

УДК 628.162:66.097.718

І.М. МАКАРЕНКО, канд. техн. наук, старший науковий співробітник

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», НТУУ «КПІ», м. Київ

СТАБІЛІЗАЦІЙНА ОБРОБКА МОРСЬКОЇ ВОДИ У ПРОЦЕСІ ЇЇ ЗВОРОТНЬООСМОТИЧНОГО ОПРІСНЕННЯ

Вивчено процеси стабілізаційної обробки води на катіонообмінних фільтрах. Установлено, що ефективної декарбонізації води можна досягти, застосовуючи слабкокислотні катіони в H^+ -формі на першій стадії, а глибокого пом'якшення води і нейтральних значень рН середовища – у разі застосування сильнокислотного катіоніту в Na^+ -формі на другій стадії. Запропоновано технологію зворотньоосмотичного знесолення води, яка передбачає застосування іонообмінних фільтрів на попередній стадії.

Ключові слова: зворотній осмос, знесолення води, катіоніт, пом'якшення води, технологія опріснення води.

Забруднення водних об'єктів – джерел питного водопостачання – за відсутності високоефективних технологій водопідготовки та через незадовільний стан водопроводів створює небезпеку для здоров'я населення в багатьох регіонах України.

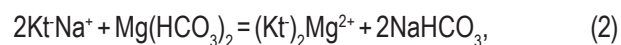
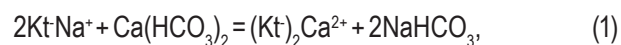
Особливо складно вирішувати проблеми кондиціонування високомінералізованої води. Традиційні технології в цьому разі малоефективні. З іншого боку, на значній частині території України поверхневі водойми характеризуються підвищеною мінералізацією. Причиною цього є як природні фактори (у Приазов'ї, Північному Криму), так і антропогенні, – насамперед скид шахтних та промислових стічних вод.

Через значне скорочення джерел водопостачання із якісною водою актуальною є проблема опріснення морських вод, які вже сьогодні використовують у приморських регіонах.

До сучасних високоефективних методів знесолення води, що все ширше застосовують як в промисловості, так і в комунальних господарствах, можна віднести такі баромембранні процеси, як зворотній осмос та нанофільтрування [1, 2]. Для застосування даних методів треба вирішити проблему стабілізаційної обробки води перед стадією мембранного очищення, щоб запобігти відкладенню карбонату кальцію на мембранах, яке відбувається через перевищення допустимого вмісту карбонатів та іонів кальцію в концентратах.

Проблему стабілізації можна вирішувати як за рахунок пом'якшення води [3–7], так і шляхом її декарбонізації. У разі натрій-катіонного пом'якшення води суттєво підвищується рН середовища [6, 7], внаслідок чого осад відкладається навіть за невисоких концентрацій кальцію.

З урахуванням того, що в природних водах лужність часто близька до жорсткості води, запишемо реакції, за якими проходить іонний обмін:



де Kt – функціональна група катіоніту.

Оскільки натрій утворює основу сильнішу за гідроксиди кальцію та магнію, гідроліз гідрокарбонату натрію відбувається глибше, ніж гідроліз гідрокарбонату кальцію або магнію. Підвищення рН середовища сприяє переходу бікарбонатів в карбонати, які з кальцієм утворюють нерозчинний осад. Однак повне видалення іонів жорсткості з води на стадії попередньої обробки є економічно недоцільним; тому кращим вирішенням проблеми буде застосування слабкокислотних катіонітів у кислій формі перед мембранним очищенням води. В результаті цієї обробки відбувається часткове пом'якшення води з повною її декарбонізацією за зниження рН до 3–4 [8–10], що ніяк не впливає на роботу мембран. За таких умов у процесах нанофільтрації вихід перміату підвищується з 75–80 % до 90–95 % без суттєвого ризику осадкоутворення на мембранах. Обмеження можуть бути лише з точки зору селективності та продуктивності мембран, зростання осмотичного опору і робочого тиску процесу. Крім того, необхідно враховувати, що вміст концентрації сульфату кальцію у концентраті не повинен перевищувати 25 мг-екв/дм³.

Іонообмінна стабілізаційна обробка морської води також є досить перспективною, але в даному разі вирі-



шити зазначену проблему лише декарбонізацією води неможливо. Навіть у разі низького рівня концентрації гідрокарбонатів та карбонатів морська вода має високу жорсткість (понад 50 мг-екв/дм³) та значний вміст сульфатів, що є причиною відкладення не лише карбонатів, але й сульфату кальцію.

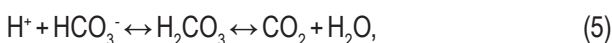
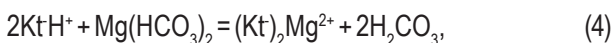
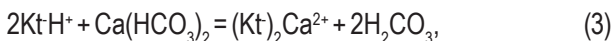
Метою цієї роботи є розробка іонообмінного методу стабілізаційної обробки води в зворотньоосмотичній технології її опріснення.

Стабілізаційну обробку води проводили слабкокислотним катіонітом Dowex MAC-3, який характеризується високою обмінною місткістю щодо іонів жорсткості (~ 4000 г-екв/м³) та є сертифікованим для очищення питної води. Як сильнокислотний катіоніт використовували доступну та ефективну іонообмінну смолу КУ-2-8.

Для регенерації слабкокислотного катіоніту застосовували розведений розчин сірчаної кислоти (K = 200 мг-екв/дм³), а катіоніту КУ-2-8 – розчини хлористого натрію концентрацією 5 та 10 %. Іонообмінне пом'якшення води проводили в динамічних умовах. Об'єм іоніту в колонці діаметром 1,9 см дорівнював 20 см³. Витрата розчину через сорбцію становила 15 см³/хв, а в результаті регенерації іоніту – 2 см³/хв. Під час сорбції відбирали проби об'ємом 0,1–1,1 дм³ і визначали залишкові жорсткість, лужність та рН води, а під час регенерації іоніту відбирали проби розчину об'ємом 20 см³ і визначали їх жорсткість та кислотність.

Як об'єкт досліджень використовували воду з Азовського моря (м. Керч) з такими характеристиками: Ж = 50,4 мг-екв/дм³, Л = 3,2 мг-екв/дм³, [SO₄²⁻] = 811 мг/дм³, [Cl⁻] = 6068 мг/дм³, [Na⁺] = 3285 мг/дм³, рН = 8,4.

Процеси іонного обміну на слабкокислотних катіонітах залежать від типу катіоніту. Відомо, що в результаті обробки води на слабкокислотних іонітах в кислій формі відбувається не лише її часткове пом'якшення, але і повне вилучення гідрокарбонат-іонів за рахунок часткового підкислення води [7–10]. Так, на катіонітах Dowex MAC-3 та Lewatit-TP-207 при використанні їх в кислій формі відбувається часткове пом'якшення води та практично повна її декарбонізація за наявності у воді гідрокарбонатів кальцію та магнію. Процеси проходять за реакціями:



де Kt – фрагмент катіоніту.

Вугільна кислота підкислює воду. Крім того, зниження лужності проходить завжди більшою мірою, ніж зниження

жорсткості, що викликане, ймовірно, частковою сорбцією іонів натрію.

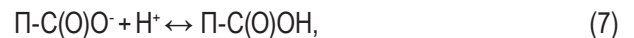


де X⁻ – аніон (HCO₃⁻, Cl⁻, HSO₄⁻).

У разі підвищенні вмісту іонів натрію різниця між ефективністю декарбонізації та пом'якшення зростає. Внаслідок індукційного ефекту в макромолекулах полімеру кислотність карбоксильних груп дещо вища за кислотність вугільної кислоти. Даному процесу присвячено декілька сучасних робіт [8–10].

Подібні тенденції спостерігаються і під час пропускання морської керченської води (жорсткість Ж = 50,4 мг-екв/дм³, лужність Л = 3,2 мг-екв/дм³, рН = 8,2, [SO₄²⁻] = 811 мг/дм³, [Cl⁻] = 6068 мг/дм³, [Na⁺] = 3285 мг/дм³) через іоніт Dowex MAC-3 в кислій формі (ПОДС₁ = 1915,0 мг-екв/дм³, ПОДС₂ = 2843,5 мг-екв/дм³) (рис. 1).

Як видно з рисунка, на першому етапі сорбції рН розчину знижується до 3,5, лужність – до нуля, а жорсткість – лише до 49–50 мг-екв/дм³. Місткість катіоніту щодо поглинання іонів жорсткості сягала лише 1915 мг-екв/дм³, що майже вдвічі нижче, ніж для іоніту в натрієвій формі. Очевидно, це пов'язано з переходом в слабкислому середовищі функціональних груп катіоніту в асоційовану форму:



де P – фрагмент полімерної матриці катіоніту.

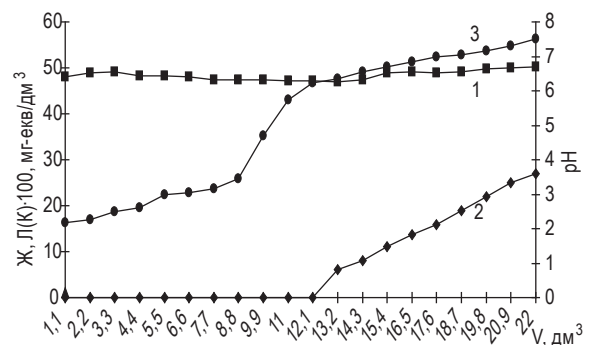
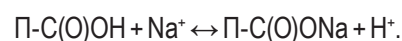


Рисунок 1 – Залежність характеристик морської води (м. Керч) від її об'єму, пропущеного через катіоніт Dowex MAC-3 в H⁺-формі (V₁ = 20 см³):

1 – жорсткість, мг-екв/дм³; 2 – лужність, мг-екв/дм³; 3 – рН

Більш високе значення повної обмінної місткості іоніту визначене за зниженням лужності (ПОДС₂ = 2843,5 мг-екв/дм³) і обумовлене сорбцією не лише катіонів жорсткості, але й катіонів натрію:



Саме цим можна пояснити аномальне зниження рН води під час її обробки на катіоніті. Тобто в даному випадку поряд з вугільною кислотою в розчині утворюються соляна або сірчана кислота, але в досить низьких концентраціях.

Для досягнення більш глибокого пом'якшення води на другій стадії катіонування використовували сильноокислотний катіоніт КУ-2-8 у натрієвій формі (ПОДЕ₁ = 2264 мг-екв/дм³, ПОДЕ₂ = 2670 мг-екв/дм³) (рис. 2).

З рис. 2 видно, що у разі використання катіоніту КУ-2-8 в натрієвій формі для пом'якшення морської води її лужність залишається незмінною, а рН зростає до 8,5 за досить низьких значень залишкових концентрацій іонів жорсткості. Пояснення даного ефекту описано вище. Проте таку воду не можна розглядати як стабільну до відкладення осадів карбонату кальцію. Під час попередньої обробки води на катіоніті Dowex MAC-3 в кислій формі після катіоніту КУ-2-8 у натрієвій формі лужність у воді дорівнює 0 мг-екв/дм³, рН = 7,0 за низьких значень концентрації іонів жорсткості. У даному разі вода є стабільною до осадкоутворення, незалежно від вмісту сульфат-іонів. Повна обмінна місткість іоніту щодо іонів жорсткості сягає 2670 мг-екв/дм³. Це аномально високе для КУ-2-8 значення можна пояснити частковою сорбцією іонів жорсткості на слабоокислотному катіоніті. Досить високою є місткість катіоніту КУ-2-8 за іонами жорсткості до «проскоку» – 1008 мг-екв/дм³.

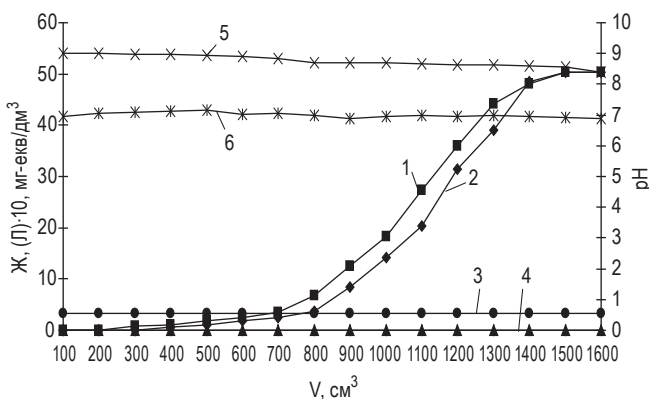


Рисунок 2 – Залежність характеристик морської води (м. Керч) від пропущеного об'єму через катіоніт КУ-2-8 в Na⁺-формі (V_i = 20 см³) та послідовно через катіоніт Dowex MAC-3 в H⁺-формі (V_i = 20 см³) і катіоніт КУ-2-8 в Na⁺-формі (V_i = 20 см³)

1, 2 – жорсткість, мг-екв/дм³; 3, 4 – лужність, мг-екв/дм³;
5, 6 – рН; 1, 3, 5 – обробка води на катіоніті КУ-2-8 в Na⁺-формі; 2, 4, 6 – обробка води послідовно на катіоніті Dowex MAC-3 в H⁺-формі та КУ-2-8 в Na⁺-формі

Слід відмітити, що за лужності морської води всього 3,2 мг-екв/дм³ та місткості катіоніту Dowex MAC-3

в H⁺-формі щодо катіонів металів 2843 мг-екв/дм³ співвідношення об'ємів даного слабоокислотного катіоніту та КУ-2-8 при послідовній обробці води може становити 1:16.

Оскільки катіоніт Dowex MAC-3 погано регенерується розчинами хлористого натрію [11] і за необхідності переведення його в H⁺-форму, регенерацію проводили розведеним розчином сірчаної кислоти (рис. 3). Використання більш концентрованого розчину для регенерації катіоніту є недоцільним через утворення осадів сульфату кальцію.

Повної регенерації іоніту досягнуто за питомою витрати регенераційного розчину 25 см³ на 1 см³ іоніту. В разі повторного використання другої половини регенераційного розчину можна досягти зниження його витрати до 12,5 см³ на 1 см³ іоніту за повної його регенерації. При цьому відпрацьований регенераційний розчин буде мати нейтральне середовище, тому що за витрати 17,5 см³ розчину на 1 см³ іоніту кислотність відпрацьованого регенераційного розчину дорівнює нулю.

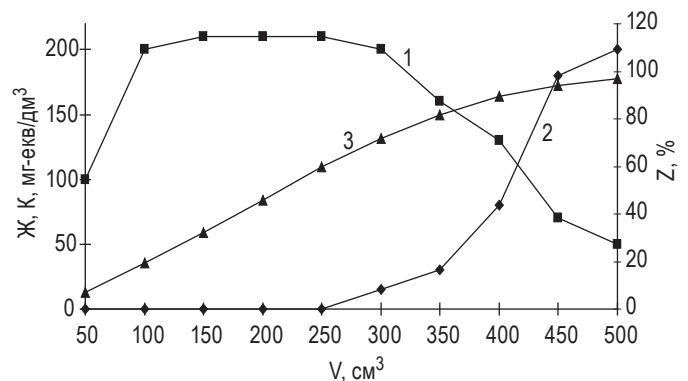


Рисунок 3 – Залежність жорсткості, кислотності регенераційного розчину та ступеня регенерації від пропущеного об'єму сірчаної кислоти (кислотність = 200 мг-екв/дм³) через слабоокислотний катіоніт Dowex MAC-3 в Ca²⁺-, Mg²⁺-формі (V_i = 20 см³)
1 – жорсткість, мг-екв/дм³; 2 – кислотність, мг-екв/дм³;
3 – ступінь регенерації, %

Регенерація катіоніту КУ-2-8 розчинами хлориду натрію проходить досить ефективно за їх концентрації 5 та 10 % (рис. 4, 5). Це говорить про те, що відпрацьований катіоніт можна легко регенерувати концентратами, що утворюються під час зворотньоосмотичного опріснення води.

Відбір перміату доцільно проводити так, щоб вміст солей у концентраті був на рівні 5–10 %. Це дасть можливість використовувати його для регенерації катіоніту КУ-2-8 при переведенні в Na⁺-форму.

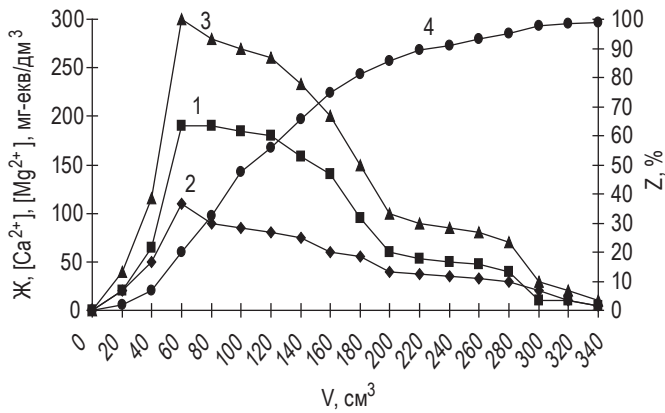


Рисунок 4 – Залежність ефективності регенерації катіоніту КУ-2-8 ($V_i = 10 \text{ см}^3$) в Ca^{2+} -, Mg^{2+} -формі від об'єму пропущеного 5 %-го розчину хлориду натрію:
 1 – $[\text{Ca}^{2+}]$, мг-екв/дм³; 2 – $[\text{Mg}^{2+}]$, мг-екв/дм³;
 3 – жорсткість, мг-екв/дм³; 4 – ступінь регенерації, %

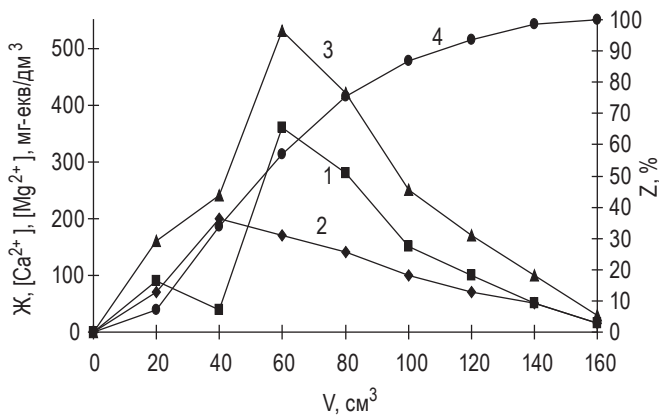


Рисунок 5 – Залежність ефективності регенерації катіоніту КУ-2-8 ($V_i = 10 \text{ см}^3$) в Ca^{2+} -, Mg^{2+} -формі від об'єму пропущеного 10 %-го розчину хлориду натрію:
 1 – $[\text{Ca}^{2+}]$, мг-екв/дм³; 2 – $[\text{Mg}^{2+}]$, мг-екв/дм³;
 3 – жорсткість, мг-екв/дм³; 4 – ступінь регенерації, %

На основі отриманих результатів запропоновано технологічну схему зворотньоосмотичного знесолення води. Як було показано в цій роботі, слабокислотний катіоніт у кислій формі забезпечує зниження лужності води до нуля незалежно від концентрації солей. Сильнокислотний катіоніт в Na^+ -формі ефективно сорбує іони кальцію та магнію за концентрації хлориду та сульфату натрію до 3,1 %, а іонів натрію – до 500 мг-екв/дм³. З іншого боку, цей катіоніт в Ca^{2+} -, Mg^{2+} -формі ефективно регенерується розчином хлориду або сульфату натрію. Ефективна регенерація відбувається за концентрації хлориду натрію на рівні приблизно 5 % та іонів натрію – близько 855 мг-екв/дм³. Тому в технології опріснення води (рис. 6) для запобігання відкладення CaCO_3 або CaSO_4 на мембрані воду після механічного фільтра (3) доціль-

но пропускати через катіонітний фільтр першого ступеня, заповнений слабокислотним катіонітом Dowex MAC-3 в кислій формі (4), та катіонітний фільтр другого ступеня (5), заповнений сильнокислотним катіонітом КУ-2-8 в Na^+ -формі.

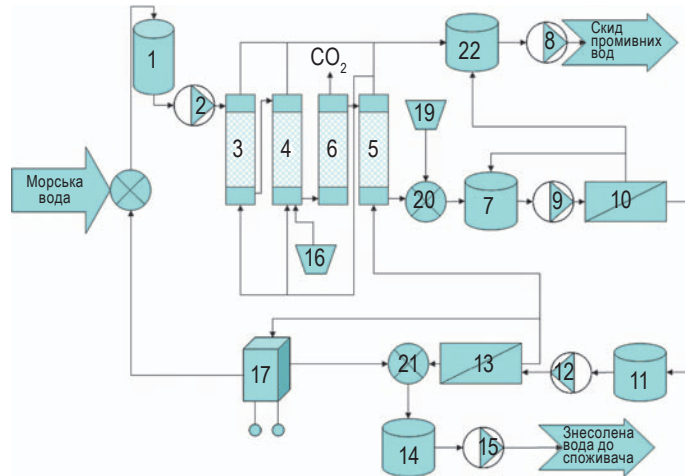


Рисунок 6 – Принципова технологічна схема знесолення морської води:

- 1 – резервуар морської води; 2, 8, 9, 12, 15 – насоси;
- 3 – механічний фільтр; 4 – катіонний фільтр (Dowex MAC-3) в кислій формі; 5 – катіонний фільтр (КУ-2-8) в Na^+ -формі; 6 – дегазатор; 7 – резервуар освітленої води;
- 10 – ультрафільтраційна установка; 11 – резервуар глибоко освітленої води; 13 – зворотньоосмотична установка;
- 14 – резервуар знесоленої води; 16 – витратний бак соляної кислоти; 17 – електролізер для отримання гіпохлориту натрію;
- 18, 20, 21 – інжектор; 19 – витратний бак сульфату натрію; 22 – резервуар промивних вод та регенераційних розчинів

У результаті вода очищується від завислих речовин, карбонатів і гідрокарбонатів (тобто лужність води знижується до нуля) та іонів жорсткості (залишкова жорсткість становить менше 0,01 мг-екв/дм³). Вода має нейтральне середовище ($\text{pH} = 6,5-7,3$), і в ній майже відсутні колоїдні домішки, оскільки між фільтрами (4) та (5) pH води знижується до 3,5–4,0, що спричиняє гідроліз гуматів і перехід їх у нерозчинний стан. Залишки завислих речовин та колоїдних домішок повністю видаляють з води за допомогою ультрафільтраційної установки (10). Освітлена, знебарвлена вода надходить на блок зворотньоосмотичних фільтрів.

Знесолена вода збирається в резервуарі (14), а концентрат використовують для регенерації сильнокислотного катіоніту в фільтрі (5) та переведення його в Na^+ -форму. Цей же концентрат застосовують для спущення та промивки катіонітного фільтра (5). Катіонітний фільтр (4) регенерують розчином сірчаної кислоти, при цьому нейтральний регенераційний розчин скидають, а кислий – використовують вдруге. Тобто на 1 м³ катіоніту

скидають 12,5 м³ нейтрального розчину, а іншу частину (12,5 м³) кислого розчину використовують повторно.

Всі відпрацьовані розчини (концентрат, промивні води та регенераційний розчин) збирають у резервуар (6), а потім скидають в море. За співвідношенням та складом компонентів дані стічні води ідентичні морській воді і відрізняються від неї лише рівнем мінералізації. Проте, враховуючи ефект розведення, склад морської води поблизу місця скиду (в контрольному створі) буде знаходитись в межах допустимих значень.

Слід підкреслити, що цей підхід можна реалізувати лише для знесоленої морської води за умов розміщення станції водопідготовки на морському узбережжі. У цьому випадку скид засолених концентратів у море, вода в якому також високомінералізована, не супроводжується суттєвими змінами характеристик морської води. Скид засолених концентратів у прісноводні водойми заборонено, тому що це призводить до різкого погіршення якості води у водоймі. Очищення солонуватих природних, шахтних та інших стічних вод відбувається за значно складнішою технологією переробки концентратів.

Отже, надана технологічна схема забезпечує ефективне опріснення морської води, яку залежно від потреб можна використовувати у промисловості та комунальному господарстві на енергетичних установках. У разі потреби після коригування мінерального складу опрісненої води можливо отримувати питну воду високої якості.

Перевагою розглянутої технології опріснення морської води є те, що в даному випадку концентрат можна використовувати для регенерації катіоніту перед скидом у море. Оскільки концентрат в зворотньоосмотичній установці практично повністю освітлений, знебарвлений, пом'якшений і знаходиться під високим тиском (понад 10 атм.), при його використанні для регенерації катіонообмінного фільтру відпадає необхідність у витраті реагентів та енергії на регенерацію іонообмінних фільтрів (тобто витрат потребує лише установка катіонних фільтрів з катіонітом в Na⁺-формі). Витрати реагентів на пом'якшення води, враховуючи високий рівень жорсткості води, будуть значними. Крім того, витрати на установку з приготування суспензій вапна, а також на просвітлювачі з завислим шаром осаду, механічні фільтри, експлуатацію такого обладнання в багато разів перевищать витрати на іонообмінні установки. Стабільність води буде низькою, тому що реагентне пом'якшення забезпечує ефективне зниження карбонатної жорсткості і слабо впливає на рівень постійної жорсткості води, яка в цьому випадку досягає 50 мг-екв/дм³.

Отже, запропонована схема опріснення води є мало-відходною і забезпечує високий рівень надійності роботи обладнання та якості очищеної води.

ВИСНОВКИ

1. У результаті дослідження процесів стабілізаційної обробки морської води на катіонітах встановлено, що при використанні слабокислотного катіоніту Dowex MAC-3 у кислій формі відбувається декарбонізація води при її частковому пом'якшенні, яка зумовлена сорбцією іонів жорсткості та підкисленням розчинів. При цьому ефективність декарбонізації води завжди переважає ефективність її пом'якшення, що зумовлено сорбцією однозарядних іонів разом з іонами кальцію і магнію.

2. Показано, що катіоніт КУ-2-8 в Na⁺-формі забезпечує ефективне пом'якшення морської води при підвищенні її рН до 8,5–9,0. Внаслідок обробки попередньо декарбонізованої (на катіоніті Dowex MAC-3 в кислій формі та на катіоніті КУ-2-8 в Na⁺-формі) води її рН зростає з 2,5–4,0 до 7,0–7,3, а жорсткість знижується до 0,01–0,50 мг-екв/дм³ за відсутності лужності. При зворотньоосмотичному знесоленні вода стабільна щодо відкладень на мембранах.

3. Визначено умови регенерації слабокислотного катіоніту кислотою з отриманням нейтральних відпрацьованих розчинів за високого ступеня регенерації іоніту.

4. Розроблено комплексну технологію знесолення води зворотньоосмотичним методом при іонообмінній її стабілізації. В цій технології регенерацію катіонітів перед їх скидом в море здійснюють концентратами.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. **Первов А. Г.** Мембранная технология в подготовке питьевой воды / А. Г. Первов, Ю. В. Резцов и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 1995. – № 2. – С. 28–33.
2. **Щербатюк М. О.** Обессоливание минерализованных шахтных вод с помощью обратноосмотического метода / М. О. Щербатюк, В. Г. Львов, А. И. Сердюк // Природничі науки. – 2009. – № 1. – С. 430–435.
3. **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. – Т. 31, № 5. – С. 542–551.
4. **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.
5. **Гомеля М. Д.** Оцінка ефективності реагентів під час пом'якшення води / М. Д. Гомеля, Т. О. Шаблій, О. В. Голтвя-



- ницька // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2009. – № 667. – С. 270–273.
6. **Гомеля И. Н.** Оценка эффективности ионитов КУ-2-8 и Aqualite K-100FC при умягчении воды в присутствии ионов железа / И. Н. Гомеля, Ю. А. Омельчук, В. М. Радовенчик // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2008. – № 3. – С. 62–65.
 7. **Боженко А. М.** Выбор смеси ионитов для эффективного умягчения и обезжелезивания воды / А. М. Боженко, И. Н. Гомеля, Ю. А. Омельчук // Збірник наукових праць СНУАЕтаП. – 2007. – вип. 4(24). – С. 144–149.
 8. **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.
 9. **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.
 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.

Поступила в редакцію 04.08.2014

Изучены процессы стабилизационной обработки воды на катионообменных фильтрах. Установлено, что эффективной декарбонизации воды можно достичь использованием слабокислотных катионов в H⁺-форме на первой стадии, а глубокого умягчения воды и нейтральных значений pH среды – применением сильнокислотного катионита в Na⁺-форме на второй стадии. Предложена технология обратнoосмотического обессоливания воды при использовании ионообменных фильтров на предварительной стадии.

Processes related to stabilizing treatment of water on cation exchange filters were investigated. It was established that effective decarbonisation of water can be achieved with using mild-acid cations in the H⁺-form in the initial stage, and deep softening of water and neutral pH by applying strong-acid cation in Na⁺-form at the second phase. The technology of reverse osmosis desalination of water when using ion-exchange filters in the preliminary stage is suggested.