

ВСТ

ISSN 0321-4044

11
2018



ВОДОСНАБЖЕНИЕ
И САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

АО «МосводоканалНИИпроект»



ДЕПАРТАМЕНТ
ГОРОДСКОГО
ИМУЩЕСТВА
ГОРОДА МОСКВЫ

СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

ПУСКОНАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ

ВОДОПОДГОТОВКА, ВЗУ, СЕТИ

САНИТАРНАЯ ОЧИСТКА ГОРОДОВ

105005, Москва,
Плетешковский пер., 22
E-mail: post@mvkniipr.ru

www.mvkniipr.ru



Тел.: (495) 956-16-38
(499) 261-53-84
(499) 263-01-38
Факс: (499) 261-77-75

Применение концентрата установок обратного осмоса в технологии производства электролизного гипохлорита натрия

Л. Н. ФЕСЕНКО¹, А. Ю. СКРЯБИН², С. Ю. БЕССАРАБОВ³, И. В. ПЧЕЛЬНИКОВ⁴, С. И. ИГНАТЕНКО⁵

¹ Фесенко Лев Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова 346428, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел.: (8863) 526-56-13, e-mail: 65613@mail.ru

² Скрябин Александр Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, первый заместитель главы администрации г. Ростова-на-Дону

344002, Россия, г. Ростов-на-Дону, Б. Садовая ул., 47, офис 424, тел.: (8632) 244-12-22, e-mail: media@rostov-gorod.ru

³ Бессарабов Сергей Юрьевич, аспирант кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова 346428, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел.: (951) 840-36-95, e-mail: bessarabov001@yandex.ru

⁴ Пчельников Игорь Викторович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова 346428, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел.: (8863) 526-56-13, e-mail: pchelnicov.igor@mail.ru

⁵ Игнатенко Сергей Иванович, кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, ООО НПП «ЭКОФЕС» 346400, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, Баклановский проспект, 200в, тел.: (8863) 526-56-13, e-mail: 65613@mail.ru

Обратный осмос и нанофильтрация благодаря высокой эффективности и минимальному расходу реагентов широко применяются в технологических схемах деминерализации и умягчения воды для хозяйственно-питьевых целей и подготовки воды в промышленном производстве (для паровых котельных, оборотных охлаждающих циклов, подпитки теплосетей и др.). Однако методы мембранного разделения сопровождаются образованием концентрата, очистка и утилизация которого представляет сложную задачу. Приведены данные по утилизации концентрата установок мембранного разделения с получением хлоридно-натриевого сырья для производства электролизного низкоконцентрированного гипохлорита натрия. Поскольку стоки от обратноосмотических установок содержат повышенные концентрации не только хлорид-ионов, но и ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- и SO_4^{2-} , целесообразно на первом этапе уменьшить объем технологического концентрата многократным концентрированием по схеме «нанофильтрация – обратный осмос». Далее концентрат от нанофильтрации с содержанием преимущественно двухвалентных ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} и SO_4^{2-} подвергается реагентной обработке последовательно по схеме: на первой ступени соединениями бария, на второй – карбонатом и гидроксидом натрия. Это позволит выделить из раствора

на первом этапе практически нерастворимый BaSO_4 с его осаждением в вихревом реакторе или ламельном сепараторе первой ступени, далее проводится осаждение малорастворимых в щелочной среде CaCO_3 и Mg(OH)_2 в реакторе второй ступени. Выведенные из материального баланса нерастворимые соли BaSO_4 , CaCO_3 и Mg(OH)_2 обезвреживаются на фильтр-прессе и используются в качестве товарного или сырьевого продукта. Водный раствор хлорида натрия доконцентрируется трехступенчатым обратным осмосом с получением 2–2,5-процентного водного раствора (22–25 г/л) поваренной соли – высокосортового сырья для производства электролизного гипохлорита натрия с концентрацией 6–8 г/л по эквиваленту хлора. Хлорсодержащий продукт может быть использован для обеззараживания питьевых и сточных вод, бицидной обработки градирен, теплообменных аппаратов для предотвращения и удаления биообрастаний, промывки ультра- и микрофильтрационных мембран, дезинфицирующей обработки сооружений и аппаратов водоподготовки, трубопроводов и иных комплектующих в производстве питьевой и технической воды.

Ключевые слова: обратный осмос, нанофильтрация, концентрат, десульфатация, реагентное умягчение, гипохлорит натрия.

Традиционно санитарно-эпидемиологическая безопасность питьевой воды достигается самым распространенным в мире способом обеззараживания воды в силу своей санитарно-гигиенической надежности, пролонгированности бактерицидного действия, относительной простоты и экономичности. Однако при использовании жидкого хлора остаются проблемы его транспортировки через населенные территории и хранения многотонных запасов на водоочистных станциях, многие из которых расположены рядом с расширяющейся городской жилой застройкой. Опасность использования жидкого хлора (второй класс опасности) для дезинфекции питьевой воды, а также невозможность соблюдения водоканалами ряда положений «Правил безопасности производств хлора и хлорсодержащих сред» (приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 ноября 2013 г. № 554, с изменениями на 18 сентября 2017 г.) привели к необходимости поиска менее опасного дезинфектанта, сочетающего положительные качества хлорирования и отсутствие его недостатков.

Мировой опыт научного поиска альтернативных жидкому хлору дезинфектантов обозначил, а в дальнейшем и подтвердил на практике перспективность применения для обеззараживания воды низкоконцентрированного электролитического гипохлорита натрия, который получают электролизом искусственно приготовленных растворов поваренной соли или природных минеральных хлоридных вод в бездиафрагменных электролизерах [1; 2].

В случае применения искусственного электролита основные затраты на получение гипохлорита натрия складываются из стоимости электроэнергетики, поваренной соли и воды. При получении 1 кг активного хлора современные бездиафрагменные электролизные установки потребляют в среднем 4,5–5,5 кВт·ч электроэнергии и 4,5–6 кг пищевой поваренной соли [3; 4]. Поскольку поваренная соль является основным сырьем для выработки электролизного гипохлорита натрия, затраты на ее приобретение, доставку и хранение в зависимости от сортности составляют до 40% себестоимости готового продукта [4; 5]. Поэтому к одному из перспективных и менее затратных методов химико-бицидной обработки воды можно отнести применение гипохлорита натрия, получаемого электролизом хлоридсодержащих растворов, либо растворов природного происхождения (вода морей и океанов, подземные рассолы, воды солевых озер),

либо технологических сточных вод от установок ионного обмена (Na-катионирование, Cl-анионирование), электродиализа, обратного осмоса, нанофильтрации и др.

Обратный осмос и нанофильтрация благодаря высокой эффективности и минимальному расходу реагентов получают все большее распространение в технологических схемах деминерализации и умягчения воды для хозяйственно-питьевых целей и подготовки воды в промышленном производстве (для паровых котельных, оборотных охлаждающих циклов, подпитки теплосетей и др.). Однако методы мембранного разделения сопровождаются сопутствующим образованием концентрата, очистка и утилизация которого является одним из самых сложных инженерных аспектов мембранных технологий и остается не до конца решенной проблемой [6; 7]. Несмотря на продолжающиеся исследования в области минимизации объема концентрата, не утратил своей актуальности и поиск новых решений, приоритетными среди которых будут технологии, исключающие загрязнение окружающей среды минеральными солями с утилизацией рассолов в товарный продукт, востребованный на рынке. Как представляется, если какая-либо заинтересованная сторона может использовать оставшийся после переработки концентрат с выгодой для себя, то это было бы самое простое решение для предприятий, которые применяют обратный осмос. Это снимает с них ответственность за экологические риски и, как следствие, исключает взимаемые многомиллионные штрафы за сверхнормативный сброс загрязняющих веществ в хозяйственно-бытовую или производственную канализацию. Однако таких желающих найти сложно, если вообще возможно, и станция водоподготовки с установками обратного осмоса вынуждена сама решать проблемы переработки концентрата.

Использование прудов-испарителей возможно только для тех регионов, где уровень испарения превышает годовое количество осадков. Стоимость строительства таких прудов и затраты на их эксплуатацию относительно невысоки, однако следует учитывать расходы на рекультивацию испарителя после его закрытия.

Сброс в море возможен только в случае приближенности станции водоподготовки к береговой линии. Кроме того, для такого варианта утилизации также есть ряд ограничений, которые могут потребовать корректировки химического состава сбрасываемого концентрата.

В ряде случаев для жидких отходов сложного химического состава применяется подземное

Показатель	Исходная вода	Концентрат		Пермеат		Смесь пермеата с исходной водой
		Win Flows 3.3.2	Nano Tech PRO	Win Flows 3.3.2	Nano Tech PRO	
Программа расчета мембранных модулей	—	Win Flows 3.3.2	Nano Tech PRO	Win Flows 3.3.2	Nano Tech PRO	—
pH	7,4	7,9	7,9	5,9	5,8	6,9
Общая жесткость, мг-экв/л	20,2	100,5	81,4	0,9	0,2	6
Температура, °С	10	10	10	10	10	10
Сухой остаток, мг/л	2053	10307	8396,6	25,5	26,9	635,7
Ca ²⁺ , мг-экв/л	10,6	53,1,6	42,9	0,03	0,09	3,2
Mg ²⁺ , мг-экв/л	9,5	47,4	38,5	0,02	0,07	2,8
Na ⁺ + K ⁺ , мг-экв/л	9,2	54,5	45,6	0,3	0,2	2,9
HCO ₃ ⁻ , мг-экв/л	4,2	22,7	18,6	0,13	0,06	1,3
SO ₄ ²⁻ , мг-экв/л	17,9	89,6	71,6	0,04	0,19	5,4
Cl ⁻ , мг-экв/л	8,7	42,7	35,6	0,16	0,13	2,7

глубинное захоронение. Однако такая процедура должна осуществляться с учетом геологических условий, поскольку есть опасность смещения с подземными водоносными горизонтами питьевой воды. Такой метод захоронения используется при невозможности реализации иных вариантов и, кроме того, требует длительных согласований и получения всевозможных разрешений. В первую очередь объектами для захоронения рассолов становятся истощенные нефтяные скважины. Однако часто такие скважины находятся за сотни километров от источников образования концентратов, и для их глубинного захоронения необходимы большие затраты на перевозку.

Утилизация концентрата может быть достигнута многоступенчатым упариванием с последующим переводом рассола в твердую фазу в кристаллизаторах для получения соли. При эксплуатации выпарных аппаратов возникают серьезные проблемы, связанные с образованием отложений (инкрустацией) различных веществ на поверхности теплообмена или забивкой трубок греющей камеры солевыми пробками, из-за чего аппараты часто останавливают на очистку или промывку. Высокую металлоемкость и громоздкость (высота), сложность эксплуатации и значительную стоимость также следует отнести к недостаткам таких установок.

Авторами предлагается новый способ утилизации концентратов установок мембранного разделения с получением хлоридно-натриевого сырья для производства товарного продукта — электролизного низкоконцентрированного гипохлорита натрия.

Можно ожидать, что концентрат, прошедший определенную обработку и содержащий повышенные концентрации хлорид-ионов, позволит обеспечить значительную экономию при получении растворов гипохлорита натрия и упростить технологическую схему его производства за счет исключения хозяйства по хранению, приготвлению и дозированию соли.

Поскольку стоки от обратноосмотических установок содержат повышенные концентрации не только хлорид-ионов, но и ионов Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ и SO₄²⁻, представляется рациональным на первом этапе уменьшить объем технологического концентрата путем его многократного концентрирования по схеме «нанофильтрация — обратный осмос». Далее концентрат от нанофильтрации с содержанием преимущественно двухвалентных ионов Ca²⁺, Mg²⁺ и SO₄²⁻ подвергается реагентной обработке последовательно по схеме: на первой ступени соединении

ями бария, а на второй — карбонатом и гидроксидом натрия.

Такая последовательность позволит выделить из раствора на первом этапе практически нерастворимый BaSO₄ с его осаждением в вихревом реакторе или ламельном сепараторе первой ступени и далее с осаждением малорастворимых в щелочной среде CaCO₃ и Mg(OH)₂ в реакторе второй ступени. Выведенные из материального баланса нерастворимые соли BaSO₄, CaCO₃ и Mg(OH)₂ окончательно обезвоживаются на фильтр-прессе и подлежат последующей реализации в качестве товарного или сырьевого продукта. Получаемый на выходе водный раствор хлорида натрия доконцентрируется трехступенчатым обратным осмосом с получением 2–2,5-процентного водного раствора (22–25 г/л) поваренной соли — высококачественного сырья для производства электролизного гипохлорита натрия с концентрацией 6–8 г/л по эквиваленту хлора. Получаемый хлорсодержащий продукт может быть использован в схеме обеззараживания питьевых и сточных вод, при биоцидной обработке градилен, теплообменных аппаратов для предотвращения и удаления биообрастаний, для промывки ультра- и микрофильтрационных мембран, дезинфицирующей обработки сооружений и аппаратов водоподготовки, трубопроводов и иных комплектующих в общем производстве питьевой и технической воды [8].

Для реагентного осаждения ионов Ca²⁺ и Mg²⁺ применяют традиционные методы водоподготовки: известковое, известково-содовое или едко-натровое умягчение. Удаление из воды сульфатов может быть реализовано применением бариевых реагентов, в том числе гидроксида бария, карбоната бария и хлорида бария.

Для исследований была взята подземная вода источников «Верхний нарзан» и «Нижний нарзан», насосной станции «Нарзан» (г. Аксай Ростовской области). Качество воды не удовлетворяет требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 по таким показателям, как общая жесткость — 20 °Ж (при норме не более 7); сульфаты — 867 мг/л (при норме не более 500 мг/л); общая минерализация (сухой остаток) — 1929 мг/л (при норме не более 1000 мг/л). Полезная производительность очистной станции по питьевой воде предполагается 2000 м³/сут.

Для снижения концентрации сульфатов, ионов кальция и магния (обуславливающих общую жесткость), а также общей минерализации (сухого остатка) необходимо провести мембранное разделение на установках обратного осмоса, а полученную глубоко обессоленную воду (пермеат) смешать с исходной водой в соотно-

шении, удовлетворяющем нормативам качества питьевой воды (СанПиН 2.1.4.1074-01). Для этого предлагается применение установки обратного осмоса производительностью по пермеату 59 м³/ч.

Расчет установки, химического состава пермеата и концентрата выполнен с использованием специализированных программ Win Flows 3.3.2 и Nano Tech PRO по подбору мембранных элементов. Расчетные гидрохимические показатели качества воды по концентрату и пермеату после установок мембранного разделения станции водоподготовки производительностью 2000 м³/сут представлены в табл. 1.

Комплект обратноосмотического оборудования включает в себя две ступени. На первую ступень подается исходная вода с расходом 73,75 м³/ч, состоящая из 10 корпусов по пять мембранных элементов АК-440 LE в каждом. Давление на входе составляет 8,17 бар. Пермеат после установки с расходом 44,25 м³/ч направляется на разбавление с исходной водой для корректировки показателей химического состава, превышающих требования СанПиН 2.1.4.1074-01. Концентрат с расходом 29,5 м³/ч подается на следующую ступень, состоящую из четырех корпусов по пять мембранных элементов АГ-440 в каждом. Давление на входе составляет 14,67 бар. Пермеат со второй ступени с расходом 14,75 м³/ч также смешивается с исходной водой. Концентрат с расходом 14,75 м³/ч должен быть направлен на последующую обработку и утилизацию.

В качестве исходного продукта для изучения десульфатации воды солями бария был взят кон-

центрат после обратного осмоса, рассчитанный по программе Win Flows 3.3.2 (табл. 1). Полученный расчетным способом пермеат после смешения с исходной водой имел химический состав, отвечающий по качеству питьевой воде. В эксперименте концентрат готовился в лабораторных условиях по следующей схеме: насыщенный отстоянный известковый раствор отфильтровывали на вакуум-фильтре с последующим его подкислением 1,5М серной кислотой до pH 7,5. Далее были рассчитаны навески солей NaHCO₃, Na₂SO₄, MgSO₄·7H₂O и CaCl₂, необходимые для получения модельного концентрата. В итоге была приготовлена вода, соответствующая химическому составу концентрата, полученного расчетным методом с применением программы Win Flows 3.3.2.

Приготовленный модельный концентрат подвергали реагентной обработке последовательно по вышеописанной схеме: на первой ступени хлоридом бария и на второй — карбонатом и гидроксидом натрия. После этого необходимо провести подкисление концентрата и последующее доконцентрирование на обратноосмотической установке для повышения содержания хлорид-ионов в обрабатываемом растворе. Динамика изменения химического состава воды по этапам реагентного осаждения концентрата от установок обратного осмоса приведена в табл. 2.

Предлагаемая технология практически полностью исключает сброс каких-либо сточных вод в хозяйственно-бытовую канализацию и позволяет получить из отходов водоочистки товарный реагент — гипохлорит натрия.

Таблица 2

Показатель	Исходная вода	Концентрат				
		расчетный	модельный	после первой ступени осаждения с BaCl ₂	после второй ступени осаждения с Na ₂ CO ₃ + NaOH	после нейтрализации HCl
pH	7,4	7,9	7,7	7,5	11,5	7,7
Ca ²⁺	10,65 213	53,1 1062	47 940	40 800	0,25 5	0,3 6
Mg ²⁺	9,51 116	47,4 578,3	39 475,8	40 488	0,05 0,61	0,2 2,4
Na ⁺	10,7 246,1	54,7 1253,5	50,1 1151,8	34,6 795,8	116,3 2674,9	131,6 3026,8
OH ⁻	0 0	0 0	0 0	0 0	5,6 95,2	0 0
CO ₃ ²⁻	0 0	0 0	0 0	0 0	4 120	0 0
HCO ₃ ⁻	4,2 256,2	22,7 1384,7	10,6 646,6	4,2 256,2	0 0	2,2 134,2
SO ₄ ²⁻	17,9 863	89,6 4300,8	86 4128	0,4 19,2	0 0	0 0
Cl ⁻	8,7 307,7	42,7 1513,7	39,5 1399,6	110 3899,5	107 3793,1	129,9 4605

Примечание. В числителе мг-экв/л, в знаменателе мг/л.

Выводы

Применение в схеме подготовки питьевой или технологической глубоко обессоленной воды мембранного разделения (обратный осмос или нанофильтрация) позволяет практически полностью исключить сброс производственных сточных вод в хозяйственно-бытовую канализацию. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают реальную возможность использования концентрата от установок мембранного разделения после его соответствующей реагентной обработки в качестве хлоридно-натриевого сырья для получения обеззараживающего продукта — низкоконцентрированного гипохлорита натрия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Фесенко Л. Н., Пчельников И. В. Оценка экономической эффективности получения гипохлорита натрия электролизом морской воды: Сборник докладов научно-практической конференции, посвященной памяти академика РАН С. В. Яковлева. — М., МГСУ, 2012. С. 59–67.
- Кудрявцев С. В. Совершенствование технологических параметров установок получения электролитического гипохлорита натрия для обеззараживания воды: Дисс. ... канд. техн. наук. — Новочеркасск, 2009. 161 с.
- Видер Б. Л., Горшенин А. П., Иткин Г. Е. Новый способ получения электролитического гипохлорита и его применение // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 1. С. 26–27.
- Фесенко Л. Н., Денисов В. В., Скрябин А. Ю. Дезинфектант воды — гипохлорит натрия: производство, применение, экономика и экология / Под редакцией Денисова В. В. — Ростов-на-Дону: Издательство Северо-Кавказского научного центра высшей школы Южного федерального университета, 2012. 246 с.
- Медриш Г. Л., Теишева А. А., Басин Д. Л. Обеззараживание природных и сточных вод с использованием электролиза. — М.: Стройиздат, 1982. 81 с.
- Первов А. Г., Андрианов А. П., Горбунова Т. П., Юрчевский Е. Б. Технология утилизации концентрата установок обратного осмоса в системах водоподготовки // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 8. С. 20–26.
- Первов А. Г., Андрианов А. П., Горбунова Т. П. Разработка мембранных технологий с уменьшенным расходом воды на собственные нужды // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 6. С. 13–21.
- Скрябин А. Ю., Фесенко Л. Н., Пчельников И. В., Игнатенко С. И. Пути решения экологичности и безотходности производства электролитического гипохлорита натрия для обеззараживания питьевых вод // Водоочистка. 2014. № 3. С. 9–16.

WATER TREATMENT

Utilization of concentrate from reverse osmosis units in the production of electrolytic sodium hypochlorite

L. N. FESENKO¹, A. Iu. SKRIABIN², S. Iu. BESSARABOV³, I. V. PCHEL'NIKOV⁴, S. I. IGNATENKO⁵

¹ Fesenko Lev Nikolaevich, Doctor of Engineering, Professor, «Water Industry, Utility Systems and Environmental Protection» Chair, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)

132 Prosveshchenia St., 346428, Novocheerkassk, Rostov Area, Russian Federation, tel.: +7 (8863) 526-56-13, e-mail: 65613@mail.ru

² Skriabin Aleksandr Iur'evich, Ph. D. (Engineering), Associate Professor, First Deputy of the Head of Rostov-on-Don Administration 47, office 424 B. Sadovaia St., 344002, Rostov-on-Don, Russian Federation, tel.: +7 (8632) 244-12-22, e-mail: media@rostov-gorod.ru

³ Bessarabov Sergei Iur'evich, Post Graduate Student of the Chair for «Water Industry, Utility Systems and Environmental Protection», Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)

132 Prosveshchenia St., 346428, Novocheerkassk, Rostov Area, Russian Federation, tel.: +7 (951) 840-36-95, e-mail: bessarabov001@yandex.ru

⁴ Pchel'nikov Igor' Viktorovich, Ph. D. (Engineering), Senior Lecturer of the Chair for «Water Industry, Utility Systems and Environmental Protection», Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)

132 Prosveshchenia St., 346428, Novocheerkassk, Rostov Area, Russian Federation, tel.: +7 (8863) 526-56-13, e-mail: pchel'nikov.igor@mail.ru

⁵ Ignatenko Sergei Ivanovich, Ph. D. (Engineering), Deputy Director for Science, «EKOFESES» LLC SPE

200V Baklanovskii Ave., 346400, Novocheerkassk, Rostov Area, Russian Federation, tel.: +7 (8863) 526-56-13, e-mail: 65613@mail.ru

Owing to high efficiency and minimum chemical consumption reverse osmosis and nanofiltration have been widely used in process flow schemes of drinking water demineralization and softening and water preparation for industrial use (in steam boiler-houses, recycling cooling circuits, heat network make up etc.). However, the methods of membrane separation are accompanied by concentrate generation which is very difficult to process and utilize. The data on utilization of concentrates of membrane separation units with obtaining chloride-sodium raw material for the production of electrolytic low-concentrated sodium hypochlorite is presented. Since the waste stream of reverse osmosis units contains elevated concentrations not only of chloride ions but also of Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ and SO₄²⁻ ions it would be reasonable at the first stage to reduce the amount of process concentrate by repeated concentrating as per flowchart «nanofiltration-reverse osmosis». Further on the concentrate of nanofiltration containing mainly Ca²⁺, Mg²⁺ and SO₄²⁻ divalent ions is subject to chemical treatment as per flowchart: at the first stage with barium compounds; at the second stage with sodium carbonate and hydroxide. This will allow separating practically insoluble BaSO₄ from the solution with its precipitation in a vortex reactor or first-stage lamellar separator; then CaCO₃ and Mg(OH)₂ low-soluble in alkaline environment are precipitated in the second stage reactor. BaSO₄, CaCO₃ and Mg(OH)₂ insoluble salts removed from the mass balance are dewatered in a filter-press and sold as commodity or raw products. Aqueous solution of sodium chloride is repeatedly concentrated by three-stage reverse osmosis to obtain 2–2.5% aqueous solution of table salt — high-grade raw material for the production of electrolytic sodium hypochlorite with 6–8 g/l chlorine equivalent concentration. Chlorine-containing product can be used for drinking and waste water disinfection, biocidal processing of cooling towers, heat exchanging units for preventing and removing biofouling, washing ultra- and microfiltration membranes, disinfecting water treatment facilities and equipment, pipelines and other components used in the production of drinking and process water.

Key words: reverse osmosis, nanofiltration, concentrate, desulfatation, chemical softening, sodium hypochlorite.

REFERENCES

- Fesenko L. N., Pchel'nikov I. V. [Evaluation of the economic efficiency of sodium hypochlorite production by sea water electrolysis]. Book of reports of XII International Scientific and Technical Conference Dedicated to the Memory of S. V. Iakovlev, Academician of RAS. Moscow, MGSU Publ., 2012, pp. 59–67. (In Russian).
- Kudriavtsev S. V. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh parametrov ustanovok polucheniya elektroliticheskogo gipokhlorit natriya dlya obezrazhivaniya vody* [Improving the process parameters of the units for electrolytic sodium hypochlorite production for water disinfection. Ph. D. thesis in Engineering Science. Novocheerkassk, 2009, 161 p.].
- Vider B. L., Gorshenin A. P., Itkin G. E. [Advanced method of electrolytic sodium hypochlorite production and its application]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2005, no. 1, pp. 26–27. (In Russian).
- Fesenko L. N., Denisov V. V., Skriabin A. Iu. *Dezinfektant vody — gipokhlorit natriya: proizvodstvo, primeneniye, ekonomika i ekologiya* [Sodium hypochlorite — water disinfectant: production, use, economics and ecology. Under the editorship of Denisov V. V. Rostov-on-Don, Publishing House of the North-Caucasus Scientific Centre of the Higher School of the South Federal University, 2012, 246 p.].
- Medrish G. L., Teisheva A. A., Basin D. L. *Obezrazhivaniye prirodnykh i stochnykh vod s ispol'zovaniem elektroliza* [Disinfection of natural and waste water with the use of electrolysis. Moscow, Stroizdat Publ., 1982, 81 p.].
- Pervov A. G., Andrianov A. P., Gorbunova T. P., Iurchevskii E. B. [The technology of reverse osmosis concentrate disposal in water treatment systems]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2012, no. 8, pp. 20–26. (In Russian).
- Pervov A. G., Andrianov A. P., Gorbunova T. P. [Development of membrane techniques with reduced water consumption for own needs]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2010, no. 6, pp. 13–21. (In Russian).
- Skriabin A. Iu., Fesenko L. N., Pchel'nikov I. V., Ignatenko S. I. [Addressing the problems of ecological compatibility and zero-discharge technologies of electrolytic sodium hypochlorite production for drinking water disinfection]. *Vodo-ochistka*, 2014, no. 3, pp. 9–16. (In Russian).