных концентрациях, мг/л: 1 – 300; 2 – 250; 3 – 200; 4 – 150

Как следует из рисунка, уменьшение концентрации карбоната кальция с 300 до 150 мг/л также позволяет четко фиксировать процесс образования осадка.

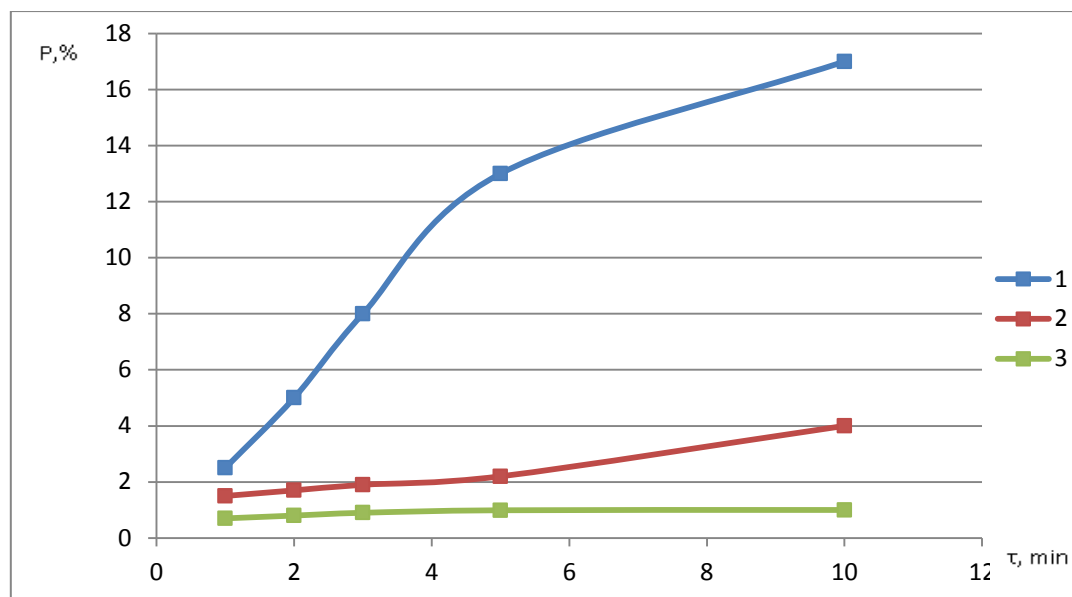


Рис.5. Зависимость количества осадка карбоната кальция с концентрацией 300 мг/л от времени при разных значениях pH: 1 – pH=9,5; 2 – 9,0; 3 – 8,5

Анализ рис. 5 показывает, что даже небольшое снижение pH ведет к резкому снижению количества осадка. В результате проведенных работ выбраны условия получения осадка и контроля процесса осадкообразования микроскопическим методом: 1 – Состав осадка – карбонат кальция; 2 – Концентрация карбоната кальция 250-300 мг/л; 3 – Исходные растворы для получения осадка – CaCl_2 и Na_2CO_3 ; 4 – pH раствора – 9,5-10,0; 5 – перемешивание на магнитной мешалке – 30 сек; 6 – Микроскоп Veho DX-1 с цифровой камерой; 7 – Степень увеличения микроскопа 400; 8 – Фотографирование проводили через 5-10 минут после объединения растворов.

В табл. 3 представлены полученные минимальные концентрации антискалантов, при которых не происходит образование осадка карбоната кальция. Найдено, что антискаланты «Vitek 3000» и разработанный нами антискалант практически полностью предотвращают образование осадка, а препараты «АКВА-ИС-2» и «Аминат К» снижают количество осадка на 30 и 50 % соответственно. При использовании их в качестве ингибиторов, как видно из полученных данных, необходимо применение более высоких концентраций,

т.к. при слишком малых количествах в исходной воде фосфонат не в состоянии замедлить процессы кристаллизации, и в системе продолжается образование осадка. Из зависимости, представленной на рис. 3, видно, что в выбранных условиях антискалант «Vitek 3000» и новый антискалант полностью подавляют осаждение карбоната кальция, а антискалант «Аминат К» предотвращает образование осадка карбоната кальция не полностью, однако значительно снижает его количество, что указывает на его относительную эффективность, т.к. в реальных обратноосмотических процессах содержание карбоната кальция значительно ниже, чем в экспериментах.

Таблица 3

Минимальные концентрации антискалантов, используемых для подавления образования осадка карбоната кальция

Марка препарата	АКВА-ИС-2	Аминат К	Vitek 3000	Разработанный антискалант
Минимальное количество, при котором не наблюдается осадкообразования, мг/л	15,0	6-10	3-5	4-6
Количество, рекомендуемое для предотвращения образования осадка, мг/л	30,0	12-20	6-10	8-10

Гидроксид железа также относится к малорастворимым примесям ($PP_{Fe(OH)_3} = 1,1 \cdot 10^{-36}$) [10], которые загрязняют поверхность обратноосмотических мембран при очистке воды. При содержании $\sim 0,1$ мг/л Fe^{3+} на мембране уже начинает формироваться осадок гидроксида железа.

Проведенные эксперименты по осаждению гидроксида железа при различных рН и с различными щелочными агентами (гидроксид и карбонат натрия) показали, что с увеличением рН от 8 до 10 количество осадка уменьшается и при рН 10 осадок практически не образуется (рис. 6). В качестве щелочного агента был выбран гидроксид натрия, так как при этом образовалось большее количество осадка, чем в опытах с карбонатом натрия (рис. 7). При

предварительном перемешивании реагентов наблюдается увеличение скорости образования осадка гидроксида железа. Исследуемую систему готовили путем сливания растворов соли трехвалентного железа (FeCl_3) с концентрацией 5-10 мг/л и 0,1 н раствора гидроксида натрия до достижения $\text{pH}=8-10$. Перемешивание осуществляли в течение 1 минуты на магнитной мешалке. Добавление антискалантов показало, что для предотвращения образования осадка гидроксида железа минимальная концентрация антискаланта равна от 2 до 8 мг/л и зависит от содержания железа в исходной воде.

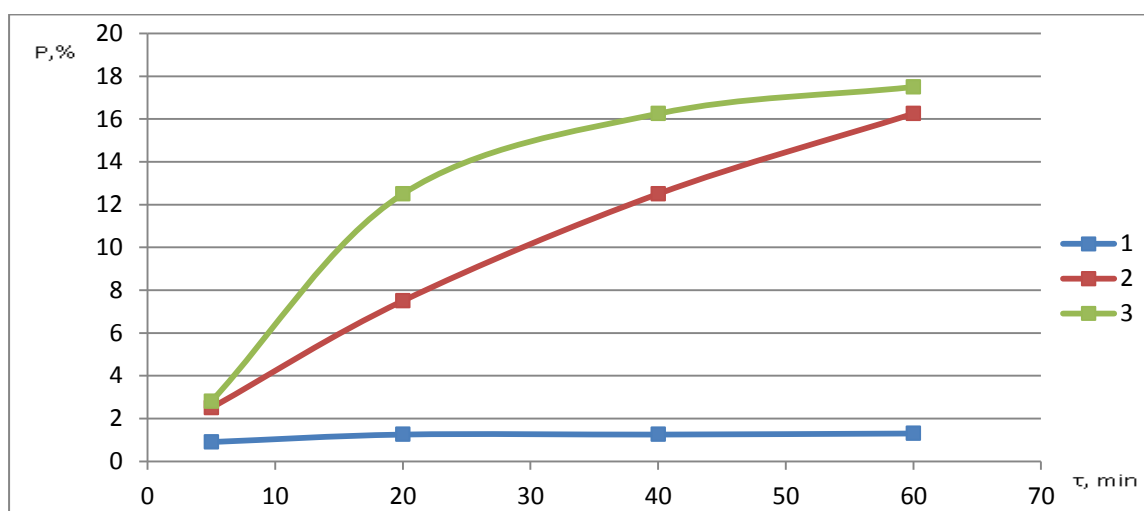


Рис.6. Зависимость количества осадка гидроксида железа от pH:
1- pH ~10; 2 – pH ~ 9; 3 – pH ~ 8

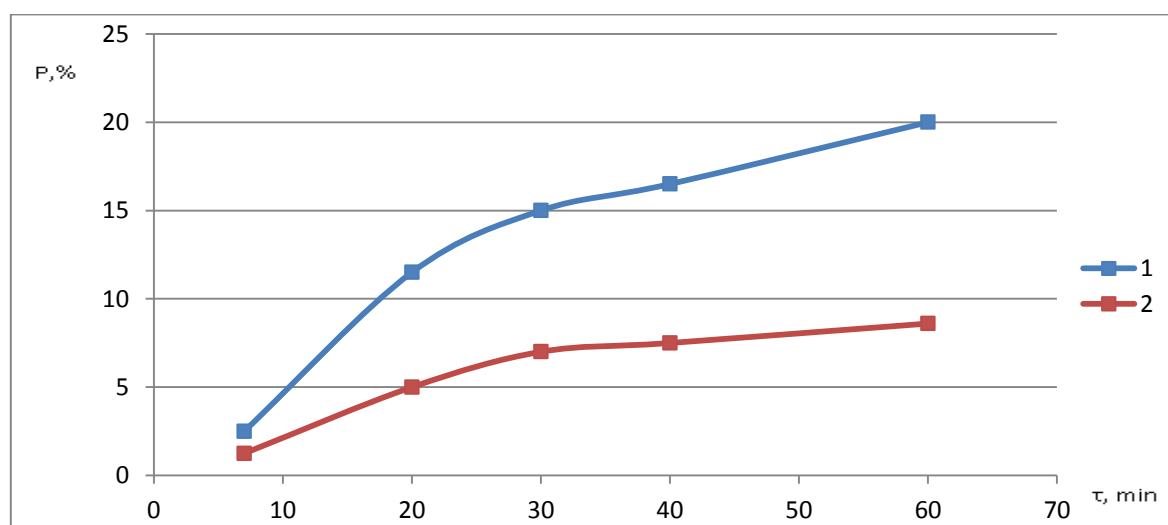


Рис.7. Зависимость количества осадка гидроксида железа от щелочного агента при pH~8: 1 – гидроксид натрия, 2 – карбонат натрия

В результате проведенных работ были определены минимальные дозы антискаланта, предотвращающее образование осадка, значения которых представлены в табл. 4.

Таблица 4

Дозировка антискалантов (мг/л) в зависимости от содержания железа при общей жесткости воды, равной 3,0 мг-экв/л

Содержание железа мг/л	Антискалант	
	Аминат К	Разработанный антискалант
до 0,1	6,5	2,0
0,1-0,2	13,0	3,0
0,2-0,3	22,0	5,0

При увеличении концентрации осадкообразующих веществ в исходной воде доза ингибитора также растет до некоторого предела, дальнейшее повышение дозы не приводит к желаемому результату. Проводились эксперименты по изучению влияния ингибитора на процесс осаждения солей кальция в зависимости от жесткости воды. С этой целью готовились модельные растворы с разной жесткостью, в растворы вводили разные количества антискалантов. Таким образом, подбирали оптимальную дозу антискаланта, при которой образование осадка не наблюдалось в течение 1 часа, затем в дальнейшем уменьшали дозировку до тех пор, пока не наблюдалось образования осадка. Сравнительные характеристики антискалантов в зависимости жесткости поступающей воды приведены в табл. 5.

Таблица 5

Дозировка антискаланта в зависимости от общей жесткости воды, мг/л

Марка препарата	Жесткость поступающей воды, мг-экв/л					
	до 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-15
Аминат К	3,5	6,5	13,0	18,0	25,0	32,0
Vitek 3000	1,5	2,5	4,0	4,0	6,0	12,0
Разработанный антискалант	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	10,0

В процессе мембранного разделения антискалант полностью задерживается мембраной и выводится с концентратом. Требуемая доза антискаланта зависит не только от концентрации осадкообразующих веществ в исходной воде, но и от температуры, рН, общего химического состава воды, от гидравлического кпд. Дозировка антискаланта устанавливается исходя из общей жесткости и щелочности воды и находится в пределах 4-10 г препарата на куб.м. исходной воды. Количество антискаланта, которое необходимо добавить, рассчитывается по формуле

$$X_A = (C_{\text{рек.}} / C_{\text{исх.}}) \cdot 1000 \text{ мл} \quad (3)$$

где: $C_{\text{рек.}}$ – рекомендуемая концентрация действующего вещества, мг/л; $C_{\text{исх.}}$ – концентрация действующего вещества, г/л. Например: для воды с карбонатной жесткостью ~ 3 мг-экв/л рекомендуемая концентрация антискаланта 2 мг/л. При использовании антискаланта с содержанием действующего вещества 200 г/л (20 %) на каждый куб.м подаваемой воды следует добавлять $X_A = (2/200) \cdot 1000 = 10$ мл препарата.

С 2021 года новый эффективный антискалант, производимый в ИЯФ АН РУ, активно внедряется и широко используется в баромембранных системах опреснения воды, используемых для обеспечения населения чистой питьевой водой в Республике Каракалпакстан, Навоийской области, г. Ташкенте.

Выводы

Показано, что эффективность работы разработанного антискаланта (состоящего из производной дикарбоновой кислоты и аминоксодержащего полимера с добавлением поверхностно-активных веществ) не уступает дорогостоящим импортным аналогам. Развита и отработана методика определения доз антискаланта для предотвращения образования осадка на обратноосмотических мембранах. Определены оптимальные дозировки

антискаланта для бесперебойной работы мембранных установок. Новый подход в создании отечественного антискаланта позволяет не только учесть состав исходных артезианских вод (характерных для нашей Республики), динамику формирования загрязнений и их физико-химические свойства, химическую стойкость мембранных элементов, но и обеспечивает безопасность для производства питьевой воды и позволяет снизить капитальные и эксплуатационные затраты на применение систем обратноосмотической очистки солоноватых природных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Qasim M., Badrelzaman M., Darwish N.A., Darwish N.N. Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review, *Desalination*, 2019, vol. 459, pp. 59–104.
2. Ахмедов М.А. Исследование и разработка аппаратов для опреснения подземных вод гиперфильтрацией. Автореф. дисс.канд. техн. наук. М., 1980. 22 с.
3. Yuldashev A.B., Garipov I.T. Khaydarov R.R. Direct Osmotic Desalination Technique by Solar Energy. *International Journal of Natural Resource Ecology and Management*, 2020. Vol. 5, no. 3, pp. 84–89.
4. Patel S., Ooi A., Huang H. New antiscalant for reverse osmosis plants, *Desalination and Water Treatment* 119, 2018, pp. 64–69.
5. Кравчук А.М., Нечитайло Н.П., Косюк Е.Н. и др. Ингибирование осадка образования в баромембранных процессах // *Строительство, материаловедение, машиностроение: Стародубовские чтения*, 2017. С. 84–86.
6. Федоренко В.И. Ингибирование осадкообразования в установках обратного осмоса. *Критические технологии. Мембраны*, 2003. № 2 (18). С. 23–30.
7. Дятлова Н.М., Темкина К.И., Попов М.А. Комплексоны и комплексоны металлов. М.: Химия, 1988. С. 131.
8. Нечитайло Н.П., Косюк Е.Н., Решетник Д.А. Полиакриловая кислота ингибитор осадкообразования в баромембранных процессах // *Строительство, материаловедение, машиностроение: вып.92*, 2016. С. 94–98.

9. Горелов И.П., Бабич В.А. Комплексообразование щелочноземельных элементов с этилендиаминдиянтарной кислотой // Журнал неорганической химии, т. XVI. вып.4, 1971. С. 902–906.
10. Малахаев Е.Д., Никольский В.М., Горелов И.П. Синтез и комплексообразующие свойства комплексонов производных дикарбоновых кислот // Журнал общей химии, 1978. 11. pp. 2601–2604.
11. Способ химической очистки фильтров обратного осмоса растворами экологически безопасных комплексонов: патент 2636712 Рос. Федерация. № 2016149875/ Е.С. Волчкова, В.М. Никольский; заявл. 20.12.2016; опубл. 27.11.2017, Бюл. № 33. 6 с.
12. Авторское свидетельство № 629208. Никольский В.М. Иминодиянтарная кислота в качестве комплексона.
13. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1979. 376 с.
14. Бабко А.К., Пятницкий И.В. Количественный анализ. Госхимиздат, М., 1965. 634 с.
15. Жога А.В., Багаутдинова З.Р., Пудова Н.Е. Совершенствование микроскопической методики определения оптимального типа и дозы антискаланта для предотвращения образования осадка на обратноосмотических мембранах. // Успехи в химии и химической технологии, т. XXVIII, 2014. № 5. С. 129–132.
16. Способ определения эффективной концентрации антискаланта для подавления кристаллизации труднорастворимых солей в воде: патент 2648351 Рос. Федерация. №2017120224 / И.А. Почиталкина, П.А. Кекин, Д.Ф. Кондаков и др. заявл. 08.06.2017; опубл. 23.03.2018, Бюл. № 9. 12 с.

Поступила в редакцию 02.04.2023

Сведения об авторах

Гарипов Ильнур Тагирович

младший научный сотрудник. Институт Ядерной физики АН РУз
100214 Ул. Хуросон 1, пос. Улугбек, Мирзо-Улугбекский р-н Ташкент, Узбекистан
E-mail: ilnurgarif@gmail.com

Praveen Thaggikuppe Krishnamurthy

PhD, Professor, Department Head, JSS College of Pharmacy, Ooty, The Nilgiris Tamil Nadu, India
E-mail: praveentk7812@gmail.com

Ҳайдаров Ренат Рашидович

к.ф.-м.н, зав. лабораторией междисциплинарных технологий. Институт Ядерной физики АН
РУз, 100214 Ул. Хуросон 1, пос. Улугбек, Мирзо-Улугбекский р-н Ташкент, Узбекистан
E-mail: renat2@gmail.com

I.T.Garipov, Praveen Thaggikuppe Krishnamurthy, R.R.Khaydarov

NEW IMPORT-SUBSTITUTING ANTISCALANT FOR MEMBRANE DESALINATION SYSTEM

Annotation. The paper deals with a new import-substituting antiscalant to protect reverse osmosis membranes of water desalination systems in Uzbekistan. The studies have shown that during the purification of natural brackish waters typical for Uzbekistan the reverse osmosis membrane is contaminated by mineral salts and colloidal particles. It leads to the reduction of the membrane capacity and service life of expensive reverse osmosis water treatment systems. The developed import-substituting antiscalant has proved to prevent the sedimentation process on membranes, and to have technical specifications almost identical to its more expensive foreign analogues. Since 2021 water desalination systems using the new antiscalant have been widely used in Uzbekistan to provide the population of the Republic with clean drinking water.

Keywords: antiscalant, water, water treatment, sedimentation inhibitor, reverse osmosis, desalination.

For citation: Garipov I.T., Praveen Thaggikuppe Krishnamurthy, Khaydarov R.R. [New import-substituting antiscalant for membrane desalination system] *Upravlenie tekhnosferoi*, 2023, vol. 6, issue 3. (In Russ.) Available at: <https://technosphere-ing.ru/> pp. 414–434.
DOI: 10.34828/UdSU.2023.60.83.009

REFERENCES

1. Qasim M., Badrelzaman M., Darwish N.A., Darwish N.N. Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review, *Desalination*, 2019, vol. 459, pp. 59–104.
2. Akhmedov M.A. *Issledovanie i razrabotka apparatov dlya opresneniya podzemnykh vod giperfil'tratsiei*. [Research and development of devices for groundwater desalination by hyperfiltration]. Abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences. Moscow, 1980. 22 p. (In Russ.).
3. Yuldashev A.B., Garipov I.T. Khaydarov R.R. Direct Osmotic Desalination Technique by Solar Energy. *International Journal of Natural Resource Ecology and Management*, 2020, vol. 5, no. 3, pp. 84–89.
4. Patel S., Ooi A., Huang H. New antiscalant for reverse osmosis plants, *Desalination and Water Treatment* 119, 2018, pp. 64–69.
5. Kravchuk A.M., Nechitailo N.P., Kosyuk E.N. et al. *Ingibirovanie osadka obrazovaniya v baromembrnykh protsessakh*. [Inhibition of sediment formation in baromembrane processes].

- Construction, materials science, mechanical engineering: Starodubovsky Readings, 2017, pp. 84–86. (In Russ.).
6. Fedorenko V.I. *Ingibirovanie osadkoobrazovaniya v ustanovkakh obratnogo osmosa*. [Inhibition of sedimentation in reverse osmosis plants]. Critical technologies. Membrany, 2003, no. 2 (18), pp. 23–30. (In Russ.).
 7. Dyatlova N.M., Temkina K.I., Popov M.A. *Kompleksy i kompleksony metallov*. [Metal complexons and complexonates]. M.: Chemistry, 1988, p. 131. (In Russ.).
 8. Nechitailo N.P., Kosyuk E.N., Reshetnik D.A. *Poliakrilovaya kislota inhibitor osadkoobrazovaniya v baromembrannykh protsessakh* [Polyacrylic acid inhibitor of sedimentation in baromembrane processes]. Construction, materials science, mechanical engineering: Issue 92, 2016, pp. 94–98. (In Russ.).
 9. Gorelov I.P., Babich V.A. *Kompleksoobrazovanie shchelochnozemel'nykh elementov s etilendiamindiyantarnoi kislotoi*. [Complex formation of alkaline earth elements with ethylenediaminesuccinic acid]. Journal of Inorganic Chemistry, vol. XVI. issue 4, 1971, pp. 902–906. (In Russ.).
 10. Malakhaev E.D., Nikolsky V.M., Gorelov I.P. *Sintez i kompleksoobrazuyushchie svoystva kompleksonov proizvodnykh dikarbonovykh kislot* [Synthesis and complexing properties of complexones of derivatives of dicarboxylic acids]. Journal of General Chemistry, 1978, 11. pp. 2601–2604. (In Russ.).
 11. Method of chemical cleaning of reverse osmosis filters with solutions of environmentally friendly complexes: patent 2636712 Ros. Federation. No. 2016149875/ E.S. Volchkova, V.M. Nikolsky; application 20.12.2016; publ. 27.11.2017, Bul. No. 33. 6 p.
 12. Copyright certificate No. 629208. Nikolsky V.M. *Iminodiyantarnaya kislota v kachestve kompleksona*. [Iminodisuccinic acid as a complexone]. (In Russ.).
 13. Lurie Yu.Yu. *Spravochnik po analiticheskoi khimii* [Handbook of analytical chemistry]. Moscow: Chemistry, 1979, 376 p. (In Russ.).
 14. Babko A.K., Pyatnitsky I.V. *Kolichestvennyi analiz* [Quantitative analysis]. Goshimizdat, Moscow, 1965, 634 p. (In Russ.).
 15. Zhoga A.V., Bagautdinova Z.R., Pudova N.E. *Sovershenstvovanie mikroskopicheskoi metodiki opredeleniya optimal'nogo tipa i dozy antiskalanta dlya predotvrashcheniya obrazovaniya osadka na obratnoosmoticheskikh membranakh* [Improving the microscopic technique for determining the optimal type and dose of antiscalant to prevent sedimentation on reverse

osmosis membranes]. Advances in chemistry and chemical technology, v.XXVIII, 2014, no. 5. pp. 129–132. (In Russ.).

16. A method for determining the effective concentration of an antiscalant to suppress the crystallization of insoluble salts in water: patent 2648351 Ros. Federation. No.2017120224 / I.A. Pochitalkina, P.A. Kekin, D.F. Kondakov, etc. application. 08.06.2017; publ. 23.03.2018, Bul. No. 9. 12 p. (In Russ.).

Received 02.04.2023

About the Authors

Garipov Inur Tagirovich

Junior Researcher. Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, 100214 Xuroson 1 Ulugbek vil, Tashkent, Uzbekistan.

E-mail: ilnurgarif@gmail.com

Praveen Thaggikuppe Krishnamurthy

PhD, Professor, Department Head, JSS College of Pharmacy, Ooty, The Nilgiris Tamil Nadu, India

E-mail: praveentk7812@gmail.com

Khaydarov Renat Rashidovich

PhD in Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory of Interdisciplinary Technologies Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, 100214 Xuroson 1, Ulugbek vil, Tashkent, Uzbekistan.

E-mail: renat2@gmail.com