

УДК: 541.13

МЕМБРАНАЛИ СУВ ТУЗСИЗЛАНТИРИШ ТИЗИМЛАРИ УЧУН ЯНГИ ИМПОРТ ЎРНИНИ БОСУВЧИ АНТИСКАЛАНТ

Гарипов Ильнур Тагирович,
таянч докторант;
Юлдашев Атабек Бехзадович,
кичик илмий ходим;
Гапунова Ольга Урумбаевна,
кичик илмий ходим;
Абдуҳакимов Муроджон Қахраманович,
таянч докторант;
Ҳайдаров Ренат Рашидович,
физика-математика фанлари номзоди,
фанлараро технологиялар лабораторияси мудири;
Садиков Илҳом Исмаилович,
техника фанлари доктори, профессор, директор

Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси
Ядро физикаси институти

Аннотация. Мақола Ўзбекистонда фойдаланиб келинаётган сувни шўрсизлантиришда ишлатиладиган тескари осмос мембраналарини ҳимоя қилиш учун янги импорт ўрнини босадиган антискалант (чўкма ҳосил бўлишининг ингибитори) яратишнинг долзарб масалаларига бағишланган. Тажриба шуни кўрсатадики, республикамизга хос бўлган табиий шўр сувларни тозалаш жараёнида тескари осмос мембраналари минерал тузлар ва коллоид зарралар билан тезда ифлосланади. Бу эса мембраналарнинг иш унумдорлиги пасайиши ҳамда қиммат бўлган тескари осмосли сув тозалаш тизимлари ишлаш муддатининг кескин қисқаришига олиб келади. Кўрсатилганки, ишлаб чиқилган импорт ўрнини босувчи антискалант мембраналарда чўкма ҳосил бўлиш муаммосининг олдини олади, шу билан бирга, унинг хусусиятлари қиммат бўлган хорижий аналоглардан кам эмас. 2020 йилдан бошлаб республика аҳолисини юқори сифатли ичимлик суви билан таъминлаш учун янги антискалантдан фойдаланиладиган мембранали сувни тузсизлантириш тизимлари фаол равишда жорий этилмоқда.

Таянч тушунчалар: антискалант, сув, сувни тозалаш, чўкма ингибитори, тескари осмос, тузсизлантириш.

НОВЫЙ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЙ АНТИСКАЛАНТ ДЛЯ МЕМБРАННЫХ СИСТЕМ ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ

Гарипов Ильнур Тагирович,
базовой докторант;
Юлдашев Атабек Бехзадович,
младший научный сотрудник;
Гапунова Ольга Урумбаевна,
младший научный сотрудник;
Абдуҳакимов Муроджон Қахраманович,
базовой докторант;
Ҳайдаров Ренат Рашидович,
кандидат физико-математических наук,
заведующий лабораторией междисциплинарных технологий;
Садиков Илҳом Исмаилович,
доктор технических наук, профессор, директор

Институт ядерной физики АН РУз

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 2020 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.

NEW IMPORT-SUBSTITUTING ANTISCALANT FOR MEMBRANE DESALINATION SYSTEM

Garipov Ilnur Tagirovich

PhD student

Yuldashev Atabek Bekhzadovich

Junior Researcher

Gapurova Olga Urumbaevna

Junior Researcher

Abdukhakimov Murodjon Kakhramanovich

PhD student

Khaydarov Renat Rashidovich,

PhD in Physical and Mathematical Sciences,

Head of the Laboratory of Interdisciplinary Technologies

Sadikov Ilkham Ismailovich,

Professor, Director

Institute of Nuclear Physics of the Academy of
Sciences of the Republic of Uzbekistan

Abstract. The paper deals with a new import-substituting antiscalant to protect reverse osmosis membranes of water desalination systems in Uzbekistan. The studies show that during the purification of natural brackish waters typical for Uzbekistan, the reverse osmosis membrane is contaminated by mineral salts and colloidal particles, which 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 2020 water desalination systems using the new antiscalant have been widely used in Uzbekistan to provide the population of the Republic with high-quality drinking water.

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

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 минерализа-

ции, 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 важ-

ных объектов, больниц и пр.) Эти установки должны соответствовать утвержденным санитарным нормам, правилам и гигиеническим нормативам «Оценка эффективности опреснительных установок, работающих по принципу обратного осмоса, и контроль за их эксплуатацией в условиях Узбекистана» (СанПиН Республики Узбекистан от 9 июня 2004 года № 0156-04).

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 обратно-осмотических установок [5-6], причем капитальные и эксплуатационные затраты на такой способ предподготовки 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 установ-

ки 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 обратно-осмотических 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 чаще всего применяют фосфонаты и полиакрилаты [8], которые препятствуют росту кристаллов труднорастворимых солей щелочно-земельных металлов, но при этом постепенно загрязняют окружающую среду, накапливаясь в почве и водоемах.

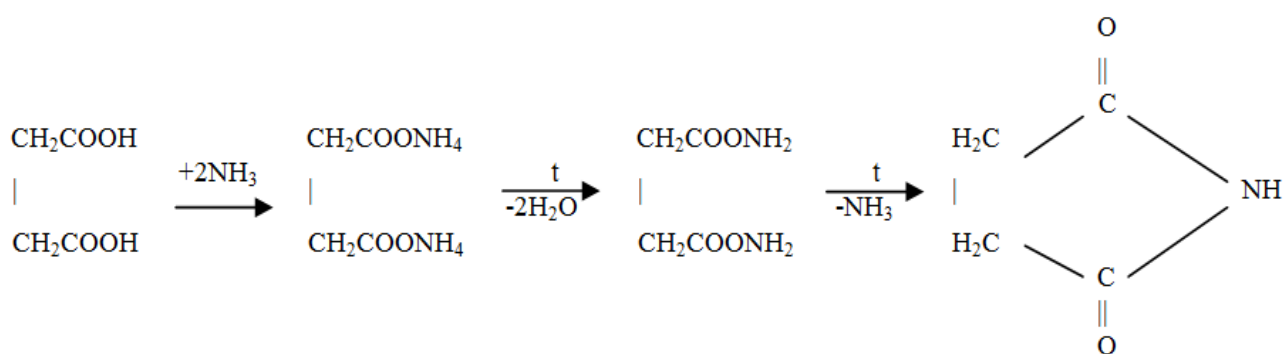
Проведенный литературный анализ позволил предположить возможность получения более эффективного антискаланта с помощью растворов, содержащих в своем составе экологически безопасные комплексообразующие вещества, которые не загрязняют окружающую среду. Применение биологически расщепляемых производных дикарбоновых 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 усвояемые растениями и живыми организмами фрагменты микро-элементов и аминокислот. Универсальность комплексообразующих свойств иминодиянтарной и этилендиаминди-янтарной кислот, их нетоксичность и возможность крупномасштабного произ-водства привлекает все большее внима-ние к этим перспективным комплексонам [9-10]. Это связано с разработкой простых и доступных методов их синтеза и нали-чием у них ряда специфических полезных свойств. В публикациях производные ди-карбоновых кислот приводятся в качес-тве пригодных для очистки фильтрую-

щих материалов от карбонатных отложе-ний [11]. Однако до настоящего времени отсутствуют данные, которые подтверж-дали бы возможность применения произ-водных дикарбоновых кислот в мембран-ных процессах в качестве ингибиторов осадкообразования.

Материалы и методы

На начальном этапе в процессе раз-работки новой композиции экономич-ного антискаланта подбирали условия по-лучения иминодиянтарной кислоты [12]. Синтез осуществляли по реакции взаимо-действия янтарной кислоты с раствором аммиака по реакции:



Эксперименты по получению поли-мерного комплексона на основе янтарной кислоты проводили при комнатной тем-пературе (~ 25 °С). В качестве полимера был взят «Lupasol» PR 8515, содержащий иминную группу. Были получены рас-творы, которые исследовались в дальней-шем в качестве ингибиторов осадко-образования. Для оценки эффективности полученных растворов антискаланта разработана методика, суть которой сос-тоит 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 кар-боната кальция является низкая раство-римость карбоната кальция $\text{PR}_{\text{CaCO}_3} = 1,2 \cdot 10^{-8}$ при температуре 20 °С [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 антискаланта. Растворы солей готовили путем растворения взятых навесок в дис-тиллированной воде. Использовали хло-рид кальция марки "ХЧ", карбонат натрия "ЧДА", из которых готовили растворы заданных концентраций. На первом этапе проводили ориентировочную оценку антискаланта добавлением их к пере-сыщенному раствору карбоната кальция. Через 30 минут были взяты аликвоты из этих растворов и высушены на стек-лянной подложке. Аналогично была взята аликвота из раствора, не содержащего антискаланта. Высушенные образцы под-вергли анализу на оптическом микро-скопе марки МБУ-5, степень увеличения – 300.

Эффективность антискаланта опре-деляли так:

- по изменению содержания кальция или величины общей жесткости, определенных титрометрическим методом [14];

- по количеству образовавшегося осадка [15-16].

В первом случае были приготовлены модельные растворы с начальной общей жесткостью ~ 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:

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

где V_1 – объем трилона Б, израсходованного на титрование, см³;

K – поправочный коэффициент;

V_2 – объем воды, взятый для анализа, см³.

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

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

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

Во втором случае эффективность антискалантов оценивали по количеству выпавшего осадка карбоната кальция. Процесс осадкообразования контролировали визуально-микроскопическим методом с помощью микроскопа VehoDX-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 рисунке 1 и демонстрируют изменение кристаллической структуры карбоната кальция.

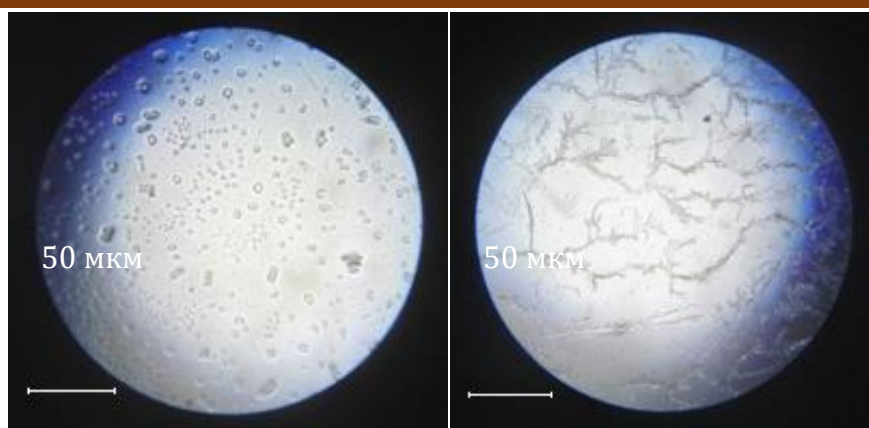


Рис. 1. Фотографии полученных осадков карбоната кальция при 280-кратном увеличении:

слева – карбонат кальция; справа – карбонат кальция в присутствии разработанного антискаланта

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

Таблица 1

Результаты определения жесткости в растворах с добавлением полученных антискалантов*

№	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

*Реагент: 0 – без антискаланта; 1 – с антискалантом.

В таблице 2 представлены характеристики антискалантов, 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 отсутствии антискалантов таким образом, чтобы значение P (количество образовавшегося осадка) составляло примерно 20-30 %, что обеспечивает хорошую воспроизводимость результатов эксперимента. Для дальнейших исследований была выбрана концент-

рация карбоната кальция, равная 250 мг/л, достаточная для четкой фиксации начала образования осадка – индукционный период составил ~ 30 секунд.

На рисунке 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.

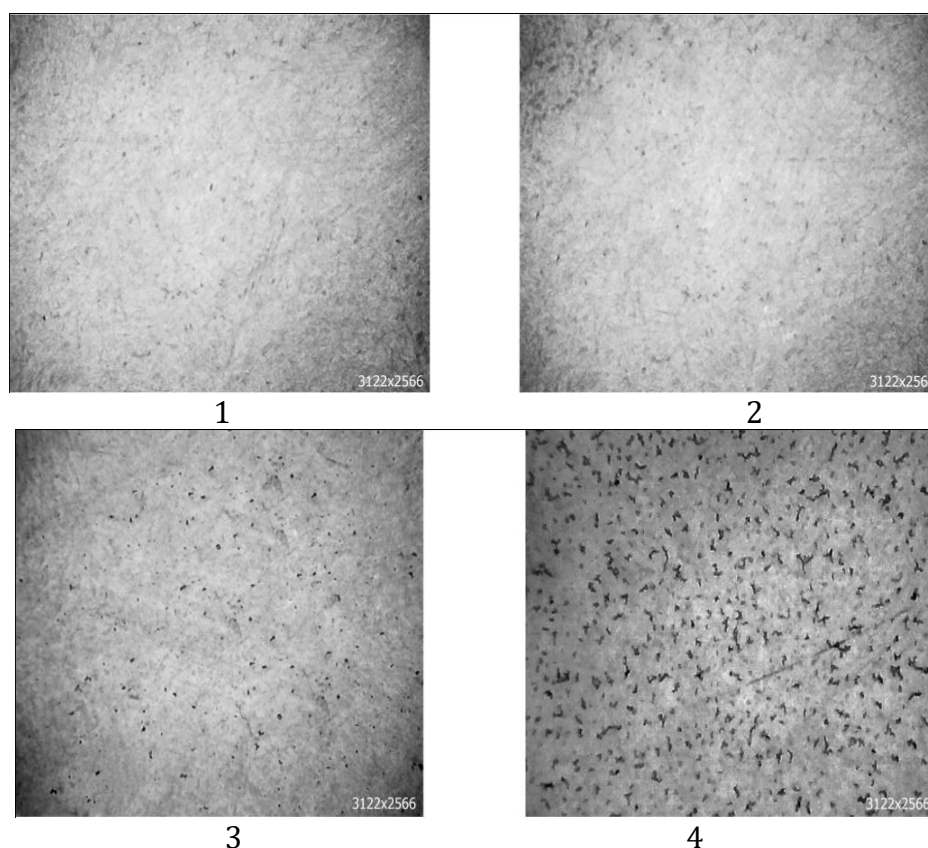


Рис. 2. Фотографии осадка карбоната кальция, полученного при его концентрации в растворе 250 мг/л на 1,3, 5 и 10 минутах после начала эксперимента

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 pH. Концентрация карбоната кальция варьировалась от 150 до 300 мг/л. По полученным данным строили зависимость показателя P (в %) от времени (рис.3-5).

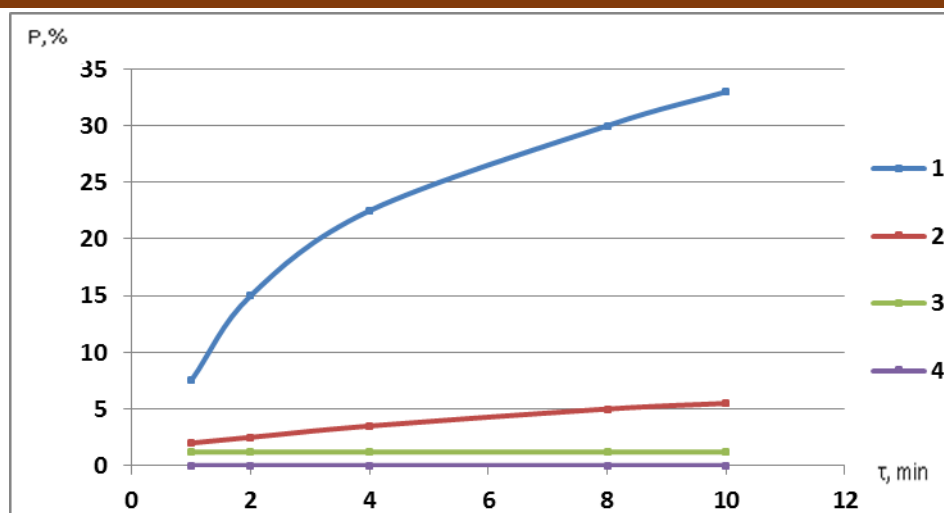


Рис. 3. Зависимость количества осадка карбоната кальция от времени при добавлении различных антискалантов (концентрация антискаланта – 4 мг/л):
 1 – карбонат кальция без антискаланта; 2 – в присутствии антискаланта Аминат К;
 3 – Vitek 3000; 4 – разработанный антискалант

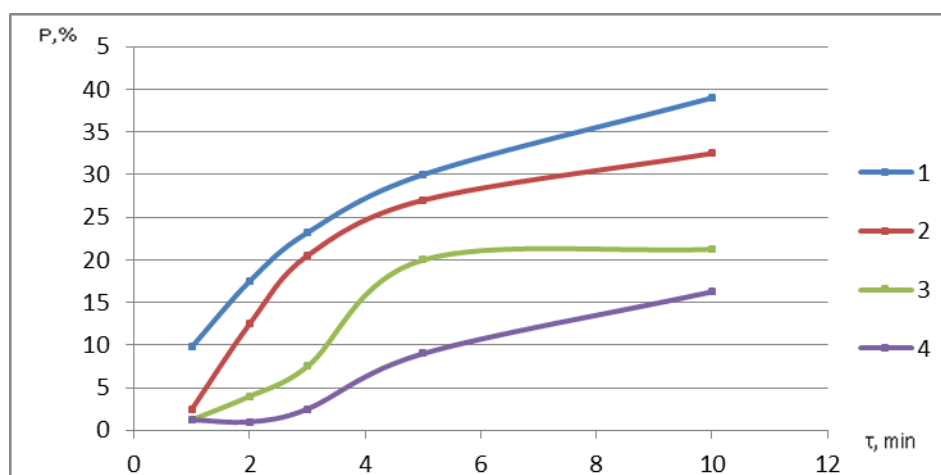


Рис.4. Зависимость количества осадка карбоната кальция при различных концентрациях, мг/л: 1 – 300; 2 – 250; 3 – 200; 4 – 150

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

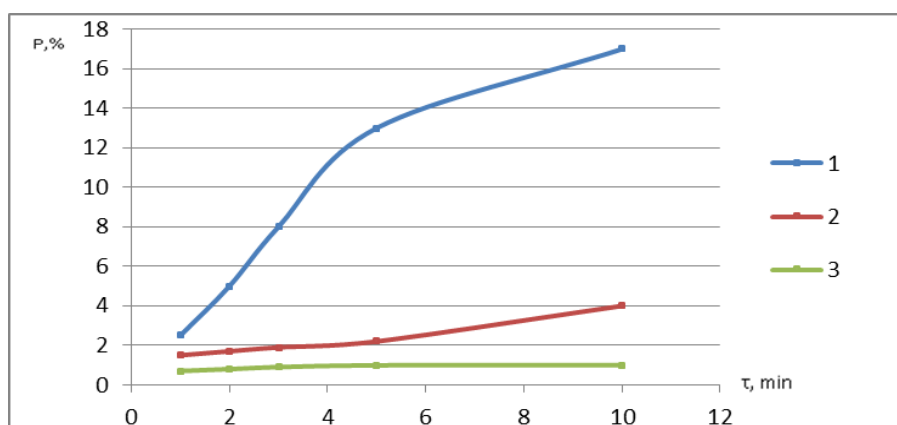


Рис. 5. Зависимость количества осадка карбоната кальция с концентрацией 300 мг/л от времени при разных значениях pH:
 1 – pH=9,5; 2 – 9,0; 3 – 8,5

Анализ рисунка 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 VehoDX-1 с цифровой камерой; 7) степень увеличения микроскопа – 400; 8) фотографирование проводили через 5-10 минут после объединения растворов.

В таблице 3 представлены полученные минимальные концентрации анти-скалантов, при которых не происходит образование осадка карбоната кальция. Найдено, что антискаланты Vitek 3000 и разработанный нами антискалант практически полностью предотвращают обра-

зование 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 рисунке 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 ($\text{P}_{\text{Fe}(\text{OH})_3} = 1,1 \cdot 10^{-36}$) [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 pH и с различными щелочными агентами (гидроксид и карбонат натрия) показали, что с увеличением pH от 8 до 10 количество осадка уменьшается, и при pH = 10 осадок практически не образуется (рис.6). В качестве щелочного агента был выбран гидроксид натрия, т.к. 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 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.

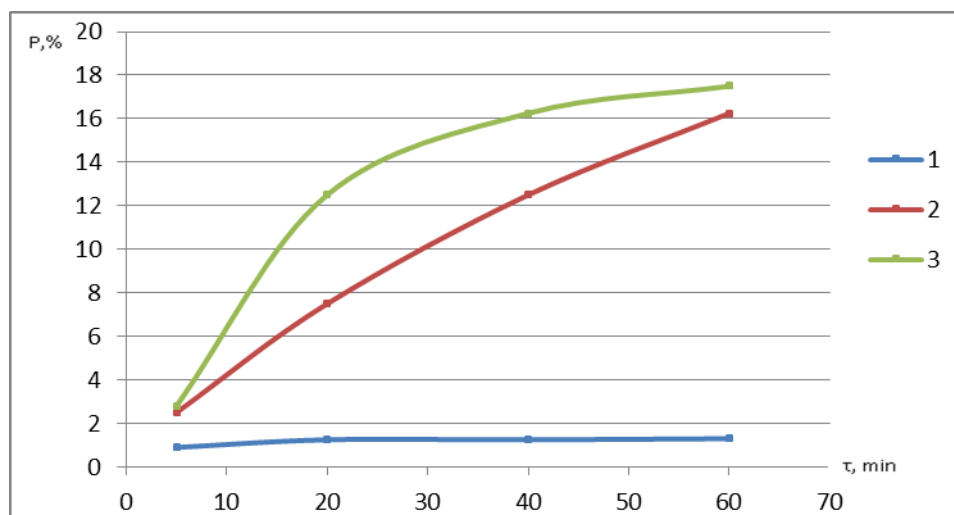


Рис. 6. Зависимость количества осадка гидроксида железа от pH:
1 – pH ~10; 2 – pH ~ 9; 3 – pH ~ 8

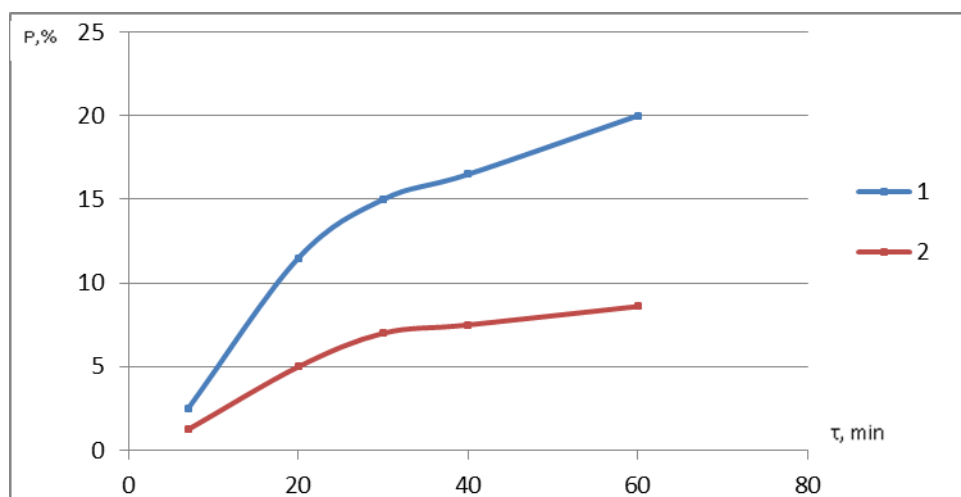


Рис. 7. Зависимость количества осадка гидроксида железа от щелочного агента при pH~8: 1 – гидроксид натрия, 2 – карбонат натрия

В результате проведенных работ были определены минимальные дозы антискаланта, предотвращающие образование осадка, значения которых представлены в таблице 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 дози-

ровку до тех пор, пока не наблюдалось образования осадка. Сравнительные характеристики антискалантов в зависи-

мости жесткости поступающей воды приведены в таблице 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, pH, 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:

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

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

$$X_A = (2/200) \times 1000 = 10 \text{ мл препарата.}$$

В 2020 году новый эффективный антискалант, производимый в ИЯФ АН РУ, активно внедряется и широко используется в баромембранных системах опреснения воды для обеспечения населения

чистой питьевой водой в Республике Каракалпакстан, Навоийской области, г. Ташкенте. Общая сумма выполняемых в 2020 году пилотных договоров составляет более 400 млн сум.

Выводы

Показано, что эффективность работы разработанного антискаланта (состоящего из производной дикарбоновой кислоты и аминоксодержащего полимера с добавлением поверхностноактивных 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, их физико-химические свойства, химическую стойкость мембранных элементов, но и обеспечивает безопасность для производства питьевой воды, а также позволяет снизить капитальные и эксплуатационные затраты на применение систем обратноосмотической очистки солоноватых природных вод.

Источники и литература

1. Qasim M. Reverse osmosis desalination / M.Qasim, M. Badrelzaman, N.A. Darwish, N.N. Darwish // 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 суперфильтрацией: 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.

3. Ching-Chen H., Chi T. *Effect of Particle Deposition on Reduction of Water Flux in Reverse Osmosis*// *Desalination*. – 1976. – Vol.18. – No. 1-3. – Pp. 173-187.
4. Patel S., Ooi A., Huang H. *New antiscalant for reverse osmosis plants* // *Desalination and Water Treatmen.* – 2018. – No. 119. – Pp. 64-69.
5. Кравчук А.М., Нечитайло Н.П., Косюк Е.Н. *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 комплексонаты 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*. – 2016. – Вып. 92 – С. 94-98.
9. Горелов И.П., Бабич В.А. *Комплексообразование щелочноземельных элементов с этилендиаминдиантарной кислотой* // *Ж. неорг. 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* // *Ж. общей химии*. – 1978. – № 11. – С. 2601-2604.
11. Патент RU № 2636712. *Способ химической очистки фильтров обратного осмоса растворами экологически безопасных комплексонов* / Е.С. Волчкова, В.М. Никольский. – 2016.
12. Авт.свид. № 629208. *Иминодиянтарная кислота в качестве комплексона* / В.М. Никольский.
13. Лурье Ю.Ю. *Справочник по аналитической химии*. – М.: Химия, 1979. – С. 376.
14. Бабко А.К., Пятницкий И.В. *Количественный анализ*, М.: Госхимиздат, 1965. – С. 634.
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* // *Усп. в химии и хим. технологии*. – Т. XXVIII. – 2014. – № 5. – С. 129-132.
16. Патент RU 2648351 С1. *Способ определения эффективной концентрации антискаланта для подавления кристаллизации труднорастворимых солей в воде* / И.А. Почиталкина, П.А. Кекин, Д.Ф. Кондаков, В.А. Колесников.

Рецензент:

Ибрагимова Э.М., доктор физико-математических наук, профессор,
Центр передовых технологий Министерства инновационного развития Республики Узбекистан.