

УДК 541.18.045: 628.165

М. Д. Гомеля<sup>1</sup>  
І. М. Трус<sup>1</sup>  
В. М. Радовенчик<sup>1</sup>

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗВОРотноОСМОТИЧНОГО ОПРІСНЕННЯ ВОДИ ПІСЛЯ ЇЇ ПОМ'ЯКШЕННЯ НА СЛАБОКИСЛОТНОМУ КАТІОНІТІ

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

*Проведено оцінку ефективності опріснення слабомінералізованих вод на зворотноосмотичній мембрані Filmtec TW 30-1812-50 в залежності від характеристик води. Визначено вплив стабілізаційної обробки води на слабокислотному катіоніті в кислій формі на основі характеристики мембрани. Показано, що підкислення води при обробці на слабокислотному катіоніті призводить до зниження селективності мембрани по хлоридах за високої селективності по сульфатах та іонах жорсткості. При очищенні слабких розчинів на мембрані рН середовища в перміаті та концентрації приблизно рівні, а при фільтруванні вихідного модельного розчину рН середовища в концентрації підвищується до 9, а в перміаті знижується до 7, що зумовлено меншою селективністю мембрани по гідрокарбонатах, в порівнянні з іонами жорсткості.*

**Ключові слова:** концентрат, перміат, продуктивність, селективність, фільтрування, знесолення.

### Вступ

Проблема опріснення води актуальна для багатьох областей України. Пов'язано це як із природними факторами, так і з антропогенним впливом. Так в Приазов'ї, в північній частині Криму, у деяких районах на Чорноморському узбережжі підземні та ґрунтові води характеризуються високим рівнем мінералізації внаслідок природних процесів. В промислових районах, особливо в районах де розміщені вугільні, уранові, залізородні шахти, шахти з видобування калійних добрив засолення природних водойм зумовлено антропогенними чинниками. Це і скид шахтних вод, скид води із водоциркуляційних систем охолодження, скид промислових засолених стоків, інфільтрація розсолів із численних шламосховищ.

Слід відмітити, що традиційні методи очищення стічних вод не вирішують проблеми їх знесолення [1], що суттєво погіршує ситуацію в густозаселених регіонах з розвинутою промисловістю.

Одним із реальних виходів із цієї ситуації є широке впровадження сучасних технологій знесолення води для її підготовки для промислових підприємств та комунальних служб. Це дасть можливість не лише широко використовувати води з підвищеною мінералізацією, але і забезпечить суттєве скорочення скидів мінералізованих стічних вод та сприятиме оздоровленню природних водойм, покращенню якості підземних та ґрунтових вод. Так, з підвищенням якості води, що подається у водоциркуляційні системи охолодження можливий перехід від відкритих до замкнутих безстічних систем [2].

Останнім часом для опріснення води все ширше використовують мембранні методи [3—5]. Для захисту мембран від відкладень використовують антискаланти та стабілізаційну обробку води на іонітах [6, 7]. При використанні слабокислотних іонітів в кислій формі, відмічено зниження жорсткості та лужності води [7]. Без сумніву, така вода не може призводити до утворення карбонатних відкладень на мембрані. Але не відомо, як підкислення води вплине на продуктивність та селективність мембрани. Тому *метою роботи* є визначення впливу стабілізаційної обробки води на слабокислотному катіоніті Dowex MAC-3 на ефективність опріснення води на зворотноосмотичній мембрані Filmtec TW 30-1812-50.

### Експериментальна частина

Процеси вивчали при використанні касети із зворотноосмотичною мембраною низького тиску Filmtec TW 30-1812-50.

Як середовище використовували модельний розчин, близький за складом до води з Ісаківського водосховища (м. Алчевськ) ( $J = 9,0$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $L = 5,0$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $C_{\text{SO}_4^{2-}} = 600$  мг/дм<sup>3</sup>,  $C_{\text{Cl}^-} = 106,0$  мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{pH} = 8 \div 9$ ).

Під час опріснення води використовували проби об'ємом 10 дм<sup>3</sup>. За допомогою насосу воду подавали в касету зі зворотноосмотичною мембраною. Концентрат повертали в ємність з вихідним розчином, перміат відбирали в окрему ємність. Об'єм однієї проби перміату 1 дм<sup>3</sup>. Тиск в системі підтримували за допомогою вентиля, що регулює відбір концентрату. З допомогою секундоміру фіксували час відбору кожного 1 дм<sup>3</sup> перміату. Після відбору 1 дм<sup>3</sup> перміату в ньому, так само як і у концентраті, визначали концентрацію хлоридів, сульфатів та показники жорсткості і лужності. В розчинах, оброблених на катіоніті, де лужність була відсутня цей показник не визначали. Ступінь відбору перміату змінювали від 10 до 90 %. Сульфати визначали фотометричним методом, хлориди — методом Мора, лужність та жорсткість — за стандартними методами.

Селективність та продуктивність мембрани розраховували за відомими формулами. При цьому, розраховуючи селективність, враховували підвищення концентрації компоненту після відбору кожної проби перміату.

### Результати досліджень та їх обговорення

Фільтруючи модельний розчин через слабокислотний катіоніт Dowex MAC-3 в кислій формі, на першому етапі отримали слабокислий розчин з такими характеристиками:  $J = 3,60$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $K = 0,60$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $C_{\text{Cl}^-} = 106,00$  мг/дм<sup>3</sup>,  $C_{\text{SO}_4^{2-}} = 600,00$  мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{pH} = 3,54$ . При фільтруванні води через іоніт, ємність якого в значній мірі вичерпана, отримали розчин з  $\text{pH} = 4,85$ ,  $L = 0,30$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $J = 4,40$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $C_{\text{Cl}^-} = 106,00$  мг/дм<sup>3</sup>,  $C_{\text{SO}_4^{2-}} = 600,00$  мг/дм<sup>3</sup>. У цьому випадку кислотності іоніту недостатньо для повного витіснення з води гідрокарбонат аніонів. Крім того, з вичерпанням ємності іоніту зростає жорсткість в обробленій воді до 4,40 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Таким чином в роботі використовували три розчини: підкислений розчин з  $\text{pH} = 3,54$ ,  $K = 0,60$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $J = 3,60$  мг-екв/дм<sup>3</sup>; розчин із лужністю 0,30 мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $\text{pH} = 4,85$ , жорсткістю 4,40 мг-екв/дм<sup>3</sup>; вихідний модельний розчин з лужністю 5,00 мг-екв/дм<sup>3</sup>, жорсткістю 9,00 мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $\text{pH} = 8,90$ . В усіх трьох розчинах концентрація хлоридів була рівною 106,00 мг/дм<sup>3</sup>, сульфатів 600,00 мг/дм<sup>3</sup>.

Результати оцінювання продуктивності та селективності мембрани показані на рис. 1.

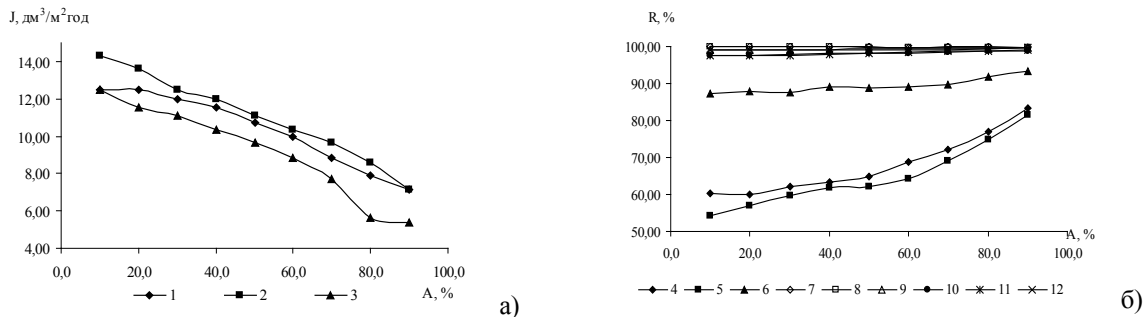


Рис. 1. Залежність: а — продуктивності зворотноосмотичної мембрани (1; 2; 3); б — її селективності по хлоридах (4; 5; 6), сульфатах (7; 8; 9), та іонах жорсткості (10; 11; 12) від ступеня відбору перміату при опрісненні фільтратів після катіонного фільтру Dowex MAC-3 в кислій формі ( $J = 3,6$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $K = 0,6$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $C_{\text{Cl}^-} = 106,0$  мг/дм<sup>3</sup>,  $C_{\text{SO}_4^{2-}} = 600$  мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{pH} = 3,54$ ) (1; 4; 7; 10); ( $J = 4,4$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $L = 0,3$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $C_{\text{Ca}^{2+}} = 0,85$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $\text{pH} = 4,85$ ) (2; 5; 8; 11) та модельного розчину ( $J = 9,0$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $L = 5,0$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $C_{\text{SO}_4^{2-}} = 600$  мг/дм<sup>3</sup>,  $C_{\text{Cl}^-} = 106,0$  мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{pH} = 8,9$ ) (3; 6; 9; 12) ( $P = 3$  атм)

Як видно з рис. 1, продуктивність мембрани за робочого тиску 0,30 МПа мало залежить від способу попередньої обробки розчину та рН середовища. Очевидно, що під час фільтрування 10 дм<sup>3</sup> води не відбувається суттєвого відкладення осадів на мембрані, тому важко помітити вплив рН середовища, лужності або кислотності розчину на продуктивність мембрани. Однак на селективність мембрани до певної міри впливає попередня обробка води на катіоніті. Зі зниженням рН середовища (див. рис. 1б) відмічено незначне підвищення селективності мембрани по сульфатах та значне зниження її селективності по хлоридах. Досить високою є селективність мембрани по іонах жорсткості незалежно від реакції середовища.

Про ефективність очищення води можна також судити по залишкових концентраціях хлоридів, сульфатів та іонів жорсткості в перміаті та їх вмісті у концентраті (рис. 2—4).

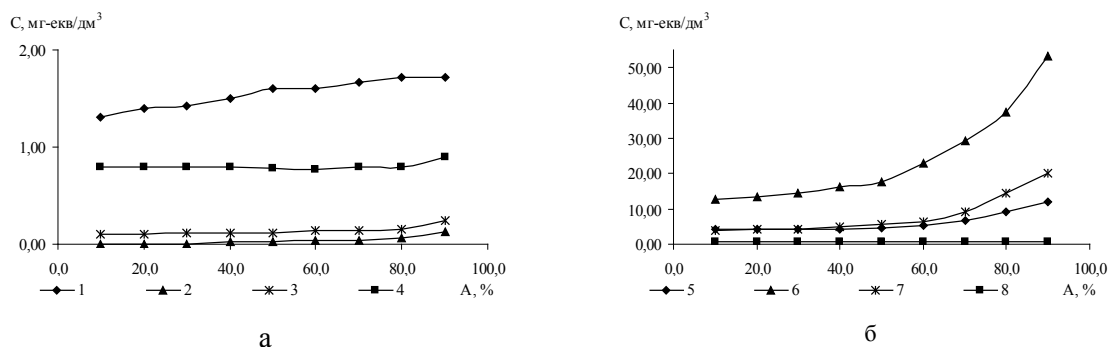


Рис. 2. Вплив ступеня відбору перміату при зворотноосмотичному опрісненні фільтрату слабкокислотного катіоніту Dowex MAC-3 в кислій формі (рН = 3,54) на концентрацію хлоридів (1; 5), сульфатів (2; 6), іонів жорсткості (3; 7) та кислотність (4; 8): а — в перміаті; б — в концентраті (P = 3 атм)

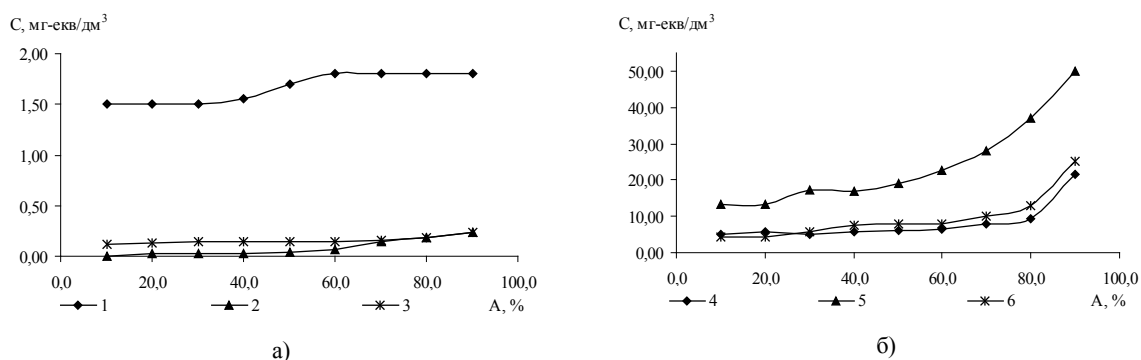


Рис. 3. Залежність концентрації хлоридів (1; 4), сульфатів (2; 5), іонів жорсткості (3; 6): а — в перміаті; б — концентраті від ступеня відбору перміату при зворотноосмотичному опрісненні катіонованого фільтрату (рН = 4,85) (P = 3 атм)

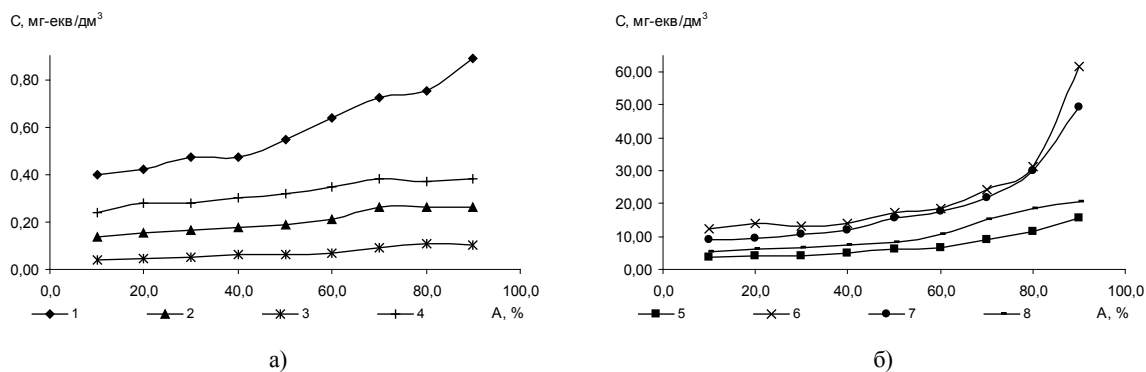


Рис. 4. Вплив ступеня відбору перміату на концентрацію хлоридів (1; 5), сульфатів (2; 6), рівень жорсткості (3; 7) та лужності (4; 8): а — перміату; б — концентрату при опрісненні модельного розчину, якщо тиск 3 атм

Як видно з рисунків, у разі фільтрування розчинів з рН < 5 вміст хлоридів у перміаті мало залежить від ступеня відбору фільтрату і сягає  $\sim 1,5$  мг-екв/дм<sup>3</sup>. При фільтруванні вихідного моде-

льного розчину з  $\text{pH} = 8,90$  концентрація хлоридів у перміаті зростає зі збільшенням ступеня відбору фільтрату з 0,38 до 0,92 мг-екв/дм<sup>3</sup> і в цілому на 30...50 % нижча в порівнянні зі слабокислими розчинами. Вміст хлоридів у концентратах за максимального ступеня відбору перміату сягає ~ 10 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Концентрація сульфатів при фільтруванні слабокислих розчинів в перміатах зростає з 0 до 6 мг/дм<sup>3</sup> за  $\text{pH} = 3,56$  та з 0 до 11, якщо  $\text{pH} = 4,85$ . При фільтруванні модельного розчину з  $\text{pH} = 8,9$  залишкова концентрація сульфатів сягає 7...13 мг/дм<sup>3</sup>, що дещо вище в порівнянні зі слабокислими розчинами. Лужність змінюється від 0,24 до 0,38 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

В підкислених розчинах селективність мембрани по іонах жорсткості була дещо нижчою, в порівнянні із нейтральним модельним розчином. Хоча різниця в концентраціях іонів жорсткості в перміаті, отриманого з модельного розчину та слабокислих розчинів незначна. При фільтруванні

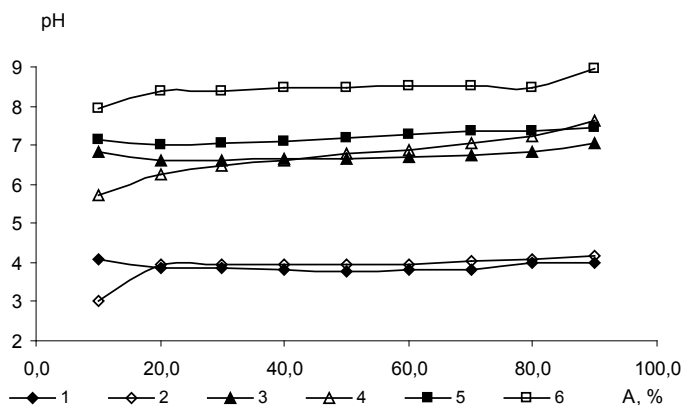


Рис. 5. Залежність pH перміату (1; 3; 5) та концентрату (2; 4; 6) від ступеня відбору перміату при опрісненні фільтратів, отриманих після слабокислотного катіоніту Dowex MAC-3 в кислій формі ( $\text{pH} = 3,54$ ) (1; 2); ( $\text{pH} = 4,85$ ) (3; 4) та модельного розчину (5; 6) ( $P = 3$  атм)

слабокислих розчинів залишкові концентрації іонів жорсткості сягали 0,10...0,23 мг-екв/дм<sup>3</sup>. При фільтруванні модельного розчину жорсткість перміату сягала 0,04—0,11 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Слід відмітити, що при фільтруванні розчинів, попередньо оброблених на катіоніті рН перміату та концентрату були близькі за значеннями (рис. 5). При фільтруванні вихідного модельного розчину відмічено зниження рН розчину в перміаті до 7,02...7,45. В концентраті рН сягав значень 8,36...8,96. Це пов'язано з різницею в селективності мембрани по іонах жорсткості та гідрокарбонатах.

## Висновки

Встановлено, що в попередній обробці модельних розчинів на слабокислотному катіоніті в кислій формі відбувається підкислення води та практично повне вилучення гідрокарбонатів з води за рахунок дегазації діоксиду вуглецю.

Показано, що у разі фільтрування підкислених розчинів продуктивність мембрани залишається незмінною, а її селективність по хлоридах та іонах жорсткості дещо знижується з підвищенням селективності по сульфатах.

Визначено, що у разі фільтрування слабокислих розчинів рН в перміатах та концентратах близькі між собою, при фільтруванні модельного нейтрального розчину рН в перміаті сягає 7, в концентраті — досягає значень близьких до 9, що зумовлено різницею в селективності мембрани по іонах жорсткості та гідрокарбонатах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Беличенко Ю. П. Замкнутые системы водообеспечения химических производств. — М. : Химия, 1990. — 208 с.
- Макаренко И. Н. Применение гидроксоалюмината натрия при кондиционировании воды для систем охлаждения в промышленности и энергетике / И. Н. Макаренко, Т. А. Шаблій, Т. В. Крысенко // Химия и технология воды. — 2009. — Том 31, № 5. — С. 542—551.
- Первов А. Г. Мембранная технология в подготовке питьевой воды / А. Г. Первов, Ю. В. Резцов, В. С. Коптев, С. Б. Милованов // Водоснабжение и санитарная техника. — 1995. — № 2. — С. 28—33.
- Духин С. С. Обратный осмос и диэлектрические свойства мембран / С. С. Духин, Н. В. Чураев, А. Э. Ярошук // Химия и технология воды. — 1984. — Том 6, № 4. — С. 291—304.
- Ata N. The electrochemical investigation of salts partition with ion exchange membranes / Nejla Ata, Zafer Yazicigil, Yasemin Oztekin // J. Hazardous Mater. — 2008. — 160, № 1. — P. 154—160.
- Рисухін В. В. Вплив концентрації розчинів сірчаної кислоти, форми іоніту Dowex MAC-3 на ефективність його регенерації / В. В. Рисухін, О. В. Глушко, І. М. Макаренко // Вісник національного технічного університету «ХПІ». — 2012. — № 34. — С. 137—145.
- Макаренко І. М. Застосування слабокислотного катіоніту Dowex MAC-3 для стабілізаційної обробки води / І. М. Макаренко, О. В. Глушко, В. В. Рисухін, В. П. Малін // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 3/6(57). — С. 16—20.

**Гомеля Микола Дмитрович** — д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри екології та технології рослинних полімерів;

**Трус Інна Миколаївна** — аспірант кафедри екології та технології рослинних полімерів, e-mail: inna.trus.m@gmail.com;

**Радовенчик Вячеслав Михайлович** — д-р техн. наук, професор кафедри екології та технології рослинних полімерів.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

**M. D. Gomelia<sup>1</sup>**

**I. M. Trus<sup>1</sup>**

**V. M. Radovenchyk<sup>1</sup>**

## Evaluating the efficiency of reverse osmosis desalination after its mitigation at subacid cation resin

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

*The evaluation of the efficiency of the low-mineralized water desalination at reverse osmosis membranes Filmtec TW 30-1812-50 depending on the water characteristics was performed. The influence of stabilizing treatment on the weak acid cation exchange resin in the acid form was determined on the basis of membrane characteristics. It is shown that acidification of water during the processing on the weak acid cation exchange resin reduces the membrane selectivity for chlorides while the selectivity for sulfate and water hardness ions remains high. During weak acid solutions treatment on the membrane the pH level in concentrate and permeate is approximately equal, while filtering the original model solution rises pH level in the concentrate to 9, and in permeate reduces to 7, due to the lower membrane selectivity for hydrocarbonate, compared with the water hardness ions.*

**Key words:** concentrate, filtrate, efficiency, selectivity, filtering, demineralization.

**Gomelia Mykola D.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Ecology and Technology of Plant Polymers;

**Trus Inna M.** — Post-Graduate Student of the Chair of Ecology and Technology of Plant Polymers, e-mail: inna.trus.m@gmail.com;

**Radovenchyk Viacheslav M.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Ecology and Technology of Plant Polymers.

**Н. Д. Гомеля<sup>1</sup>**

**И. Н. Трус<sup>1</sup>**

**В. М. Радовенчик<sup>1</sup>**

## Оценка эффективности обратнoосмотического опреснения воды после её умягчения на слабокислотном катионите

<sup>1</sup>Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

*Проведена оценка эффективности опреснения слабоминерализованных вод на обратнoосмотической мембране TW 30-1812-50 в зависимости от характеристик воды. Определено влияние стабилизационной обработки воды на слабокислотном катионите в кислой форме на основе характеристик мембраны. Показано, что подкисление воды, при обработке на слабокислотном катионите, приводит к уменьшению селективности мембраны по хлоридам при высокой селективности по сульфатам и ионам жесткости. При очистке слабокислых растворов на мембране pH среды в пермиате и концентрате приблизительно равны, а при фильтровании исходного модельного раствора pH среды в концентрате повышается до 9, а в пермиате снижается до 7, что обусловлено меньшей селективностью мембраны по гидрокарбонатам в сравнении с ионами жесткости.*

**Ключевые слова:** концентрат, пермиат, продуктивность, селективность, фильтрование, обессоливание

**Гомеля Николай Дмитриевич** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и технологии растительных полимеров;

**Трус Инна Николаевна** — аспирант кафедры экологии и технологии растительных полимеров, e-mail: inna.trus.m@gmail.com;

**Радовенчик Вячеслав Михайлович** — д-р техн. наук, профессор кафедры экологии и технологии растительных полимеров.