

Practical value. It was developed an algorithm and software for selecting optimal route for fire-rescue units the fire location based on the optimization model (on the example of the State Fire-Rescue Station Number 1 Galician Regional Department of the State Service of Ukraine for Emergency Situations of Lvov).

Keywords: *integrated model of fire, toxic products of combustion, time of free development of a fire*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук А.Д. Кузиком. Дата надходження рукопису 23.09.13.

УДК 541.18.045: 628.165

**Н.Д. Гомеля, д-р техн. наук, проф.,
И.Н. Трус, Я.В. Радовенчик**

Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт“, г.Київ, Україна,
e-mail: inna.trus.m@gmail.com

ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА СЛАБОКИСЛОТНОМ КАТИОНИТЕ В КИСЛОЙ ФОРМЕ НА КАЧЕСТВО НАНОФИЛЬТРАЦИОННОГО ОПРЕСНЕНИЯ ШАХТНОЙ ВОДЫ

**M.D. Gomelya, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
I.M. Trus, I.V. Radovenchik**

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, e-mail: inna.trus.m@gmail.com

INFLUENCE OF STABILIZING WATER TREATMENT ON WEAK ACID CATION EXCHANGE RESIN IN ACIDIC FORM ON QUALITY OF MINE WATER NANOFILTRATION DESALINATION

Цель. Оценка эффективности процесса нанофильтрации при опреснении водных растворов в зависимости от их ионного состава и pH среды, с учетом перспективы стабилизационной обработки воды на слабокислотном катионите в кислой форме и переработки концентратов реагентным методом при создании малоотходной технологии кондиционирования слабоминерализованных вод.

Методика. Процесс нанофильтрации проводили в ячейке объемом 1,0дм³, куда предварительно помещали нанофильтрационную мембрану ОПМН-П (рабочая площадь – 113,04см²). Степень отбора пермиата составляла 70%, рабочее давление варьировали в пределах 0,20–0,40МПа. В пермиате определяли содержание сульфатов, хлоридов, кальция, магния, жесткость, щелочность и pH среды.

Результаты. Исследовано извлечение сульфат-ионов и ионов жесткости на мембране ОПМН-П. Показано влияние pH на процесс очистки слабоминерализованных вод. Определено влияние давления на производительность и селективность мембраны по сульфатам и ионам жесткости.

Научная новизна. Определена зависимость производительности и селективности мембраны по хлоридам, сульфатам, гидрокарбонатам и ионам жесткости от рабочего давления, реакции среды и ионного состава раствора. Установлено, что эффективность извлечения ионов жесткости и сульфатов возрастает при повышении pH от 4 до 9, а селективность мембраны по ионам жесткости повышается с увеличением содержания сульфатов.

Практическая значимость. Определение условий эффективной очистки воды от сульфатов и ионов жесткости методом нанофильтрации позволит решить проблему эффективной очистки шахтных вод, содержащих, преимущественно, сульфаты и ионы жесткости. При этом эффективная стабилизационная обработка воды позволит существенно повысить объемы очищенных вод при сокращении объемов жидких отходов, утилизация которых является сложной проблемой.

Ключевые слова: *шахтные воды, баромембранные процессы, концентрат, мембрана, нанофильтрация, опреснение воды, пермиат*

Постановка проблемы. В горной промышленности (угольной, горнорудной и нерудных материалов) попутно с добычей полезных ископаемых забирается вода, объем которой в несколько раз превышает объем ее потребления промышленными предприятиями

отрасли. Поэтому невозможно создать бессточные системы на горнодобывающих предприятиях.

Постоянный переход горных работ на более глубокие горизонты приводит к увеличению объемов и загрязнения различными веществами попутно забираемых вод. Требования к качеству очистки сточных вод при выпуске в водоемы, а также при следующем использовании шахтных вод, обуславливают широ-

кое применение различных методов и технологий их очистки. Кроме загрязнения механическими и органическими примесями, шахтные воды характеризуются высоким солесодержанием, что ограничивает их комплексное использование в промышленности без должной очистки, а также предопределяет угрозу загрязнения поверхностных и подземных вод.

Анализ последних исследований. Анализ научно-технической литературы показывает, что наиболее целесообразно для очистки низкоконцентрированных, концентрированных, низко- и высокоминерализованных сточных вод использовать наночистотные технологии [1]. Ультра- и наночистота (УФ и НФ соответственно) являются одними из самых эффективных и многофункциональных баромембранных методов опреснения и очистки загрязненных вод. Проблему утилизации концентратов можно решить с помощью осаждения сульфатов в виде сульфогидроксоалюмината кальция [2; 3]. В большинстве случаев в шахтных водах содержание сульфатов значительно выше, чем хлоридов, и количество последних не превышает допустимый уровень и составляет 100–200 мг/дм³. Следовательно, применение методов наночистоты в данном случае является целесообразным, поскольку происходит достаточно эффективное извлечение сульфатов при допустимых уровнях хлоридов в воде.

Формулирование цели работы. Целью работы было изучение влияния рН среды на эффективность очистки воды от сульфатов и ионов жесткости на наночистотной мембране, а также оценка влияния рабочего давления на селективность и продуктивность мембраны.

Изложение основного материала. При выполнении исследований использовали модельный раствор, близкий по составу к слабоминерализованной воде с Исакиевского водохранилища, запасы воды в котором формируются за счет сброса шахтных вод (г. Алчевск) (Ж = 9,40 мг-экв/дм³; С (Ca²⁺) = 2,85 мг-экв/дм³; С (Mg²⁺) = 6,55 мг-экв/дм³; Л = 4,40 мг-экв/дм³; С (SO₄²⁻) = 600,00 мг/дм³; С (Cl) = 122,00 мг/дм³; рН = 8,50). Кроме модельного раствора использовали фильтр после его обработки на слабокислотном катионите DOWEX MAC-3 в кислой форме (Ж = 8,60 мг-экв/дм³; К = 0,40 мг-экв/дм³; С (SO₄²⁻) = 600,00 мг/дм³; С (Cl) = 122,00 мг/дм³; рН = 3,65).

Для опреснения воды использовали наночистотную мембрану ОПМН-П, характеристики которой представлены ниже:

Мембрана.....	полиамидная
Рабочее давление, МПа.....	1,6
Минимальная производительность по фильтрату при 25 ⁰ С, дм ³ /м ² ·ч...	100
Рабочий диапазон рН.....	2–12

Раствор заливали в ячейку объемом 1,0 дм³ с площадью мембраны 113,04 см². Рабочее давление варьировали от 0,20 до 0,40 МПа. При заданном давлении отбирали пробы пермиата объемом по 100 см³, фиксируя время отбора. Степень отбора пермиата меняли от 10 до 70%. В пермиате определяли содержание сульфатов, хлоридов, кальция, магния, жесткость, щелочность и рН сре-

ды. Сульфаты определяли фотометрическим методом, хлориды – методом Мора, щелочность, жесткость, кальций и магний по стандартным методикам.

Селективность мембраны по компонентам раствора рассчитывали по формуле

$$R = \frac{C_0 - C_n}{C_0} \cdot 100, \quad (1)$$

где C₀, C_n – концентрация в исходном растворе и пермиате соответственно.

Для каждой последующей, после первой пробы, учитывали увеличение концентрации компонента (C₀) за счет его накопления в концентрате.

Производительность мембраны (скорость трансмембранного потока) определяли по формуле

$$J = \frac{\Delta V}{S \cdot \Delta t}, \quad (2)$$

где ΔV – объем пермиата (дм³), что прошел через мембрану S (м²) за время отбора Δt (ч.).

Особенностью наночистотного опреснения воды является то, что в данном случае из воды удаляются, в основном, двухзарядные ионы – сульфаты и катионы жесткости. Селективность мембраны по хлоридам для мембран данного типа является достаточно низкой.

Одним из способов стабилизационной обработки воды является ее фильтрация через слабокислотный катионит в кислой форме. При этом из воды практически полностью удаляются карбонаты и гидрокарбонаты (щелочность равна 0 мг-экв/дм³). Кислотность раствора достигает 0,2–0,7 мг-экв/дм³, а рН снижается до 3,5–4,1.

Как показали проведенные исследования, стабилизационная обработка модельного раствора (С (SO₄²⁻) = 600 мг/дм³; Ж = 9,4 мг-экв/дм³; Л = 4,4 мг-экв/дм³; С (Cl) = 122 мг/дм³) на слабокислотном катионите привела к снижению его рН до 3,65, снижению щелочности до 0,0 мг-экв/дм³, повышению кислотности до 0,4 мг-экв/дм³ и снижению жесткости до 8,6 мг-экв/дм³ при тех же концентрациях хлоридов и сульфатов.

Фильтрацию полученного раствора проводили через наночистотную мембрану ОПМН-П в статических условиях при перемешивании раствора, после чего определяли изменение производительности мембраны в зависимости от рабочего давления и степени отбора пермиата (рис. 1). Как видно на рис. 1, производительность мембраны возрастает с повышением рабочего давления и снижается с увеличением степени отбора пермиата. Очевидно, что данный эффект обусловлен, в первую очередь, ростом солесодержания в концентрате и повышением осмотического давления. Более высокое снижение производительности при рабочем давлении 0,40 МПа, чем при 0,20 МПа, можно объяснить большим уплотнением мембраны с ростом давления и увеличением осмотического давления раствора при повышении в нем концентрации солей.

Следует отметить, что подкисление водного раствора на катионите в данном случае практически не влияло на производительность мембраны. Она меня-

ється в тех же пределах, что и производительность мембраны при фильтровании некационированного исходного раствора. Это связано с тем, что при фильтровании некационированного модельного раствора время использования мембраны было достаточно мало для образования на ее поверхности значительных отложений, которые препятствовали бы фильтрованию воды. Однако при более длительных испытаниях производительность мембраны по необработанному раствору может существенно снизиться.

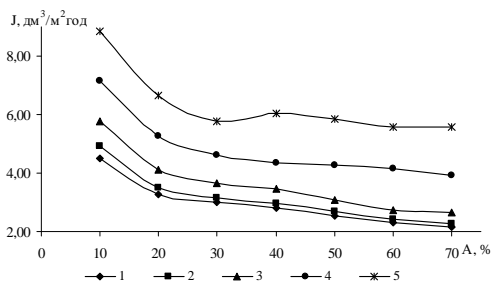
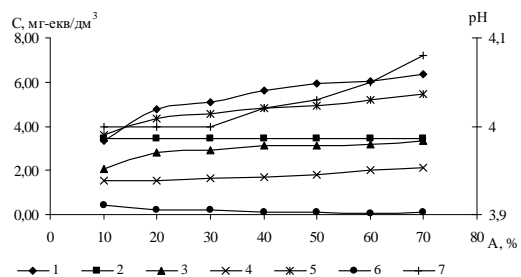


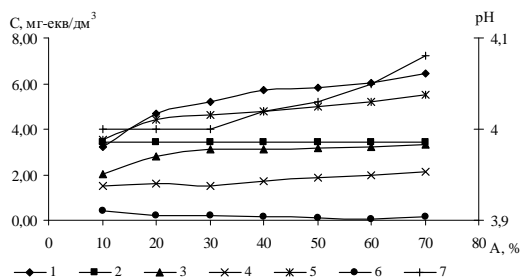
Рис. 1. Изменение производительности (J) мембраны ОПМН-П в зависимости от рабочего давления и степени отбора (A) пермиата при фильтровании модельного раствора после его обработки на слабокислотном катионите: рабочее давление (P), МПа: 0,2 (1); 0,25 (2); 0,3 (3); 0,35(4); 0,4 (5)

Более значительно повлияла кислотная обработка воды на селективность мембраны. Как видно на рис. 2, при подкислении воды остаточные концентрации хлоридов в пермиате оставались неизменными и были такими же, как в исходном растворе и концентрате. То есть, в данном случае селективность мембраны по хлоридам была равна нулю, так же как и для необработанного раствора. По сульфатам и ионам жесткости наблюдалось существенное снижение их концентраций в пермиатах. Во всех случаях остаточные концентрации сульфатов и ионов жесткости медленно увеличивались с повышением степени отбора пермиата и практически не зависели от рабочего давления в пределах от 0,20 до 0,35МПа. Только при давлении 0,40МПа наблюдалось более интенсивное снижение эффективности очистки воды от ионов жесткости и сульфатов с увеличением степени отбора пермиата.

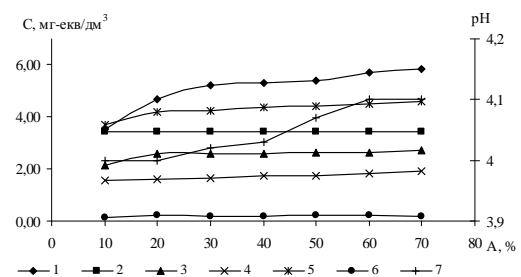
В целом, в данном случае селективность мембраны по сульфатам (рис. 3) была в пределах 55–76%, по ионам жесткости (рис. 4) в пределах 49–70%, что на 10–30% ниже по сравнению с необработанным раствором. Очевидно, что в данном случае подкисление воды влияло на значение электрокинетического потенциала поверхности мембраны и приводило к разрушению гидратной оболочки как на поверхности мембраны, так и на поверхности пор мембраны. Кроме того, изменение pH среды могло влиять на состояние гидратных оболочек сульфат анионов и катионов жесткости. Все это в совокупности приводит к некоторому снижению селективности мембраны и по двухзарядным ионам (рис. 3–4).



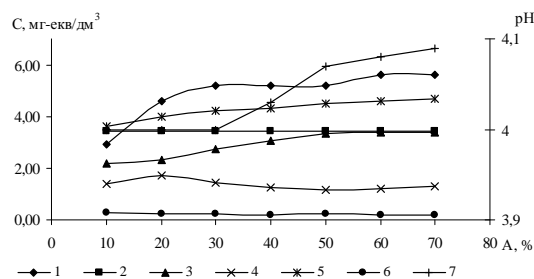
а



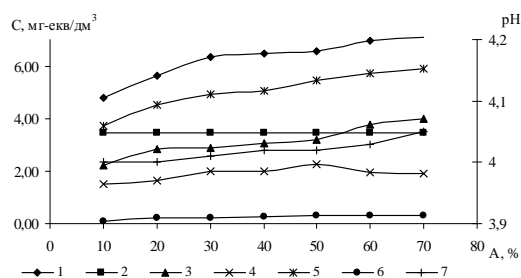
б



в



г



д

Рис. 2. Изменение характеристик пермиата в зависимости от степени его отбора (A) при фильтровании раствора через мембрану ОПМН-П: рабочее давление (P), МПа: 0,20 (а); 0,25 (б); 0,30 (в); 0,35 (г); 0,40 (д). Характеристики пермиата: C (SO_4^{2-}) (1); Cl^- (2); C (Ca^{2+}) (3); C (Mg^{2+}) (4); Ж (5); К (6); pH (7)

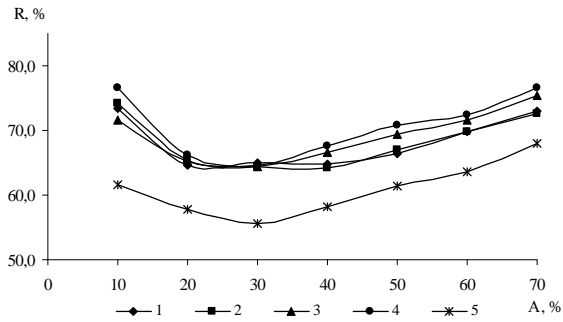


Рис. 3. Зависимость селективности (R) мембраны ОПМН-П от степени отбора (A) пермиата по сульфатам при фильтровании раствора: рабочее давление (P), МПа: 0,20 (1); 0,25 (2); 0,30 (3); 0,35 (4); 0,40 (5)

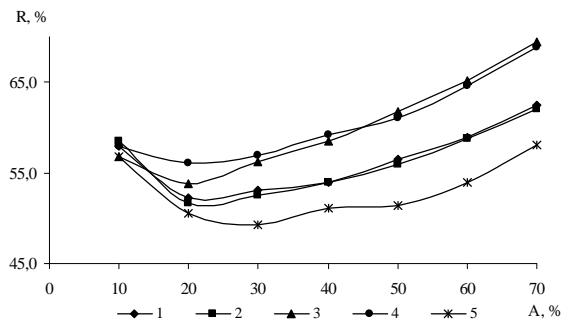


Рис. 4. Зависимость селективности (R) мембраны ОПМН-П по ионам жесткости от степени отбора (A) пермиата при фильтровании раствора: рабочее давление (P), МПа: 0,20 (1); 0,25 (2); 0,30 (3); 0,35 (4); 0,40 (5)

В целом селективность мембраны по сульфатам от pH имеет типичную картину для нанофильтрационных мембран [4, 5]. Хуже всего сульфаты задерживаются при pH = 4, поскольку в этой области общий заряд мембраны равен 0 и влияние заряда мембраны на анионы минимально [6]. При уменьшении pH

ниже 4, увеличение эффективности очистки можно объяснить более положительным зарядом мембраны. Противоионы K^+ сильнее отталкиваются поверхностными $\equiv NH_3^+$ – группами мембраны, что приводит к увеличению количества этих противоионов в растворе, поэтому большее количество анионов сульфатов остается в концентрате для сохранения электронейтральности раствора. В нейтральной и щелочной среде при повышении pH увеличивается отрицательный заряд мембраны, обусловленный поверхностными группами $\equiv COO^-$, который за счет электростатического отталкивания затрудняет трансмембранный перенос анионов. При повышении pH увеличивается степень задерживания сульфатов мембраной за счет суммарного стерического и электростатического факторов.

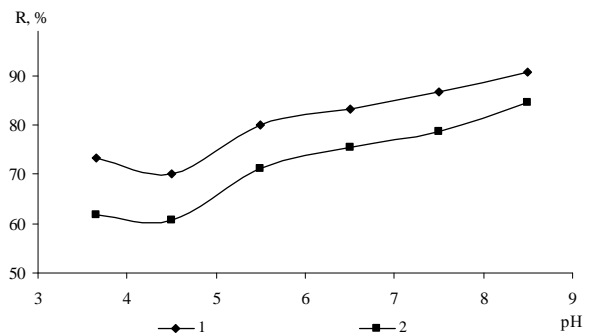


Рис. 5. Влияние pH на селективность (R) мембраны ОПМН-П при давлении 0,2 МПа по сульфатам (1), ионам жесткости (2) при степени отбора пермиата 10 %

Характеристики концентрата нанофильтрационной очистки, после обработки раствора на слабокислотном катионите, при степени отбора пермиата 70%, приведены в табл. 1. В табл. 2 показана зависимость концентрации сульфатов, хлоридов, щелочности, жесткости концентрата при нанофильтрационной обработке модельного раствора от рабочего давления в пределах 0,25–0,40 МПа при степени отбора пермиата 70%.

Таблица 1

Характеристики концентрата нанофильтрационной очистки слабокислых растворов

№ п/п	P, МПа	$C_{SO_4^{2-}}$, мг/дм ³	C_{Cl^-} , мг/дм ³	K, мг-екв/дм ³	Ж, мг-екв/дм ³	$C_{Ca^{2+}}$, мг-екв/дм ³	$C_{Mg^{2+}}$, мг-екв/дм ³	pH
1	0,20	870	122,2	0,23	15,70	10,20	5,70	4,05
2	0,25	830	122,2	0,23	15,40	10,15	5,25	4,05
3	0,30	920	122,2	0,23	16,10	10,40	5,70	4,10
4	0,35	940	122,2	0,24	14,00	7,95	6,05	4,05
5	0,40	740	122,2	0,27	11,80	7,05	4,75	4,00

Таблиця 2

Характеристики концентрата нанофільтраційного опреснення нейтрального модельного розчину

№ п/п	P, МПа.	$C_{SO_4^{2-}}$, мг/дм ³	C_{Cl^-} , мг/дм ³	Л, мг-екв/дм ³	Ж, мг-екв/дм ³	$C_{Ca^{2+}}$, мг-екв/дм ³	$C_{Mg^{2+}}$, мг-екв/дм ³	pH
1	0,25	1450	122,2	4,50	25,50	8,90	16,60	8,60
2	0,30	1580	122,2	4,50	26,80	8,80	18,00	8,60
3	0,35	1530	122,2	4,50	27,40	9,20	18,20	8,60
4	0,40	1490	122,2	4,50	27,00	9,50	17,50	8,60

Как видно из табл. 1, концентрат, полученный при нанофильтрационной очистке модельного раствора после его обработки на слабокислотном катионите, характеризуется повышением содержания сульфатов – до 940 мг/дм³ при жесткости на уровне 16 мг-экв/дм³, содержание хлоридов не увеличилось и осталось на уровне значений исходного раствора. Опреснение модельного раствора, близкого к слабоминерализованной воде с Исаакиевского водохранилища, привело к образованию концентрата с содержанием сульфатов на уровне 1500 мг/дм³ и жесткости – 27 мг-экв/дм³. Процессы очистки данных концентратов за счет умягчения растворов и удаления из них сульфатов до допустимых уровней описаны в работах [7–11]. Это позволяет решить проблему обессоливания концентратов после нанофильтрационной очистки шахтных вод с повышенным содержанием сульфатов и ионов жесткости. Образованные при реагентной очистке осадки можно использовать при производстве строительных материалов или в качестве добавки в шихту при производстве цемента.

Выводы и перспективы развития направления.

1. Определено влияние условий нанофильтрационной очистки слабоминерализованных вод на производительность и селективность мембраны ОПМН-П по двухзарядным ионам.

2. Показано, что нанофильтрационная мембрана характеризуется высокой селективностью по ионам жесткости и сульфатам, а также имеет низкую селективность по гидрокарбонат-анионам и хлоридам, что предотвращает их накопление в концентратах.

3. Определено влияние pH среды на эффективность обессоливания воды методом нанофильтрации, показано, что нанофильтрационная мембрана ОПМН-П обеспечивает лучшее извлечение из воды сульфатов и ионов жесткости в нейтральной и щелочной среде, а степень умягчения воды зависит от содержания сульфатов в воде и эффективности их удаления.

Список литературы / References

1. Знесолення води з використанням зворотньоосмотичної технології при різній конфігурації включення апаратів / [С.П. Висоцький, Г.В. Фаткуліна, М.В. Конавальчик та ін.] // Вісті автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник АДІ ДонНТУ. – 2005. – № 1. – С. 62–67.

Visotskiy, S.P., Fatkulina, G.V. and Konovalchik, M.V. (2005), “Water desalination with the usage of reverse osmosis technology and different device inclusion configurations”, *Visti avtomobilno-dorozhnoho instytutu: naukovo-vyrobnychiy zbirnyk ADI DonNTU*, no 1, pp. 62–67.

2. Zhang Qinghua, Mao Zai-Sha, Yang Chao, Zhao Chengjun, (2009), “Numerical simulation of barium sulfate precipitation process in a continuous stirred tank with multiple-time-scale turbulent mixer model”, *Ind. and Eng. Chem. Res.*, Т. 48, no. 1, pp. 424–429.

3. Буцева Л.Н. Очистка сточных вод от сульфатов известкованием и коагуляцией с применением оксихлорида алюминия: сборник научных трудов / Л.Н. Буцева, Л.В. Потапова // Очистка природных и сточных вод – М.: ГНЦ „НИИВОДГЕО“, 2009. – С. 49–51.

Butseva, L.N., Potapova, L.V. (2009), “Sewage treatment from sulfates by liming and coagulation with using aluminium oxychloride”, *Ochistka prirodnykh i stochnykh vod: Sbornik nauchnykh trudov*, Moskva., pp. 49–51.

4. Serena Bandini, Jennifer Drei and Daniele Vezzani (2005), “The role of pH and concentration on the ion rejection in polyamide nanofiltration membranes”, *J. Membr.Sci.*, no. 264, pp. 65–74.

5. Jian-Jun Qin, Maung Htun Oo, Hsiaowan Lee and Bruno Coniglio (2004), “Effect of feed pH on permeate pH and ion rejection under acidic conditions in NF process”, *J. Membr.Sci.*, no. 232, pp. 153–159.

6. Mika Mänttari, Arto Pihlajamäki and Marianne Nyström (2006), “Effect of pH on hydrophilicity and charge and their effect on the filtration efficiency of NF membranes at different pH”, *J. Membr.Sci.*, no. 280, pp. 311–320.

7. Рисухін В.В. Переробка концентратів, що утворюються при нанофільтраційному очищенні вод з підвищеною мінералізацією / В.В. Рисухін, Т.О. Шаблій, М.Д. Гомеля // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – № 5/3 (53). – С. 51–55.

Risuhin, V.V., Shabliy, T.O., Gomelya, M.D. (2011), “Treatment of concentrates which are formed during nanofiltration purification of water with the high mineralization”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no 5(3(53)), pp. 51–55.

8. Haghsheno Reza, Mohebbi Ali, Hashemipour Hassan, Sarrafi (2009), "Study of kinetic and fixed bed operation of removal of sulfate anions from an industrial wastewater by an anion exchange resin", *J. Hazardous Mater*, Vol. 166, no. 2–3, pp. 961–966.

9. J.C.S.S. Menezes, R.A. Silva, I.S. Arce, I.A.H. Schneider (2010), "Production of a poly-alumino-iron sulphate coagulant by chemical precipitation of a coal mining acid drainage", *J. Minerals Engineering*, no. 23, pp. 249–251.

10. Трус І.М. Застосування алюмінієвих коагулянтів для очищення стічних вод від сульфатів при їх пом'якшенні / І.М. Трус, В.М. Грабітченко, М.Д. Гомеля // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – № 6/10 (60). – С. 13–17.

Trus, I.M., Grabitchenko, V.M. and Gomelya, M.D. (2012), "Application of aluminium coagulants for wastewater treatment from sulfates with their demineralization", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 6(10(60)), pp. 13–17.

11. Куценко С.А. Реагентное обессоливание сточных вод, содержащих сульфаты тяжелых металлов / С.А. Куценко, Ж.В. Хрулева, Ю.В. Алимova // Фундамент. и прикл. пробл. техн. и технол. – 2011. – № 4. – С. 15–18.

Kutzenko, S.A., Hruleva, Z.V., Alimova, U.V. (2011), "Reagent desalting of wastewater containing heavy metal sulfates", *Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*, no. 4, pp. 15–18.

Мета. Оцінка ефективності процесу нанофільтрування при опрісненні водних розчинів у залежності від їх іонного складу та рН середовища, з урахуванням перспективи стабілізаційної обробки води на слабокислотному катіоніті в кислій формі та переробки концентратів реагентним методом при створенні маловідходної технології кондиціонування слабмінералізованих вод.

Методика. Процес нанофільтрації проводили в комірці об'ємом 1,0дм³, куди попередньо поміщали нанофільтраційну мембрану ОПМН-П (робоча площа – 113,04см²). Ступінь відбору перміату становив 70%, робочий тиск змінювали в межах 0,20–0,40МПа. У перміаті визначали вміст сульфатів, хлоридів, кальцію, магнію, жорсткість, лужність та рН середовища.

Результати. Вивчено видалення сульфат-іонів та іонів жорсткості на мембрані ОПМН-П. Показано вплив рН на процес очищення слабмінералізованих вод. Визначено вплив тиску на продуктивність та селективність мембрани по сульфатах та іонах жорсткості.

Наукова новизна. Визначена залежність продуктивності й селективності мембрани по хлоридах, сульфатах, гідрокарбонатах та іонах жорсткості від робочого тиску, реакції середовища та іонного складу розчину. Встановлено, що ефективність вилучення іонів жорсткості та сульфатів зростає з підвищенням рН від 4 до 9, а селективність мембрани по іонах жорсткості підвищується зі збільшенням вмісту сульфатів.

Практична значимість. Визначення умов ефективного очищення води від сульфатів та іонів жорсткості методом нанофільтрації дозволить вирішити проблему ефективного очищення шахтних вод, що містять, переважно, сульфати та іони жорсткості. При цьому ефективна стабілізаційна обробка води дозволить суттєво підвищити обсяги очищених вод при скороченні обсягів рідких відходів, утилізація яких є складною проблемою.

Ключові слова: шахтні води, баромембранні процеси, концентрат, мембрана, нанофільтрація, опріснення води, перміат

Purpose. Evaluation of nanofiltration process effectiveness when desalinating aqueous solutions, depending on their ionic composition and pH, considering prospects for stabilizing water treatment with weak acid cation exchange resin in acidic form and processing of concentrates with reagent method to create low-waste slightly mineralized water conditioning technologies.

Methodology. The nanofiltration process was carried out in 1.0dm³ volume cell where previously nanofiltration membrane OPMN-P (working area – 113.04cm²) had been placed. The degree of permeate selection was 70%, operating pressure was changed within 0.20–0.40MPa. Content of sulphates, chlorides, calcium, magnesium, hardness, alkalinity and pH were measured in permeate.

Findings. The removal of sulphate ions and hardness ions on the OPMN-P membrane was studied. The pH influence on slightly mineralized water purification processes was shown. The pressure influence on productivity and selectivity of the membrane to sulphates and hardness ions were defined.

Originality. The dependences of membrane productivity and selectivity to chlorides, sulphates, bicarbonates and hardness ions to the working pressure, pH and ionic composition of a solution were discovered. Was found that the efficiency of hardness ions and sulphates removal raise with the pH increase from 4 to 9, and the selectivity of membrane to hardness ions raise with sulphates content increase.

Practical value. Determination of the conditions of effective water treatment from sulphate and hardness ions by nanofiltration will solve the problem of effective treatment of mine water, which contains mainly sulfates and hardness ions. In this case effective stabilizing treatment will significantly increase the amount of treated water while reducing the volume of liquid waste as its disposal is a difficult problem.

Keywords: mines water, membrane processes, concentrate, membrane, nanofiltration, desalination, permeate

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.М. Радовенчиком. Дата надходження рукопису 20.11.13.