

М. Д. ГОМЕЛЯ, доктор технічних наук  
В. М. ГРАБІТЧЕНКО, аспірант  
В. В. РИСУХІН, кандидат технічних наук  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## ІОНООБМІННА СТАБІЛІЗАЦІЙНА ОБРОБКА МІНЕРАЛІЗОВАНИХ ВОД ПЕРЕД ЇХ ЗВОРТНЬООСМОТИЧНИМ ОПРІСНЕННЯМ

*Досліджено процеси іонообмінного пом'якшення високомінералізованих вод на сильнокислотному катіоніті КУ-2-8. Встановлено, що ефективність вилучення іонів кальцію вища від ефективності сорбції магнію. Показано, що регенерацію іонітів від сорбованих іонів жорсткості можна реалізувати за рахунок концентратів, які утворюються при опрісненні води на зворотньоосмотичних фільтрах.*

**Ключові слова:** знесолення води, катіоніт, пом'якшення води, регенерація іоніту, зворотній осмос, концентрат.

*Исследованы процессы ионообменного умягчения высокоминерализованных вод на сильнокислотном катионите КУ-2-8. Установлено, что эффективность извлечения ионов кальция выше, чем эффективность сорбции магния. Показано, что регенерация ионитов от сорбированных ионов жесткости можно проводить за счет концентратов, которые образуются при опреснении воды на обратноосмотических фильтрах.*

**Ключевые слова:** обессоливание воды, катионит, умягчение воды, регенерация ионита, обратный осмос, концентрат

*The processes of high-salinity water softening on strong-acid cation-exchange resin KY-2-8 are investigated. It was established that the efficiency of calcium removal is higher than the efficiency of magnesium sorption. It is shown that for regeneration of ion exchange resins can be used concentrates which produced during water desalination processes on reverse osmosis filters.*

**Keywords:** water desalination, cation resin, water mitigation, ion-exchange resin regeneration, reverse osmosis, concentrate.

**Постановка проблеми.** Через забрудненість природних водойм – джерел водопостачання, недостатню ефективність існуючих технологій водопідготовки, незадовільний стан багатьох водопроводів понад 20% населення України споживає неякісну питну воду. В більшості випадків складною проблемою водопідготовки є знесолення вод із підвищеним рівнем мінералізації та високим рівнем жорсткості води. Слід відмітити, що на

значній частині території України поверхневі водойми та артезіанські води характеризуються підвищеною та високою мінералізацією. Це стосується Донбасу, Приазов'я, Причорномор'я, ряду районів центру України. В ряді випадків, враховуючи забрудненість водойм із прісною водою, затратність транспортування води на великі відстані, доцільним є використання морської води. Часто для опріснення мінералізованих вод, включаючи і морської води, використовують зворотньоосмотичні фільтри, які характеризуються відносно невисокими енергозатратами при високій ефективності очищення води. В разі використання морської води легко вирішується головна проблема зворотнього осмосу – утилізація концентратів. В даному випадку їх можна скидати у море, так як за своїм складом вони мало відрізняються від морської води. Складнішою є проблема стабілізаційної обробки води перед зворотньоосмотичною установкою. Без стабілізаційної обробки води мембрани швидко втрачають свої фільтрувальні властивості. Часті заміни мембран недопустимі через їх надвисоку вартість. Застосування антискалантів небажане через додаткове забруднення концентратів, що ускладнює їх утилізацію. Тому стабілізаційна обробка води перед її знесоленням на зворотньоосмотичних фільтрах без використання хімічних добавок є актуальною проблемою.

**Аналіз літературних досліджень і публікацій.** Ефективність нанофільтраційного та зворотньоосмотичного опріснення води в значній мірі залежить від попередньої підготовки води [1, 433; 2, 200]. Крім ефективного механічного очищення води до концентрації по завислих речовинах на рівні  $0,1 \dots 0,2 \text{ мг/дм}^3$ , кольоровості 10 град. ПКШ, необхідно запобігти відкладенню на поверхні мембрани карбонату кальцію, а інколи і сульфату кальцію, що цілком можливо, якщо врахувати, що вміст сульфатів у морській воді досягає  $15 \dots 35 \text{ мг-екв/дм}^3$ , а жорсткість складає  $44 \dots 60 \text{ мг-екв/дм}^3$ .

Найпростішим способом стабілізації води щодо осадковідкладень є використання антискалантів [3, 10]. Проте, якщо врахувати, що при опрісненні морської води 30...50% води скидається у вигляді концентрату, то при високій ціні на стабілізатори накопуютвення їх застосування здорожчує процес водопідготовки. Крім того виникають проблеми щодо скиду у море концентрату, який забруднений додатковими органічними домішками.

Проблему стабілізації води можна вирішити як за рахунок реагентного так й іонообмінного пом'якшення води [4, 544-550; 5, 45-47; 6, 129-130], а також шляхом її декарбонізації [7, 18; 8, 139; 9, 88-90]. Проте в разі реагентного та іонообмінного пом'якшення води часто спостерігається підвищення рН середовища, інколи вище допустимих рівнів [4, 545; 10, 147].

Очевидно, що вирішити проблему стабілізаційної обробки води лише за рахунок її декарбонізації в разі морської води неможливо, тому що при високих концентраціях іонів кальцію та сульфатів можливі відкладення гіпсу на мембрані. Кращим варіантом є натрій-катионне пом'якшення води, що забезпечує ефективне видалення іонів жорсткості [6, 128]. Проте відомо, що при високих концентраціях солей, застосування іонного обміну недоцільне через низьку ефективність процесу. Крім того застосування іонного обміну

передбачає обов'язкове проведення регенерації іоніту та утилізацію відпрацьованих елюатів, що значно ускладнює технологію знесолення води.

**Мета та задачі дослідження.** Будь-яке ускладнення технології призводить до її подорожчання як на стадії будівництва, так і на стадії експлуатації. Крім того відомо, що іоніти можуть сорбувати іони солей в певному діапазоні концентрацій. На сьогодні практично не вивчено процеси натрій-катіонного вилучення іонів жорсткості з морської води. Це пов'язано з тим, що при концентраціях хлористого натрію на рівні 5 – 10% відбувається десорбція іонів жорсткості із сильнокислотних катіонітів. Тому при концентрації солей у морській воді, яка може досягати 3,5% розраховувати на високу ефективність сорбції іонів кальцію і магнію не доводиться. Але слід врахувати, що мінералізація води в Азовському морі досягає всього 10...15 г/дм<sup>3</sup> (1,0...1,5%, середня  $\approx$  12 г/дм<sup>3</sup>) в Чорному морі 17...23 г/дм<sup>3</sup> (1,7...2,3%, середня  $\approx$  20 г/дм<sup>3</sup>). Вміст іонів жорсткості сягає всього 50...55 мг/дм<sup>3</sup>. Тому цілком можливо досягти достатньої ефективності пом'якшення води іонним обміном. Якщо врахувати, що концентрати зворотнього осмосу можна використовувати для регенерації іоніту, то даний напрямок досліджень є перспективним для створення технології стабілізаційної обробки води.

Метою роботи було вивчення процесів сорбції іонів жорсткості із модельних розчинів, близьких за іонним складом до морської води, визначення ефективності регенерації іоніту в залежності від концентрації та питомої витрати регенераційних розчинів, розробка технології знесолення морської води.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- вивчення процесів натрій-катіонного пом'якшення високомінералізованих вод на сильнокислотному катіоніті;
- встановлення залежності ефективності регенерації катіоніту в кальцій-, магній- формі від складу, концентрації та питомої витрати регенераційного розчину;
- вибір принципової схеми знесолення води.

**Методи та результати досліджень.** В процесах іонообмінного пом'якшення води використовували сильнокислотний катіоніт в Na<sup>+</sup> формі. В сольову форму катіоніт переводили 1%-м розчином гідроксиду натрію. Процес пом'якшення води проводили при фільтруванні модельних розчинів, близьких за складом до морської води, через шар катіоніту КУ-2-8 в Na<sup>+</sup> формі об'ємом 20 см<sup>3</sup>, який знаходився в колонці діаметром 19 мм. Витрата розчинів при сорбції 10 – 12 см<sup>3</sup>/хв, при регенерації 1 – 2 см<sup>3</sup>/хв. У відібраних пробах об'ємом 200 см<sup>3</sup> (при сорбції) та 20 см<sup>3</sup> (при регенерації) визначали загальну жорсткість, рН, лужність, а також концентрацію кальцію та магнію.

При сорбції використовували два модельних розчини М1 та М2. М1 – близький за іонним складом до води в Азовському морі, М2 – до води в Чорному морі. Склад розчину М1: Ж<sub>поч</sub> = 50 мг-екв/дм<sup>3</sup>, Л<sub>поч</sub> = 5,8 мг-екв/дм<sup>3</sup>, С(Ca<sup>2+</sup>) = 22 мг-екв/дм<sup>3</sup>, С(Mg<sup>2+</sup>) = 28 мг-екв/дм<sup>3</sup>, С(Cl<sup>-</sup>) = 192 мг-екв/дм<sup>3</sup>, С(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) = 28 мг-екв/дм<sup>3</sup>, рН = 8,00.

Склад розчину М2:  $J_{\text{поч}} = 56$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $L_{\text{поч}} = 4,0$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $C(\text{Ca}^{2+}) = 24$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $C(\text{Mg}^{2+}) = 32$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $C(\text{Cl}^-) = 300$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $C(\text{SO}_4^{2-}) = 33$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $\text{pH} = 8,00$ .

Для регенерації використовували розчини, близькі за складом до концентратів, що утворюються при знесоленні пом'якшеної морської води на зворотньоосмотичній установці. Загальний солевміст в регенераційних розчинах сягав 2,5...15,0%.

Як видно з рис. 1 при фільтруванні модельного розчину близького за складом до води Азовського моря ємність іоніту по іонах кальцію досягла 1045 мг-екв/дм<sup>3</sup>, по іонам магнію 699 мг-екв/дм<sup>3</sup>, сумарна – 1744 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Це досить добрий результат. Якщо врахувати, що відкладання відбуваються в основному за рахунок солей кальцію, то із приведених даних видно, що на 20 см<sup>3</sup> іоніту можна пом'якшити 1 дм<sup>3</sup> води до значень жорсткості 1,7...2,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Така вода цілком стабільна до осадкоутворень.

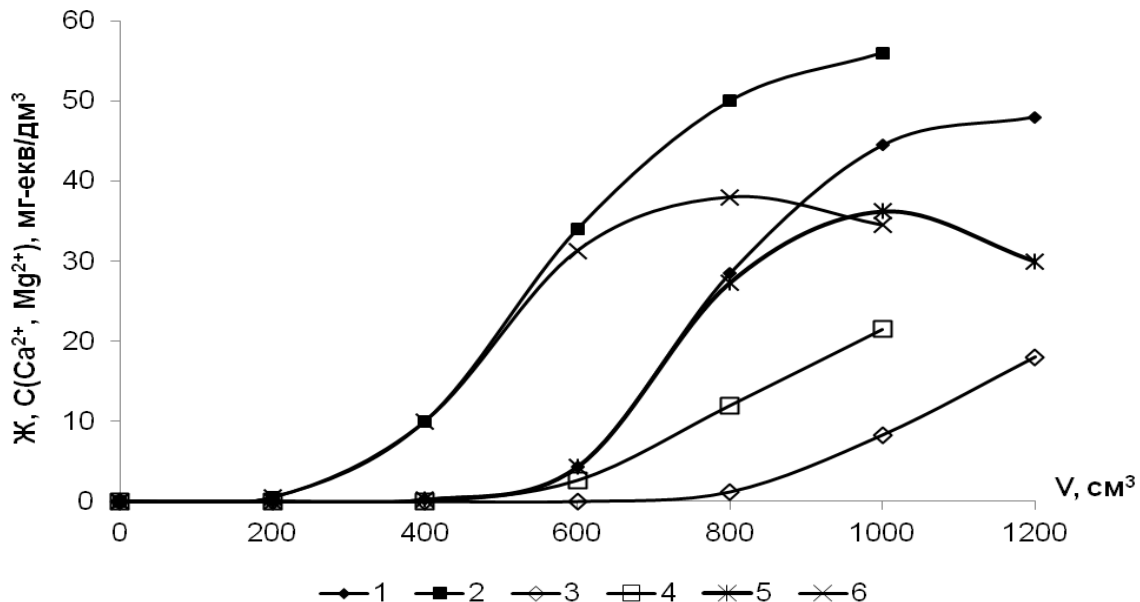


Рис. 1. Залежність жорсткості (1; 2), концентрації іонів кальцію (3; 4) та магнію (5; 6) від пропущеного об'єму модельного розчину М1 (1; 3; 5) та М2 (2; 4; 6) через катіоніт КУ-2-8 в Na<sup>+</sup> формі ( $V_i = 20$  см<sup>3</sup>) (ПОДЕ<sub>1</sub> = 1744 мг-екв/дм<sup>3</sup>, ПОДЕ<sub>2</sub> = 1295 мг-екв/дм<sup>3</sup>, ПОДЕ<sub>3</sub> = 1045 мг-екв/дм<sup>3</sup>, ПОДЕ<sub>4</sub> = 838 мг-екв/дм<sup>3</sup>, ПОДЕ<sub>5</sub> = 699 мг-екв/дм<sup>3</sup>, ПОДЕ<sub>6</sub> = 457 мг-екв/дм<sup>3</sup>)

Для регенерації іоніту і переведення його в Na<sup>+</sup> форму використовували розчини, які містять хлорид та сульфат натрію в співвідношеннях таких же як і в морській воді. Із рис. 2 видно, що при сумарній концентрації солей  $\approx 10$  та 15% досягнуто практично повної десорбції як іонів кальцію так і загалом іонів жорсткості при витраті регенераційного розчину 240 см<sup>3</sup> на 20 см<sup>3</sup> іоніту. Тобто питома витрата регенераційного розчину ( $q_n$ ) складала 12 см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>. Слід відмітити, що ступеню десорбції по кальцію досягнуто при  $q_n = 5$  см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>, а по іонах жорсткості загалом при  $q_n = 6$  см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>.

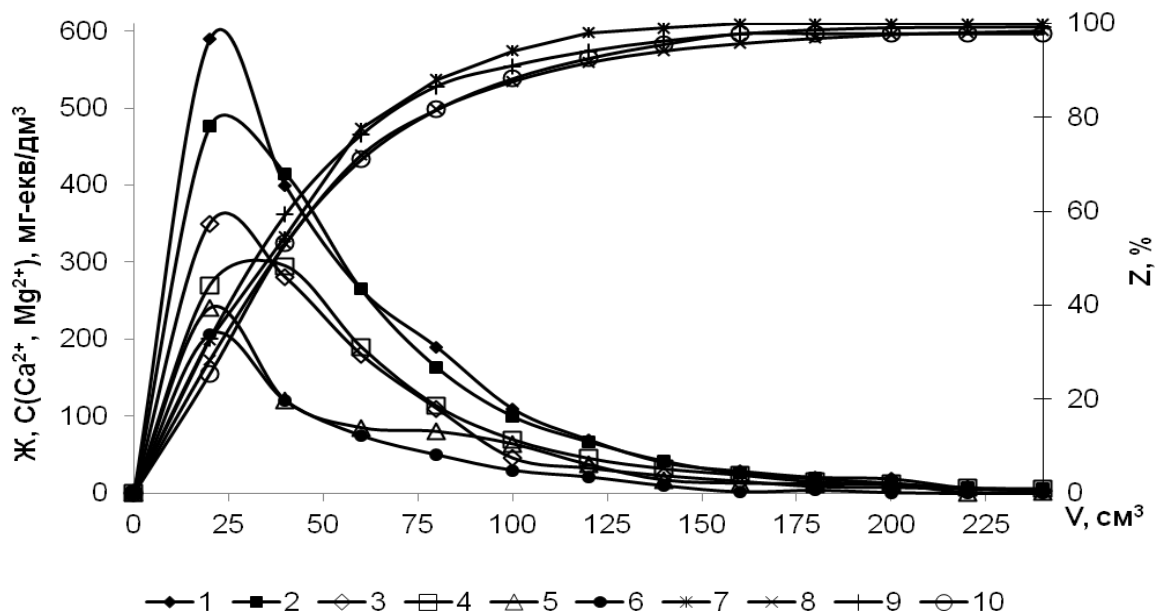


Рис. 2. Залежність жорсткості (1; 2) концентрації іонів кальцію (3; 4) та магнію (5; 6), ступеню десорбції іонів жорсткості (7; 8) та іонів кальцію (9, 10) від пропущеного об'єму регенераційного розчину ( $C(\text{NaCl}) = 134550 \text{ мг/дм}^3$ ;  $C(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 18933 \text{ мг/дм}^3$ ) (1; 3; 5; 7; 9) та розчину ( $C(\text{NaCl}) = 90675 \text{ мг/дм}^3$ ;  $C(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 13075 \text{ мг/дм}^3$ ) (2; 4; 6; 8; 10)

Дещо нижча ефективність регенерації іоніту була при використанні регенераційних розчинів із сумарною концентрацією хлориду та сульфату натрію  $\approx 30 \dots 50 \text{ г/дм}^3$  (рис. 3). В даному випадку повної десорбції іонів жорсткості досягнуто при питомій витраті регенераційного розчину  $q_n = 20 \text{ см}^3/\text{см}^3$  при концентрації солей 5%. При 4%-й концентрації регенераційного розчину ступінь десорбції при тій же витраті розчину сягав 95% по сумарній кількості іонів жорсткості, 100% по іонах магнію та 90% по іонах кальцію. При використанні 3%-го розчину ступінь десорбції іонів жорсткості при  $q_n = 20 \text{ см}^3/\text{см}^3$  досяг лише 63%.

В разі регенерації катіоніту розчином із сумарним вмістом хлориду та сульфату  $25 \text{ г/дм}^3$  (рис. 4) ступінь десорбції іонів магнію при  $q_n = 20 \text{ см}^3/\text{см}^3$  досяг 69,5%, по іонах кальцію 44,3%, в цілому по іонах жорсткості – 63,6%.

Очевидно, що при загальному солевмісті  $25 \text{ г/дм}^3$  сподіватися на ефективне вилучення іонів жорсткості на катіоніті в  $\text{Na}^+$  формі не доводиться. Проте, при використанні модельного розчину М2, із складом близьким до складу води Чорного моря, рівень мінералізації якої перевищував  $20 \text{ г/дм}^3$  було отримані задовільні результати (рис. 1, криві 2; 4; 6). Ступінь вилучення кальцію в оброблених  $800 \text{ см}^3$  складав 85% при залишковому вмісті кальцію у воді  $3,67 \text{ мг-екв/дм}^3$ . Обмінна динамічна ємність по кальцію досягла  $838 \text{ мг-екв/дм}^3$ , по магнію  $457 \text{ мг-екв/дм}^3$  при сумарній ємності по іонах жорсткості  $1295 \text{ мг-екв/дм}^3$ .

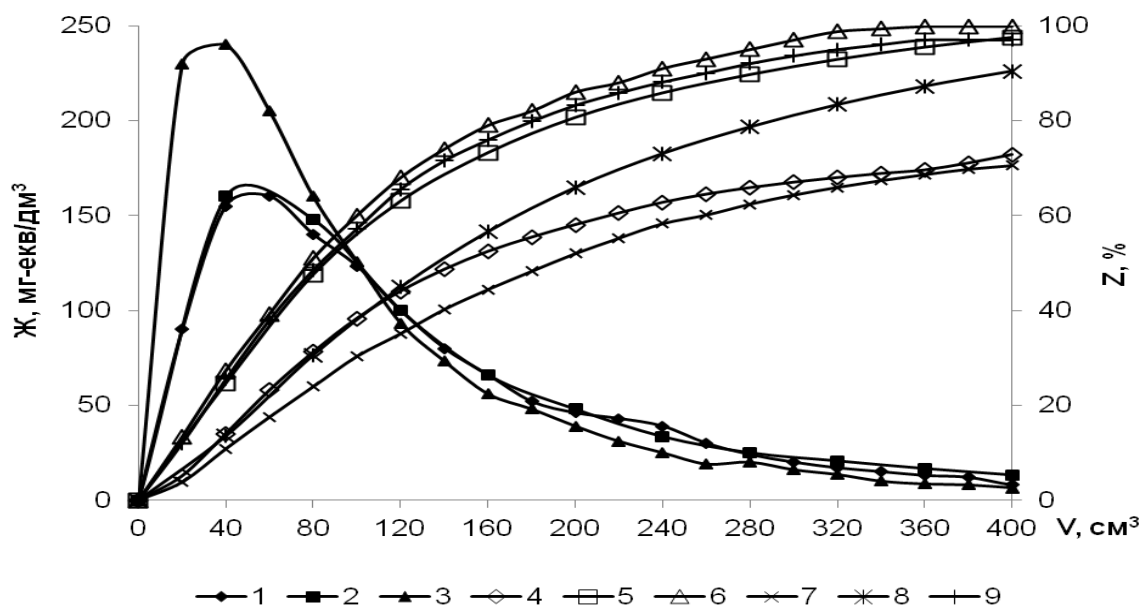


Рис. 3 Залежність вихідної жорсткості регенераційного розчину (1;2;3), ступеню десорбції іонів жорсткості (4;5;6) та ступеню десорбції іонів кальцію (7; 8; 9) від пропущеного об'єму при складі розчину:  $C(\text{NaCl}) = 25593 \text{ мг/дм}^3$ ,  $C(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 3919 \text{ мг/дм}^3$  (1; 4; 7);  $C(\text{NaCl}) = 33701 \text{ мг/дм}^3$ ,  $C(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 5964 \text{ мг/дм}^3$  (2; 5; 8);  $C(\text{NaCl}) = 43412 \text{ мг/дм}^3$ ,  $C(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 6588 \text{ мг/дм}^3$  (3; 6; 9)

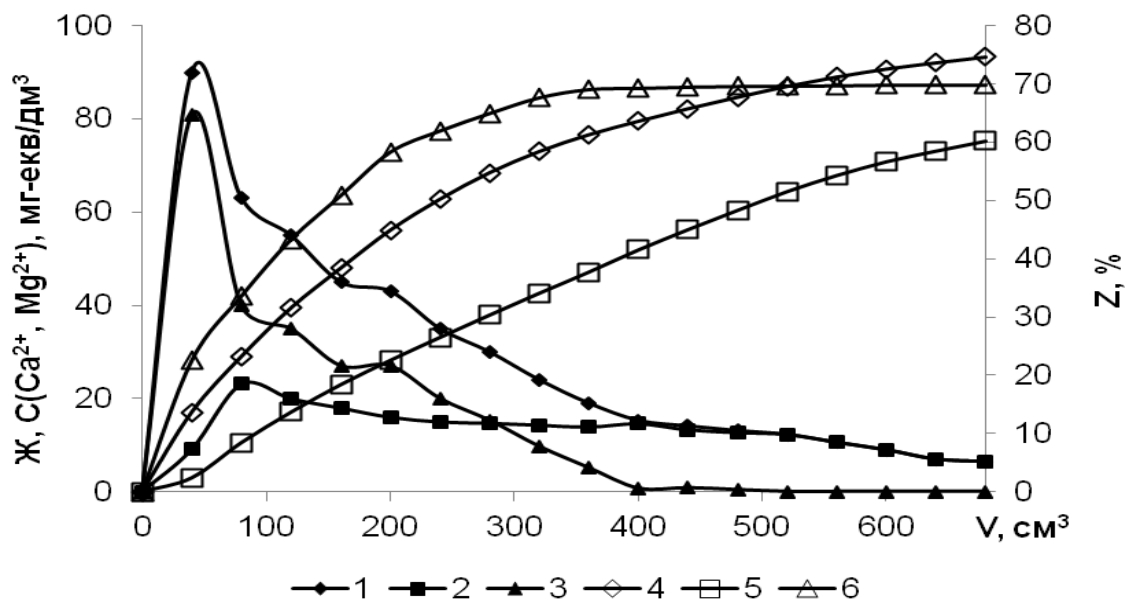


Рис. 4. Залежність вихідної жорсткості регенераційного розчину (1), концентрації іонів кальцію (2) та магнію (3) та ступеню десорбції іонів жорсткості (4), кальцію (5) та магнію (6) з катіоніту КУ-2-8 від пропущеного об'єму розчину  $C(\text{NaCl}) = 22107 \text{ мг/дм}^3$ ,  $C(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2893 \text{ мг/дм}^3$

**Аналіз отриманих результатів.** Із приведених результатів видно, що до рівня мінералізації води  $20000 \text{ мг/дм}^3$  при жорсткості  $\approx 50 \dots 60 \text{ мг-екв/дм}^3$  цілком можливо застосовувати натрій-катіонування для стабілізаційної обробки води перед мембранним знесоленням. При її мінералізації вище

25000 мг/дм<sup>3</sup> вже переважатимуть процеси десорбції іонів жорсткості із катіоніту з переведенням його в Na<sup>+</sup> форму.

В даному випадку цікавим є той факт, що опріснення води на зворотньоосмотичних мембранних фільтрах проходить ефективно при помірних енергозатратах і робочих тисках при відборі концентратів із рівнем мінералізації  $\approx 50000$  мг/дм<sup>3</sup>. Як видно із рис. 3 при такому рівні солевмісту в регенераційному розчині досягнуто повної регенерації катіоніту при питомій витраті розчину  $q_n = 20$  см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>.

Цікаво відмітити, що при ступені відбору перміату 75% із розчину М1, близького за складом до води Азовського моря, можна отримати концентрат із вмістом солей  $\approx 4\%$ . Як видно із рис. 3 (криві 2; 5; 8) при використанні такого розчину відбувається практично повна десорбція іонів жорсткості з іоніту. Якщо врахувати, що при пропусканні через 1 м<sup>3</sup> іоніту розчину М1 можна отримати 60 м<sup>3</sup> пом'якшеної води з жорсткістю  $\approx 4,2$  мг-екв/дм<sup>3</sup>, а при відборі 40 м<sup>3</sup> перміату можна отримати 20 м<sup>3</sup> концентрату, якого цілком достатньо для регенерації катіоніту. Для скорочення об'ємів регенераційних розчинів їх склад можна коригувати при незначному додаванні хлориду натрію.

В цілому, отримані результати можна використати в технології знесолення морської води при використанні отриманих концентратів для регенерації катіонообмінних фільтрів. Принципову технологічну схему знесолення води приведено на рис. 5.

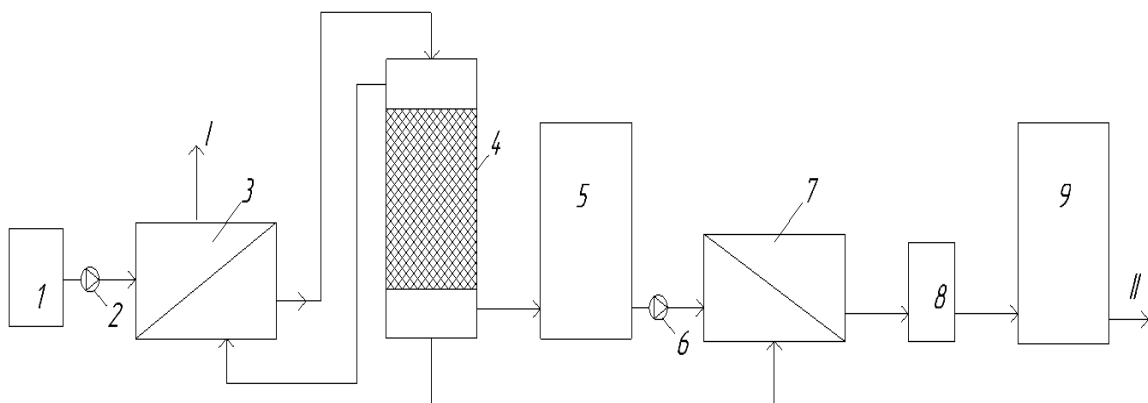


Рис. 5. Принципова технологічна схема зворотньоосмотичного знесолення води при натрій-катіонному пом'якшенні на стадії попередньої обробки:

1 – водозабірна споруда; 2, 6 – насоси; 3 – ультрафільтраційна установка; 4 – іонообмінні фільтри; 5 – резервуар пом'якшеної води; 7 – блок зворотньоосмотичних фільтрів; 8 – камера озонування; 9 – резервуар чистої води. I – скид концентрату; II – подача води до споживача.

Як видно з рис. 5 морську воду спочатку пропускають через ультрафільтраційну установку (3) для очищення води від механічних домішок. Освітлена вода пом'якшується на катіонообмінних фільтрах (4) і подається насосами (6) на зворотньоосмотичні фільтри (7).

Фільтрат після озонування збирається в резервуарі чистої води і направляється до споживача. Концентрат перед скидом використовується для регенерації катіонообмінних фільтрів та промивки ультрафільтраційних установок.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень по стабілізаційній обробці води при зворотньоосмотичному опрісненні було:

– показано, що води з мінералізацією до 20 г/дм<sup>3</sup>, які містять хлористий натрій та сульфат натрію, а також іони жорсткості та гідрокарбонати можна ефективно пом'якшувати на натрій-катіонному фільтрі (катіоніт КУ-2-8) при обмінній динамічній ємності іоніту по даних іонах 1300...1700 мг-екв/дм<sup>3</sup>;

– встановлено, що розчини хлориду та сульфату натрію забезпечують ефективну регенерацію катіоніту в кальцій-магнієвій формі при сумарній концентрації солей 4...15% за питомої витрати розчину від 5 до 20 см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>;

– запропоновано технологічну схему опріснення морської води з мінералізацією до 20 г/дм<sup>3</sup> в якій стабілізаційна обробка води здійснюється методом натрій-катіонування. Регенерація іонообмінних фільтрів здійснюється концентратом, який утворюється при проведенні зворотньоосмотичного опріснення.

В подальшому для вдосконалення розробленої технології стабілізаційної обробки води перед подачею на зворотньоосмотичні фільтри будуть проведені дослідження по визначенню оптимальних режимів регенерації катіонних фільтрів для зменшення об'ємів катіоніту, що використовується при обробці води.

Для вод з мінералізацією до 5 г/дм<sup>3</sup> будуть вивчені процеси декарбонізації води або вилучення з неї сульфатів.

### Список літератури

1. *Щербатюк М.О.* Обессоливание минерализованных шахтных вод в помощь обратнoсмотического метода / М. О. Щербатюк, В. Т. Львов, А. И. Сердюк // Природничі науки. – 2009. – № 1. – С. 430-435.

2. *Трус І.М.* Вплив попереднього механічного доочищення води на ефективність зворотньоосмотичного опріснення води / І.М. Трус, М.Д. Гомеля, В.М. Радовенчик // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.– 2013. – № 9 (198) Ч.2. – С. 197-202.

3. *Башкинский Е.В.* Применение комплексонoв для стабилизации воды / Е. В. Башкинский, В. А. Дегтярев, В. Б. Куропятник // Охрана водоемов и атмосферы от вредных выбросов предприятий черной металлургии: Тем. сб. науч. тр. – М.: Металлургия. – 1987. – С. 9-11.

4. *Макаренко І.Н.* Применение гидроксоалюмината натрия при кондиционировании воды для систем охлаждения в промышленности и энергетике / И.Н. Макаренко, Т.А. Шаблий, Т.В. Крысенко // Химия и технология воды. – 2009. – Т. 31, № 5. – С. 542-551.



5. *Шаблій Т.О.* Розроблення нових реагентів для глибокого пом'якшення води високої жорсткості для теплообмінних водоциркуляційних систем / Т.О. Шаблій, О.В. Голтвяницька, М.Д. Гомеля // Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2009. – № 2. – С. 44-48.

6. *Талхи Ф. М.* Дослідження методів попередньої підготовки води з високою жорсткістю для мембранного кондиціонування / Ф. М. Талхи, Н. В. Макаров, І. М. Астрелін, Н. М. Толстопалова // Вісник нац. техн. ун-ту України «Київськ. пол. інститут». – 2008. – № 4. – С. 127-131.

7. *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. – 2011. – № 3/6 (57). – С. 16-20.

8. *Рисухін В.В.* Вплив концентрації розчинів сірчаної кислоти, форми катіоніту Dowex MAC-3 на ефективність його регенерації / В.В. Рисухін, О.В. Глушко, І.М. Макаренко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2012. – № 34. – С. 137-145.

9. *Боженко А.М.* Выбор смеси ионитов для эффективного умягчения и обезжелезивания воды / А.М. Боженко, И.Н. Гомеля, Ю.А. Омельчук // Збірник наукових праць СНУЯЕтаП. – 2007. – вип. 4(24). – С. 144-149.

10. *Голтвяницкая Е.В.* Оценка эффективности использования слабокислотного катионита Dowex MAC-3 в катионном умягчении воды / Е.В. Голтвяницкая, Т.А. Шаблій, Н.Д. Гомеля, С.С. Ставская // Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2011. – № 2 (8). – С. 87-92.

*Надійшло до редакції 28.04.2016*

УДК 628.16

С.М. ЭПОЯН, доктор технических наук  
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
В.А. ЯРКИН  
Коммунальное предприятие «Харьковводоканал».

## **ОСОБЕННОСТИ СМЕШЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД НА СТАНЦИЯХ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

*Наведено особливості змішування природних вод з реагентами. Розглянуто типи змішувачів і їх недоліки. Запропоновано метод підвищення ефективності змішування природної води з реагентом.*

**Ключові слова:** водопостачання, природна вода, реагент, змішування, ефективність, очищення, метод.