
ИНГИБИРОВАНИЕ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В УСТАНОВКАХ ОБРАТНОГО ОСМОСА

В.И. Федоренко

ВНИИ Пищевой Биотехнологии РАСХН

Эксплуатационная эффективность мембранных систем водоподготовки лимитируется, в основном, загрязнением мембран. Снижение производительности мембранных установок на 95–97% определяется загрязнением поверхности мембран. Одной из главных причин загрязнения мембран является формирование на их поверхности карбонатных осадков. Насыщенность концентрата является предпосылкой для формирования осадка. Предотвращение загрязнения мембран является определяющим фактором эффективной эксплуатации мембранных установок. Одним из способов предотвращения загрязнения мембран является дозирование в поток исходной воды антискейлантов, в качестве которых используются полифосфаты, фосфонаты, полимеры и сополимеры. Рецептуры на основании смесей полимеров или полимеров и фосфонатов оказываются более эффективными, чем монорецептуры. Основным критерием, определяющими состав рецептуры антискейланта, является соотношение SDI, PD, LSI и SaDS-индексов исходной воды и концентрата. Применение антискейлантов эффективно лишь тогда, когда они адаптированы к конкретному типу мембран и их дозирование рассчитано – как составная часть мембранного процесса. Перед использованием любых новых композиций антискейланта, их необходимо проверять на совместимость с конкретными типами мембранных элементов. Применение антискейланта должно сопровождаться постоянным мониторингом его инжектирования и уровнем осадкообразования. Время действия антискейланта довольно ограничено – от нескольких десятков секунд до нескольких десятков минут, в зависимости от состава исходной воды и рецептуры антискейланта. Поэтому перед остановкой RO-системы необходимо прекратить подачу антискейланта, максимально снизить рабочее давление и промыть мембранный контур сначала исходной водой, а затем пермеатом.

Ключевые слова: вода, обратный осмос, загрязнение мембран, антискейлант.

Operational efficiency of membrane waterpurification systems is limited, basically, membrane scaling. Decrease of capacity membrane installations on 95–97 % determined by membrane surface scaling. One of the main reasons of membranes caling is formation on their surface carbonate deposits. The concentrate saturation is an condition of scaling. Prevention of scaling is the main factor of effective operation membrane installations. One of ways of scaling prevention is injection in initial water stream antiscalants, as which are used polyphosphates , phophanates, homopolymers and copolymers. Antiscalant mixes on the basis of polymers or polymers and phophanates appear more effective, than monosubstances. The basic criteria, determining antiscalant structure is a SDI, PD, LSI and SaDS - ratio in initial water and concentrate. Antiscalant applications are effective only when they are adapted to concrete type of membranes and their batching is designed - as a membrane process component. Before use of any new antiscalant compositions, they are necessary for checking on compatibility with concrete membrane filters. Antiscalant applications should be attended by the injecting and scaling control. Time of antiscalant action is limited from several seconds up to several minutes, depending of initial water and antiscalant properties. Before deenergizing a RO - system it's necessary to stop antiscalant injection, lower pressure and wash out membrane unit at first initial water, and then permeate.

Key words: water, reverse osmosis, membranes fouling, antiscalant.

1. Введение

Эксплуатационная эффективность мембранных систем водоподготовки лимитируется, в основном, загрязнением мембран. В RO-про-

цессе поток исходной воды делится на 2 потока: прошедший через мембрану пермеат и оставшийся над мембраной концентрат. При этом существенно изменяется состав этих потоков. Поток пермеата составляет 75–80% от потока

исходной воды, но содержит менее 1% растворенных веществ. Соответственно, поток концентрата составляет 20–25% от потока исходной воды с концентрацией растворенных веществ в 3–4 раза больше, чем в исходной воде. Это создает предпосылки к минеральному и микробиологическому загрязнению мембран.

2. Причины загрязнения мембран

Снижение производительности мембранных установок на 95–97% определяется загрязнением поверхности мембран и только на 3–5% уплотнением их капиллярно-пористой структуры. Наиболее распространенные типы загрязнений – минеральные осадки, гидроокиси металлов, коллоидные пленки органического и биологического происхождения. Причины загрязнения мембран определяются физико-химическими и поверхностными свойствами самой мембраны и частиц загрязняющей фазы, которые в наиболее общей форме можно определить как гидрофильные или гидрофобные. Гидрофильный тип мембран обладает высоким поверхностным потенциалом, обусловленным нарушением энергетического равновесия межмолекулярных сил в полимерной матрице мембраны с образованием границы раздела фаз при ее контакте с водой и образованием на поверхности мембраны слоя связанной воды, физико-химические свойства которой сильно отличаются от воды в свободном состоянии.

У гидрофобных мембран поверхностный потенциал или очень низкий, или противоположной поляризации. Их поверхность не смачивается водой – наоборот молекулы воды собираются в дискретные шарики, которые легко скатываются с поверхности мембраны. Чем меньше поверхностное натяжение жидкости и чем больше поверхностное натяжение материала мембраны, тем толще и стабильнее связанный слой на ее поверхности. Поверхностное натяжение многокомпонентных растворов не аддитивно и может значительно отличаться от поверхностного натяжения свободных жидкостей. Микрочастицы – потенциальные загрязнители мембран, в водной среде обычно гидрофобны, например: гидроокиси железа и алюминия; соединения кремния, гуминовых и фульвокислот; глинистые вещества; коллоидные полисахари-

ды; молекулярные агрегаты диаметром 10^{-5} – 10^{-7} см в виде эмульсий или суспензий, масла, парафины, ПАВ, смазки. Белки могут нести как положительный, так и отрицательный заряд и при некоторых условиях могут становиться гидрофобными.

Гидрофобные частицы имеют тенденцию к укрупнению и формированию кластерных и коллоидных соединений, т.к. это понижает свободную энергию границы раздела фаз. При отсутствии внешних воздействий, гидрофобные частицы в водной среде будут стремиться сформировать агрегаты с минимальной поверхностью раздела, т.е. будут стремиться к сферической форме. При этом чем меньше будет их гидрофильность, тем меньше они будут загрязнять мембранную поверхность. Загрязнение мембран можно уменьшить методом модификации их поверхности. Однако структурные поверхностные модификации мембран могут быть экранированы или нейтрализованы при высокой концентрации противоионов в потоке над мембраной. В этом случае механизм загрязнения мембран будет происходить за счет гидрофобных взаимодействий, Ван-дер-Ваальсовых сил и электростатического взаимодействия.

Взвешенные микрочастицы оседают преимущественно на первой секции мембранных элементов, а солевые отложения – на последней, где их концентрация в 3–4 раза выше, чем в исходной воде и велика вероятность превышения предела растворимости. Биологическое загрязнение может начаться в любой точке мембранной установки и быстро распространиться по всему мембранному контуру.

Одной из главных причин загрязнения мембран является формирование на их поверхности карбонатных осадков. При повышении температуры и pH исходной воды равновесное соотношение между бикарбонатами и карбонатами сдвигается в сторону карбонатов, которые совместно с сульфатами (CaSO_4 , BaSO_4 , SrSO_4), фосфатами

$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и фторидами CaF_2 , а также боратами, силикатами, гидроокисями железа, марганца и алюминия, отличающимися низкой растворимостью, образуют минеральные осадки. Процесс формирования кристаллических осадков состоит из трех этапов: достижение предела растворимости, формирование устойчивых цен-

тров кристаллизации больших, чем критический

Насыщенность концентрата является предпосылкой для формирования осадка. Степень насыщения концентрата определяется отношением концентраций растворенных компонентов в концентрате и исходной воде (концентрационный фактор). Одним из способов уменьшения насыщенности концентрата является снижение конверсии RO-процесса. Однако применяется он очень редко, т.к. жесткие экономические и экологические критерии требуют эксплуатировать МСВ при максимальной конверсии. При больших числах конверсии (80–90%), достигаемых в 3–4 секционных мембранных контурах, небольшое увеличение конверсии может привести к значительному росту концентрационного фактора, рис. 1.

Еще одним необходимым условием осадкообразования является наличие центров кристаллизации, которые снижают потенциальный барьер начала кристаллизации. При отсутствии центров кристаллизации концентрат может оставаться стабильным даже в условиях пресыщения. Центрами кристаллизации могут служить взвешенные и коллоидные частицы, неоднородности химсостава, шероховатость деталей мембранных элементов, градиенты давления и пр.

Качественно загрязнения можно разделить на осадки и шламы – те же осадки, но находящиеся во взвешенном состоянии. Это разделение имеет эмпирический характер и довольно условно, т.к. одни и те же вещества, в зависимости от физико-химических условий, могут формировать как осадки, так и шламы. Процесс осадкообразования в ячейках турбулизирующей

размер ядра кристаллизации и рост кристаллов. сетки и на поверхности мембран происходит при пресыщении концентрата, наличии центров кристаллизации, недостаточной турбулизации потока и повышенной шероховатости сетки. При больших градиентах давления и наличии центров кристаллизации в виде мелкодисперсных частиц и коллоидных взвесей кристаллизуются загрязнения в виде шламов. При определенных условиях, особенно при наличии застойных зон, шлам может выпасть в виде осадка. И наоборот, при проведении регенерационных промывок, часть осадка растворяется, нарушая связь кристаллов между собой и точками прикрепления, при этом осадок переходит в форму шлама. Наличие в мембранном контуре небольшого количества шлама не отражается на эффективности мембранного процесса, однако большое количество шлама резко увеличивает гидравлическое сопротивление мембранного контура, снижает производительность мембран и создает предпосылку для формирования осадка.

3. Предотвращение загрязнения мембран

Предотвращение загрязнения мембран является определяющим фактором эффективной эксплуатации мембранных установок. Одним из способов предотвращения загрязнения мембран является дозирование в поток исходной воды антискейланта (ингибитора осадкообразования) и/или сильных минеральных кислот для коррекции pH. В рецептурах антискейланта могут использоваться следующие ингредиенты.

Комплексообразователи

1. Полифосфаты.

Натрий гексаметафосфат (НГМФ),
Натрий триполифосфат (НТПФ),

2. Комплексоны, в т.ч. фосфонаты.

Этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА).

Двузамещенная натриевая соль ЭДТА (Трилон - Б).

Оксиэтилидендифосфоновая кислота (ОЭДФ)

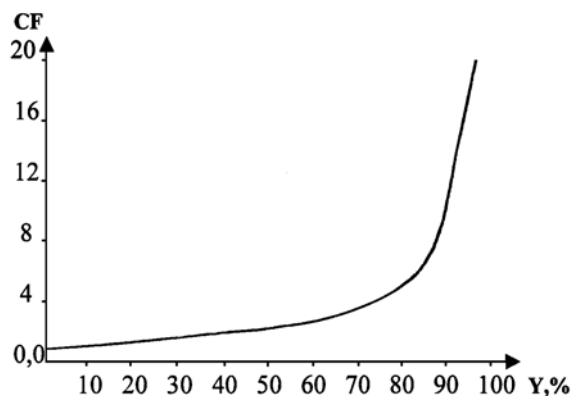


Рис. 1 Зависимость концентрационного фактора (CF) от конверсии (Y, %). Рабочее давление 0,5 МПа. Мембрана ESPA –4, селективность 98%.

Нитрилотриметилфосфоновая кислота (НТФ)
 Полиэтиленполиамино-N-метилфосфоновая кислота (ПАФ)
 2-Фосфонобутан-1,2,4-трикарбоксилловая кислота (ФБТК).
 Этилендиаминтетра-метиленфосфоновая кислота (ЭДТФ).
 Гексаметилендиаминтетра-метиленфосфоновая кислота (ГМДТФ).
 Диэтилентриаминпента-метиленфосфоновая кислота (ДТПФ).

3. Полимеры.

Полиакриловая кислота (ПАА).
 Полиметакриловая кислота (ПМАА).
 Полиmaleиновая кислота (ПМА).

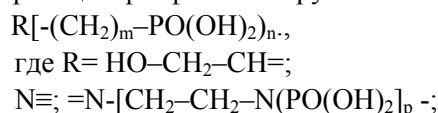
4. Сополимеры.

Полисульфонат-стерин-maleиновый ангидрид (ПСМА).
 Полиакриладиакриламид (ПААА).
 Полиакриладид 2-акриламид-2-метилпропан-сульфоновая кислота (ПАМС).

В качестве антискейлантов первого поколения использовались комплексообразующие фосфаты: натрийпирофосфат, тринатрийфосфат и натрий гексаметафосфат (НГМФ) – по аналогии с ингибиторами для холодильных и теплоэнергетических установок [1]. Чаще всего в РО-технологии применяется НГМФ. Инжектирование НГМФ и минеральных кислот используется на протяжении многих лет в АС РО-системах, т.к. для АС мембран оптимальная величина рН 5,5–6,5. В основном, фосфаты применяются для ингибирования осадкообразования карбоната кальция и гидроксида железа. Жесткие нормативы по содержанию фосфатов, в сбрасываемом в дренаж концентрате, лимитируют применение НГМФ. Кроме того, НГМФ устойчив только в безводной твердой форме. В водном растворе он склонен к гидролизу с образованием ортофосфатов и малорастворимых осадков фосфата кальция. Скорость реакции гидролиза пропорциональна величине жесткости и рН, а также температуре исходной воды. Присутствие кальция, магния, алюминия, железа и некоторых других ионов, также ускоряют процесс гидролиза. Образование кристаллических фосфатов приводит к их истощению в исходной воде и дополнительному образованию карбонатных осадков.

Вторая группа антискейлантов – фосфонаты, которые способны ингибировать формирование карбонатных осадков при более высоких значениях рН, что позволяет снизить или вовсе отказаться от использования сильных кислот для снижения рН. Фосфонаты относятся к классу комплексонов, молекулы которых содержат много реакционных центров, которые, взаимодействуя с катионами металлов, образуют пяти-, четырех- и восьмичленные циклические соединения – комплексонаты, с очень высокой устойчивостью так, что закомплексованные катионы металлов надежно выводятся с потоком концентрата и не обнаруживаются в характерных для них реакциях. ЭДТА и Трилон-Б применяются как в чистом виде, так и в композициях с различными минеральными и органическими кислотами. В водном растворе Трилон-Б взаимодействует с ионами щелочноземельных металлов, железа и марганца, образуя стойкие хелатные комплексы. Однако, по экономическим причинам, его применение лимитируется величиной жесткости 0,01 мг-экв/л и концентрацией железа 0,1 мг/л, при этом необходимая доза Трилона-Б составляет 2,49 мг/л [2] Кроме того, Трилон-Б токсичен и относится ко второму классу опасности, в соответствии с ГОСТ12.1.007-76.

Более безопасными являются комплексоны, содержащие фосфоновые группы:



При $n \geq 2$; $m=0-1$; $p=1-3$. В отличие от Трилона-Б, фосфонаты не только химически прочно связывают катионы щелочноземельных металлов и железа, но и инактивируют центры кристаллизации малорастворимых соединений, препятствуя образованию осадков даже при концентрации комплексона в десятки раз ниже стехиометрической. Фосфорорганические комплексоны более безопасны и дешевы, по сравнению Трилоном-Б.

Снижение концентрации трудно растворимых солей возможно путем их перевода в более растворимые соединения. Так, оксиэтилендифосфонат – анион, взаимодействует с ионами кальция и магния с образованием растворимых комплексных соединений хелатной структуры:

$OЭДФH_3^{2-} + Me^{2+} \rightarrow [OЭДФMe]H^+ + 2H^+$,
 где $Me=Ca, Mg$. Однако расход ОЭДФ слишком большой – около 100 мг/л на каждый мг-экв/л жесткости воды. В тоже время, для перевода карбонатных осадков в форму тонкодисперсного шлама необходимо всего 0,5–2% от стехиометрического количества ОЭДФ, при этом образуются очень мелкие кристаллы кальцита неспособные закрепиться на поверхности мембран. В зависимости от температуры, рН и карбонатного индекса можно подобрать дозировку комплексона как для бесшламового, так и шламового режима эксплуатации. Карбонатным индексом (I_K) называется произведение кальциевой жесткости воды (J_{Ca}) и ее щелочности по метиловому оранжевому ($Щ_{MO}$) в мг-экв/л: $I_K = J_{Ca} \cdot Щ_{MO}$ (мг-экв/л)². При использовании комплексных соединений или солей ОЭДФ, концентрацию комплексона следует пересчитать в эквивалентную концентрацию ОЭДФ. По своей токсичности рецептуры на основе ОЭДФ относятся к третьему классу опасности, в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76, что характеризует их как умеренно опасные.

В табл. 1 приводится рекомендуемая дозировка ОЭДФ в зависимости от карбонатного индекса. Водный 20% раствор ОЭДФ (рецептурная марка «Аминат ОД-1») и 20% раствор натриевых или аммонийных солей ОЭДФ (рецептурная марка «Аминат ОД») также эффективно ингибируют образование карбонатных

осадков в присутствии ионов железа. Рекомендуемые дозировки данной рецептуры приведены в табл. 2 [2].

НТФ и ее производные более активны в плане ингибирования осадкообразования солей щелочноземельных металлов, чем ОЭДФ и ее производные, поэтому их удельный расход существенно ниже. По своему воздействию на организм человека НТФ относится к четвертому классу опасности, в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76, что характеризует ее как малоопасное вещество. НТФ является одним из ингредиентов, широко используемых в рецептурах для регенерационной промывки мембранных установок.

ПАФ и ее производные начали использоваться в качестве антискейланта недавно, в основном для ингибирования осадкообразования в водах с высоким содержанием глинистых и органических веществ, гуматов и соединений кремния. Кроме этого ПАФ и ее производные используются в качестве дисперсантов в рецептурах для регенерационной промывки мембранных установок. Относятся к третьему классу опасности, в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76.

Фосфонаты более устойчивы, чем фосфаты и практически не гидролизуются. Однако, при передозировке, фосфонаты образуют с кальцием нерастворимые осадки, а также вступают в реакцию с дезинфектантами окислительного типа.

Третья группа антискейлантов – полимеры,

Таблица 1. Рекомендуемая дозировка ОЭДФ в зависимости от карбонатного индекса.

I_K (мг-экв/л) ²	0 - 1	1 - 3	3 - 7	7 - 11	11 - 15	15 - 20
ОЭДФК мг/л	0,5±0,25	1,0±0,5	2,0±1,0	4,0±1,5	6,0±2,0	8,0±3,0

Таблица 2

Общая жесткость воды, мг-экв/л	Рекомендуемая дозировка антискейланта «Аминат ОД» и «Аминат ОД-1», мг/л. При содержании железа, мг/л.		
	До 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3
До 2	0,5 ± 0,25 (2,25 ± 1,0)	1,0 ± 0,5 (4,5 ± 2,0)	2,0 ± 0,75 (9,0 ± 4,0)
2 - 4	1,0 ± 0,5 (4,5 ± 2,0)	2,0 ± 0,75 (9,0 ± 4,0)	4,0 ± 1,0 (18,0 ± 4,5)
4 - 6	2,0 ± 0,75 (9,0 ± 4,0)	4,0 ± 1,0 (18,0 ± 4,5)	6,0 ± 1,5 (27,0 ± 7,0)
6 - 8	3,0 ± 1,0 (13,0 ± 4,5)	5,0 ± 1,5 (23,0 ± 7,0)	7,0 ± 2,0 (32,0 ± 9,0)
8 - 10	4,0 ± 1,0 (18,0 ± 4,5)	6,0 ± 1,5 (27,0 ± 7,0)	8,0 ± 2,0 (38,0 ± 9,0)

эффективно ингибируют осадкообразование карбоната кальция, что позволяет эксплуатировать R-установки в области положительных значений LSI-индекса, до +2,5. Так, применение ПАА с концентрацией 2–3 мг/л позволяет ингибировать карбонатное осадкообразование на RO-мембранах в диапазоне рН концентрата 8–11 без предварительного удаления карбонатов, бикарбонатов, CO₂ и H₂S.

Четвертая группа антискейлантов – сополимеры, молекулы которых содержат несколько функциональных групп, что позволяет им ингибировать осадкообразование сразу нескольких химических соединений, например – гидроокиси железа и карбоната кальция. Можно целенаправленно подобрать комбинацию сополимеров для одновременного ингибирования соединений железа, фосфатов, карбонатов, сульфатов и др. солей.

Для низконапорных ПА мембран более эффективными являются полимерные антискейланты, которые более универсальны по условиям применения и эффективны в широком диапазоне рН. Они способны образовывать кластерные соединения с ионами Ca²⁺ и Mg²⁺, предотвращая формирование стабильной кристаллической решетки, устойчивы к гидролизу даже при повышенных (30–35⁰ С) температурах. Одними из первых, в качестве синтетических полимерных антискейлантов, были использованы полиакрилаты, которые способны обволакивать поверхность центров кристаллизации, изменяя их поверхностные характеристики и тем самым предотвращать образование кристаллической решетки. Эффективность полимерных антискейлантов зависит от величины их молекулярного веса, стерических свойств полимера, величины поверхностной адсорбции, которая является функцией ионной силы, рН и температуры потока исходной воды. На стадии ингибирования карбонатных загрязнений, полиакрилаты по эффективности превосходят НГМФ. Однако по отношению к гидроокисям металлов их эффективность ниже НГМФ.

4. Технология применения антискейлантов

Наиболее проблемными для RO-процесса являются гидроокиси железа, марганца и алю-

миния. При отсутствии в потоке исходной воды растворенного кислорода или других окислителей, концентрация ионов Fe²⁺ и Mn²⁺ в концентрате не должна превышать 3,2 мг/л. При содержании в концентрате около 0,1 мг/л Fe³⁺ и Mn³⁺ на мембране уже начинает формироваться осадок. Содержание в концентрате гидроокиси алюминия – не должно превышать 0,2 мг/л. Для предотвращения загрязнения мембран гидроокисями применяется:

- инъектирование раствора метабисульфита натрия - для связывания кислорода, а также сильной кислоты (HCl или H₂SO₄) - для коррекции рН,
- окисление ионов железа путем инъектирования в исходную воду кислород - или хлорсодержащих окислителей с последующим фильтрованием на многослойных, карбоновых и барьерных фильтрах,
- инъектирование антискейлантов, позволяющих минимизировать осадкообразование гидроокиси железа на мембранах.

В табл. 3 приводятся сравнительные данные эффективности различных ингредиентов на стадии ингибирования осадкообразования гидроокиси железа, полученные в ходе опытно-промышленных испытаний на RO-установке производительность 10 м³/час. Количество мембранных элементов Ø8" x 40" мм –12 шт. Количество корпусов-разделителей – 3, по 4 мембранных элемента в каждом. Двухсекционный мембранный контур по схеме 2-1. Температура исходной воды 16⁰С, рН 7,2, содержание Fe³⁺ в концентрате 0,3 мг/л, рабочее давление 1,0 МПа.

Коллоидные и взвешенные микрочастицы ферро и алюмосиликатов, глинистых и органиче-

Таблица 3. Стабилизация ионов Fe³⁺, %

ПАА	5 мг/л	3
	7 мг/л	8
НГМФ	5 мг/л	4
	7 мг/л	8
Аминат ОД-1	5 мг/л	68
	7 мг/л	75
Аминат ОД	5 мг/л	78
	7 мг/л	85
ОЭДФ	5 мг/л	40
	7 мг/л	87

ских веществ, комплексных соединений гуминовых и фульво - кислот имеют размер менее 1 мкм. Однако, даже при очень низкой конверсии РО-процесса ($Y=5-6\%$) они уже начинают загрязнять мембраны. Поскольку промышленные РО-установки эксплуатируются с $Y = 75-80\%$, интенсивность загрязнения мембран возрастает в десятки раз.

Для ингибирования таких загрязнений применяются полимерные дисперсанты (разрыхлители). Молекулы дисперсанта адсорбируются на поверхности микрочастиц, изменяя их поверхностный заряд и сводя к минимуму процессы агломерации. Сила адсорбционного взаимодействия пропорциональна площади поверхности микрочастиц, зависит от физико-химических свойств микрочастиц и дисперсанта и не зависит от pH исходной воды. В табл. 4 показана активность различных дисперсантов относительно ультрадисперсии глины, 0,5–1,0 мкм.

Основным критерием, определяющими состав рецептуры антискейланта, является соотношение SDI, PD, LSI и SaDS-индексов исходной воды и концентрата [3]. Положительное значение LSI в концентрате определяет вероятное формирование карбонатных осадков, при значении $LSI=+0,5$ и более можно говорить о карбонатной нестабильности концентрата и необходимости применения антискейланта. Стандарт США № 60 ANSI-NSF для питьевой воды рекомендует шесть рецептур антискейланта, работающих в диапазоне $LSI=2,8-3,5$ и $S\&DSI=3,9-4,5$ и позволяющих надежно ингибировать формирование как чисто карбонатных осадков, так и смешанных осадков карбонатов, сульфатов и фторидов кальция, стронция, бария, магния, соединений железа, кремния, алюминия, тяжелых металлов.

В паспорте на мембранные элементы изгото-

витель должен указывать допустимые пределы LSI и S&DSI-индексов. В табл. 5 приводятся критические значения LSI-индекса для мембранных элементов $\varnothing 4'' \times 40''$ мм.

Как правило, рецептуры на основе смесей полимеров или полимеров и фосфонатов оказываются более эффективными, чем монорецептуры. Так, рецептура ПААА / НТФ=2/1 ингибирует кристаллизацию сульфатов до концентрации 2,2 ПР, в то время, как самостоятельно эти ингредиенты могут поддерживать стабильность концентрата до 1,2 ПР.

Применение антискейлантов эффективно лишь тогда, когда они адаптированы к конкретному типу мембран и их дозирование рассчитано - как составная часть мембранного процесса. Разработка адаптированных рецептур антискейлантов является довольно сложной технологической задачей, т.к. должна учитывать химическую стойкость мембранных элементов, состав исходной и очищенной воды, комплектность системы водоподготовки и ее регламентные эксплуатационные параметры, динамику формирования загрязнений и их физико-химические свойства. Кроме определения насыщенности концентрата, для расчета и оптимизации дозировки антискейланта необходимо учитывать pH и температуру исходной воды, ионную силу и химическую активность растворенных компонентов к молекулам антискейланта. Так, молекулы акрилатов инактивируются мелкодисперсными частицами металлического железа и молекулами катионитных полимеров.

Перед использованием любых новых композиций антискейланта, их необходимо проверять на совместимость с конкретными типами мембранных фильтр-элементов. Процедура тестирования заключается в длительной обработке мембранных фильтр-элементов испытуемыми рецептурами в наиболее жестких условиях. Эффективность применения антискейланта во многом зависит от достоверности методики расчета его пороговой концентрации, т.к. занижение рабочей концентрации приводит к загрязнению РО мембран, а избыток – к излишней минерализации потока воды и росту эксплуатационных расходов. Кроме того, наличие в рецептуре фосфонатов снижает растворимость кальция и увеличивает скорость гидролиза полифосфатов и формирования осадка фосфата кальция. Так-

Таблица 4. Дисперсная стабильность, %

НГМФ	2 мг/л	20
	5 мг/л	28
Аминат ОД	2 мг/л	24
	5 мг/л	48
ПАФ	2 мг/л	32
	5 мг/л	57
ПАМС	2 мг/л	64
	5 мг/л	91

Таблица 5 Предельно допустимое значение LSI – индекса

Условия применения	Hydronautics	Osmonics	Film-Тес	ЗАО «ИСВ»
Без антискейланта	< - 0,2	< 0,0	< 0,0	< 0,0
НГМФ	< +0,5	< +1,0	< +1,0	< +1,0
ПАМС	< +0,8	< +2,5	< +1,8	< +2,3

же, большое значение имеет точность дозирования антискейланта. Как недостаток, так и избыток приводят к ускоренному осадкообразованию и загрязнению мембран. Поскольку композитные ПА мембраны имеют отрицательно заряженную поверхность, а полимолекулы антискейланта заряжены положительно, то их избыток в исходной воде приводит к экранированию мембранной поверхности и снижению производительности мембранной установки. Применение антискейланта должно сопровождаться мониторингом режима его инжектирования и уровня осадкообразования.

Время действия антискейланта довольно ограничено – от нескольких десятков секунд до нескольких десятков минут, в зависимости от состава исходной воды и рецептуры антискейланта. Поэтому перед остановкой RO – системы необходимо прекратить подачу антискейланта, максимально снизить рабочее давление и промыть мембранный контур сначала исходной водой, а затем пермеатом, при этом электропроводность концентрата должна быть не выше, чем у потока исходной воды. Если эту регламентную операцию не выполнять, то в период

остановки на мембранах сформируется устойчивый минеральный осадок, т.к. наличие антискейланта увеличивает его сродство к материалу мембраны. Наличие солевого осадка вызывает шоковые осмотические

нагрузки на поверхности мембраны и, как следствие, ее растрескивание и деструкцию.

Сокращения

RO (Reverse Osmosis) – обратный осмос.

АС – мембраны из ацетата целлюлозы.

ПА – мембраны из полиамида.

МСВ – мембранная система водоподготовки

ПР – произведение растворимости

Литература

1. *A.Ward, T.Laronge*. Reverse osmosis. Chemical supplement thin-film composite membranes in RO systems. Ultrapure water, September, (1998), pp. 21 – 26.
2. *Ф.Ф. Чаусов, Г.А. Раевская*. Комплексный водно-химический режим теплоэнергетических систем низких параметров, РаС Dynamics, Москва – Ижевск, (2002).
3. *В.И. Федоренко*. Основные критерии для технологического расчета и эксплуатации мембранных систем водоподготовки. Ж. Мембраны. Серия: Критические технологии, ВИНТИ, РАН, Москва, № 17 (2003), с. 22-29