



УКРАЇНА

(19) UA (11) 54469 (13) C2

(51) 7 C02F1/42, B01J47/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ПІДГОТОВКИ ВОДИ

1

(21) 99052971
(22) 28 05 1999
(24) 17 03 2003
(46) 17 03 2003, Бюл. №3, 2003 р.
(72) Мамченко Олексій Володимирович, Ставицький Віктор Васильович
(73) Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського Національної академії наук України
(56) SU 1791392, C 02F 1/42, 30 01 1993, SU 1074831, C 02F 1/42, 23 02 1984, RU 2098356 C1, C 02F 1/42, 10 12 1997, WO 93/16959, C 02F 1/42, B 01J 47/04, 49/00, 02 09 1993, US 4670154, C 02F 1/42, B 01J 49/00, 02 06 1987, DE 4019900 A1, C 02F 1/42, B 01J 49/00, 02 01 1992
(57) 1 Спосіб підготовки води, що включає обезсолення вихідної води на Н- і ОН-фільтрах, пом'якшення вихідної води на виснажених при обезсоленні Н-фільтрах, регенерацію ОН-фільтрів лугом, обробку відпрацьованих Н-фільтрів відпрацьова-

2

ним регенераційним розчином ОН-фільтрів і їх регенерацію кислотою, який відрізняється тим, що, як завантаження Н-фільтрів використовують карбоксильний катіоніт і сульфокатіоніт і обезсолення здійснюють послідовним пропусканням вихідної води через карбоксильний катіоніт і сульфокатіоніт, пом'якшення здійснюють послідовним або паралельним пропусканням води через карбоксильний катіоніт і сульфокатіоніт, виснажені при обезсоленні води і додатково оброблені відпрацьованим регенераційним розчином ОН-фільтрів, пропусканням останнього через указані катіоніти у будь-якій послідовності, а регенерації піддають Н-фільтри, відпрацьовані при пом'якшенні, пропусканням кислоти послідовно через сульфокатіоніт і карбоксильний катіоніт
2 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що при регенерації Н-фільтрів кислотою карбоксильний катіоніт попередньо обробляють відпрацьованим регенераційним розчином Н-фільтрів попередньої операції регенерації

Винахід відноситься до області обробки води, зокрема, до іонообмінної технології обезсолення, пом'якшення води з одночасним зниженням її лужності і може бути використаний в енергетиці для одержання високоякісної кондиційованої води, придатної для використання як теплоносія

Відомий спосіб одержання глибоко пом'якшеної води /СНІП 2.04.02-84 Водоснабжение Наружные сети и сооружения Госстрой СССР -М: Стройиздат, 1985-136 с./ [1] Згідно способу [1] вода обробляється послідовно в двох іонообмінних фільтрах. Перший фільтр вміщує карбоксильний катіоніт, що регенерується кислотою, а другий вміщує сульфокатіоніт, що регенерується розчином хлориду натрію. Залишкова твердість обробленої води складає 0,01 мг-екв/дм³, лужність - 0,7 - 1,5 мг-екв/дм³, питомі витрати кислоти - 1 екв/екв видаляємих катіонів тимчасової твердості, питомі витрати хлориду натрію - не менше 100 г/екв видаляємих іонів постійної твердості, робоча ємкість карбоксильного катіоніту - 500-600 мг-екв/дм³, робоча ємкість сульфокатіоніту - не більше 1350 мг-

екв/дм³

Недопиками способу [1] являються високі питомі витрати реагентів, низька робоча ємкість карбоксильного катіоніту, великі скиди водорозчинних солей, низька продуктивність процесу

Відомий спосіб одержання обезсоленої води / Прохорова А.М., Алексеева Т.В. О перспективе применения отечественных карбоксильных катионитов при ступенчато-противоточном катионировании воды // Теплоэнергетика -1976 -№ 9 С 83 - 85/ [2] Згідно способу [2] обезсолення води здійснюється Н-ОН існуванням, причому на Н-фільтрах вода обробляється шляхом послідовного фільтрування через карбоксильний катіоніт і сульфокатіоніт. Регенерацію катіонітів здійснюють близько до стехіометрії (1 екв/екв поглинутих катіонів) кількістю кислоти. Середня робоча ємкість карбоксильного і сульфокатіоніту складає біля 600 мг-екв/дм³. Спосіб афективний при значній відносній лужності води, що підлягає Н-іонуванню. Стехіометричні витрати сірчаної кислоти на регенерацію катіонітів досягаються, якщо відношення лужності

(13) C2

(11) 54469

(19) UA

до суми аніонів кислот в вихідній воді складає не менше 0,75

Недоліками способу [2] являються вузька область його ефективного використання і низька робоча ємкість катіонітів

Найбільш близьким до винаходу за технічною суттю і досягнутим результатом являється спосіб підготовки обезсоленої та пом'якшеної води /А с № 1791392 АІ SU МКИ⁶ С 02 F 1/42 Спосіб бессточной підготовки води // В В Ставицкий, М Н Кобзаренко - Опубл 30 01 93 Бюл № 4/ [3] Згідно відомому способу [3] вихідна вода піддається реагентному пом'якшенню для одержання води з відсутньою постійною твердістю з послідовним обезсоленням на Н- і ОН-фільтрах. Після виснаження при обезсоленні (при проскоку іонів натрія в фільтрат) Н-фільтри використовуються для одержання пом'якшеної води. Для цього реагентно пом'якшену вихідну воду фільтрують через відпрацьовані при обезсоленні води Н-фільтри. Пом'якшення води на Н-фільтрах закінчують при досягненні гранично допустимої твердості фільтрату, яка визначається вимогами користувача води, після чого фільтри регенерують. ОН-фільтри регенерують лугом і нейтральну частину одержаного відпрацьованого регенераційного розчину разом з м'якими стоками попередньої операції регенерації Н-фільтра використовують для попередньої обробки останнього. Н-фільтри регенерують у дві стадії шляхом попередньої обробки сумішшю м'яких стоків Н- і ОН- фільтрів, а потім стехіометричною кількістю сірчаної кислоти. Після першої стадії регенерації одержують тверді стоки, а після другої - м'які (що містять солі натрія) стоки, котрі змішують з нейтральною частиною стічних вод ОН-фільтрів і використовують для попередньої обробки Н-фільтра в наступній операції його регенерації.

Згідно відомому способу [3] на Н- і ОН- фільтрах обробляють воду в якій відсутня постійна твердість (є тільки тимчасова твердість), що дозволяє одержувати як обезсолену, так і пом'якшену воду з використанням одних і тих же Н-фільтрів при стехіометричних витратах сірчаної кислоти на регенерацію останніх.

В описі відомого способу [3] відсутні дані про якість обезсоленої води що одержується, лужність пом'якшеної води, робочу ємкість катіоніта, а також про ефективність використання способу в разі обробки на Н- і ОН- фільтрах води з постійною твердістю. Для визначення показників якості обезсоленої і пом'якшеної води, робочої ємкості катіоніта нами була реалізована відома технологія підготовки води [3]. Знайдено, що при обезсоленні і пом'якшенні вихідної води, тільки з тимчасовою твердістю складу, мг-кв/дм³ твердість - 0,8, лужність - 0,8, аніони сильних кислот - 2, іони натрія - 2 (таблиця, приклад 5) згідно відомому способу [3] вміст іонів натрія в обезсоленій воді складає 0,32мг-екв/дм³. Лужність пом'якшеної води на протязі фільтроциклу нестабільна, а в повному об'ємі пом'якшеної за фільтроцикл води значення лужності незначно відрізняється від того ж показника вихідної води. Так, як показали наші дослідження, перша порція води, пом'якшена згідно відомому способу, має кислотність 0,5мг-екв/дм³. При пода-

льшому пом'якшенні лужність води до і після Н-фільтра вирівнюється і складає 0,8мг-екв/дм³. В повному об'ємі пом'якшеної води значення лужності складає 0,74мг-екв/дм³. Робоча ємкість катіоніта складає 680мг-екв/дм³ (таблиця, приклад 5). Аналогічні результати одержані при підготовці згідно відомому способу [3] води як з тимчасовою, так і постійною твердістю (таблиця, приклади 7,9).

У відомому способі [3] стехіометричні витрати сірчаної кислоти на регенерацію Н-фільтрів (1екв/екв поглинутих іонів) досягаються шляхом регенерації катіоніта сірчаною кислотою з натрієвої форми, в яку катіоніт переводиться шляхом попередньої обробки м'якими стоками. Такий прийом, як відомо, дозволяє при стехіометричних витратах сірчаної кислоти десорбувати з катіоніта не більше 700 мг-екв/дм³ іонів натрія, що відповідає переводу катіоніта в Н-форму на $(700 / 1700) \cdot 100 = 41\%$ /Г К Фейзіев. Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды - М Энергоатомиздат, 1988 (рис 5 1 а, - 100с) / [4]. Такому значенню коефіцієнта ефективності регенерації відповідають концентрації іонів натрія в Н-іонованій, і відповідно, в обезсоленій воді що дорівнюють 1,4, 2,8, 5,6мг-екв/дм³ при вмісті аніонів сильних кислот у вихідній воді відповідно 2,5, 5 і 10мг-екв/дм³ [4, таблиця 5 2], що узгоджується з нашими даними про низьку якість обезсоленої за способом [3] води внаслідок високого вмісту іонів натрію.

Таким чином, недоліками відомого способу [3] являються низька якість обезсоленої і пом'якшеної води, що зумовлено значним вмістом іонів натрію в обезсоленій воді, нестабільним значенням лужності пом'якшеної на Н-фільтрах води (в тому числі і присутністю сильних кислот в частині пом'якшеної води) при близькості середнього значення цього показника до такого ж для вихідної води, а також низька робоча ємкість катіоніту.

З вищевикладеного витікає, що проблема покращення якості води, яка використовується як теплоносії, за рахунок зниження вмісту іонів натрію в обезсоленій воді, стабілізації і зниження значення лужності пом'якшеної води, збільшення робочої ємкості катіоніта при стехіометричних витратах кислоти на регенерацію катіоніта актуальна і важлива.

Дійсно, наприклад, вміст іонів натрія в обезсоленій воді, призначеній для підживлення котлів тиском 13,8МПа не повинен перевищувати 100мкг/дм³ (0,0043мг-екв/дм³) /Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей - М Энергоатомиздат, 1989 - 152с / [5]. Для котлів тиском 3,9МПа з барабанами, що мають заклепки сполучення, відносна лужність пом'якшеної води не повинна перевищувати 20%, а присутність сильних кислот у пом'якшеній воді неприпустима [5, С 149]. При одержанні пом'якшеної води згідно відомому способу відносна лужність складає 24-27%, а частка пом'якшеної води характеризується кислотністю 0,5 - 0,7мг-екв/дм³ (таблиця, приклади 5,7,9).

В основу винаходу покладена задача розробити такий спосіб підготовки води, який забезпечив би внаслідок використання комплексу іонообмінних матеріалів і технологічних операцій досягнен-

ня технічного результату - підвищення якості обезсоленої води (за рахунок зменшення вмісту іонів натрію) і глибоко пом'якшеної води (за рахунок стабілізації і зниження значення її лужності, виключення можливості одержання кислої води), збільшення робочої ємкості катіоніта при стехіометричних питомих витратах кислоти

Для вирішення поставленого завдання пропонується спосіб підготовки води, що включає обезсолення вихідної води на Н- і ОН- фільтрах, пом'якшення вихідної води на виснажених при обезсоленні Н-фільтрах, регенерацію ОН-фільтрів лугом, обробку відпрацьованих Н-фільтрів відпрацьованим регенераційним розчином ОН-фільтрів і їх регенерацію кислотою, в якому, згідно з винаходом, в якості заправки Н-фільтрів використовують карбоксильний катіоніт і сульфокатіоніт і обезсолення здійснюють послідовним пропусканням вихідної води через карбоксильний катіоніт і сульфокатіоніт, пом'якшення здійснюють послідовним або паралельним пропусканням води через карбоксильний катіоніт і сульфокатіоніт, виснажені при обезсоленні води і додатково оброблені відпрацьованим регенераційним розчином ОН-фільтрів пропусканням останнього через указані катіоніти улюбій послідовності, а регенерації піддають Н-фільтри, відпрацьовані при пом'якшенні, пропусканням кислоти послідовно через сульфокатіоніт і карбоксильний катіоніт, при цьому при регенерації Н-фільтрів кислотою карбоксильний катіоніт попередньо обробляють відпрацьованим регенераційним розчином Н-фільтрів попередньої операції регенерації

Нами встановлено, що послідовне фільтрування води через карбоксильний, а потім сульфокатіоніт на стадії обезсолення, обробка катіонітів влюбій послідовності відпрацьованим регенераційним розчином ОН-фільтрів перед пом'якшенням води, пом'якшення води послідовним або паралельним пропусканням через карбоксильний і сульфокатіоніт, а також регенерація Н-фільтрів, відпрацьованих при пом'якшенні води, кислотою шляхом послідовного пропускання через сульфокатіоніт і карбоксильний катіоніт забезпечують одержання обезсоленої води з низьким ($0,004 \text{ мг-екв/дм}^3$) вмістом іонів натрію, і глибоко пом'якшеної води (твердість $0,01 \text{ мг-екв/дм}^3$) зі стабільним на протязі фільтроцикла значенням лужності ($0,25 \pm 0,2 \text{ мг-екв/дм}^3$), відповідній нормативам [5] величиною відносно лужності пом'якшеної води (13 - 15%) при стехіометричних витратах кислоти на регенерацію катіонітів ($1,0 \pm 0,1 \text{ екв/екв}$), високий робочий ємкості катіонітів ($1150 - 1800 \text{ мг-екв/дм}^3$) (таблиця, приклади 1-3,6,8)

Додатковий позитивний ефект (підвищення робочої ємкості катіонітів в Н-фільтрі до 2210 мг-екв/дм^3) в запропонованому способі досягається за рахунок використання кислих відпрацьованих регенераційних розчинів Н-фільтрів попередньої операції регенерації для попередньої обробки карбоксильного катіоніта при регенерації Н-фільтра кислотою (таблиця, приклад 4)

Одержаний результат являється несподіваним, так як відомо, що на відміну від сульфокатіоніта карбоксильний іоніт при обезсоленні води здатний поглинати тільки частину катіонів,

зв'язаних з аніонами вуглекислоти, тоді як сульфокатіоніт може поглинати всі катіони (зв'язані як з аніонами сильних кислот, так і вуглекислоти) [1,2] Виходячи з цього неможливо було очікувати, що використання поряд з сульфокатіонітом на стадії обезсолення води карбоксильного іоніта може привести до зменшення вмісту іонів натрію в обезсоленій воді

Відомо, що лужність води, обробленої відрегенерованим при стехіометричних витратах сірчаної кислоти карбоксильним катіонітом, складає $0,7 - 1,5 \text{ мг-екв/дм}^3$, а її твердість - на $0,7 - 1,5 \text{ мг-екв/дм}^3$ перевищує постійну твердість вихідної води [1] Робоча ємкість карбоксильного катіоніта при стехіометричних витратах кислоти на регенерацію при пом'якшенні води складає $500 - 600 \text{ мг-екв/дм}^3$ [1] При обезсоленні води шляхом послідовного її фільтрування через карбоксильний, а потім сульфокатіоніт робоча ємкість катіонітів складає $508 - 615 \text{ мг-екв/дм}^3$ [2] Обробка карбоксильного катіоніта лужним розчином приводить до зниження твердості обробленої води, але супроводжується підвищенням рН, і відповідно, лужності пом'якшеної води //Патент №4083782 США МКИ С 02 В 1/76 Способ кондиционирования воды // R Kunin-Опубл 11 04 78/ [6] Тому, за рахунок використання на стадії пом'якшення води поряд з сульфокатіонітом карбоксильного іоніта при попередній обробці катіонітів лужними стічними водами ОН-фільтрів, неможливо було очікувати зменшення величини лужності води, обробленої за запропонованим способом у порівнянні з тим же показником для відомого способу [3] і підвищення робочої ємкості катіонітів (таблиця, приклади 1 - 9)

Таким чином, одержання обезсоленої води з низьким вмістом іонів натрію и глибоко пом'якшеної води зі стабільним і низьким значенням лужності при підвищенні робочої ємкості катіоніту при стехіометричних питомих витратах кислоти за запропонованим способом не являється наслідком використання відомих прийомів, а гарантується всією сукупністю суттєвих ознак

Таким чином, сукупність суттєвих ознак являється необхідною і достатньою для досягнення забезпечуваного винаходом технічного результату - підвищення якості обезсоленої води (за рахунок зменшення вмісту іонів натрію до $0,004 \text{ мг-екв/дм}^3$ (95 мкг/дм^3)) і глибоко пом'якшеної води (за рахунок стабілізації і зниження значення її лужності до $0,05 - 0,45 \text{ мг-екв/дм}^3$, виключення можливості одержання кислої води) при збільшенні робочої ємкості катіоніта до $1150 - 2210 \text{ мг-екв/дм}^3$ при стехіометричних питомих витратах кислоти ($1,0 \pm 0,1 \text{ екв/екв}$) на регенерацію катіонітів

Реалізацію способу ілюструє схема на кресленні (фіг)

Вихідну воду (в якості вихідної води може використовуватись як вода тільки з тимчасовою твердістю (таблиця, приклади 1-4), так і вода з постійною твердістю (таблиця, приклад 6) або вода різного складу для одержання обезсоленої і пом'якшеної води (таблиця, приклад 8)) послідовно фільтрують через карбоксильний катіоніт, сульфокатіоніт і аніоніт, завантажені відповідно у іонообмінні апарати 1,2,3 В результаті одержують

обезсолену воду з вмістом натрія на рівні потрібних показників (у прикладах конкретного виконання - не більше $0,004\text{мг-екв/дм}^3$, що еквівалентно 4мкг-екв/дм^3). Після досягнення заданої гранично допустимої концентрації іонів натрію в обезсоленій воді аніоні в апараті 3 регенерують розчином луку (гідроксиду натрію) з метою десорбції аніонів. Залишки луку з аніоніта відмивають обезсоленою водою. В результаті одержують відпрацьований регенераційний розчин ОН-фільтра (потік А), який пропускають через Н-фільтр. Пропускання відпрацьованого регенераційного розчину ОН-фільтра може здійснюватись спочатку через карбоксильний катіоніт, а потім через сульфокатіоніт (таблиця, приклади 1,2,4,6,8) або навпаки - спочатку через сульфокатіоніт, а потім через карбоксильний катіоніт (таблиця, приклад 3). Після пропускання відпрацьованого регенераційного розчину ОН-фільтра катіоніти відмивають водою. Потім вихідну воду пропускають через катіоніти з метою одержання пом'якшеної води.

Пропускання вихідної води може здійснюватись послідовно спочатку через карбоксильний, а потім - сульфокатіоніт з одержанням пом'якшеної води або шляхом розділення вихідної води на два потоки, один з яких (потік В) пропускають через карбоксильний катіоніт, а другий (потік С) - через сульфокатіоніт паралельно з послідовним поєднанням і одержанням пом'якшеної води. У першому випадку одержують пом'якшену воду з більш значними відхиленнями лужності від середнього значення (таблиця, приклад 1). У другому - лужність пом'якшеної води більш стабільна (таблиця, приклади 2-4,6,8).

В результаті одержують пом'якшену воду з якістю на рівні потрібних показників (у прикладі 1 твердість - не більше $0,01\text{мг-екв/дм}^3$, лужність - $0,05 - 0,45\text{мг-екв/дм}^3$, у прикладах 2-4,6,8 твердість - не більше $0,01\text{мг-екв/дм}^3$, лужність - $0,25 - 0,45\text{мг-екв/дм}^3$).

Після досягнення в пом'якшеній воді величини гранично допустимої твердості катіоніти регенерують розчином кислоти. Для цього розчин кислоти пропускають спочатку через сульфокатіоніт, а потім через карбоксильний катіоніт (через апарат 2, а потім 1). Додаткове підвищення робочої ємкості катіонітів в Н-фільтрі при стехіометричних витратах кислоти на їх регенерацію досягається за рахунок попередньої обробки карбоксильного катіоніта кислим відпрацьованим регенераційним розчином Н-фільтра попередньої операції регенерації (таблиця, приклад 4). Для цього через карбоксильний катіоніт пропускають відпрацьований регенераційний розчин Н-фільтра попередньої операції регенерації (потік D), а потім катіоніти регенерують кислотою в описаному вище порядку. Кислий відпрацьований розчин збирають у ємкості 4 і використовують для попередньої обробки карбоксильного катіоніта при наступній регенерації Н-фільтра кислотою. Після пропускання розчину кислоти катіоніти в тій же послідовності відмивають обезсоленою водою. Відрегеновані іоніти використовують в наступному циклі обезсолення і пом'якшення води.

Твердість і лужність води визначають за загальноприйнятими методиками /Справочник химика-

энергетика. Под общей редакцией С.М. Гурвича - М. Энергия - 1972 г. т.1 - С.391-397 / - [7], а вміст іонів натрія - за допомогою пламеневого фотометра.

Приклади реалізації запропонованого способу
Приклад 1

Вихідну воду складу, мг-екв/дм^3 твердість - 0,8, лужність - 0,8, аніони сильних кислот - 2, натрій - 2 послідовно пропускають через три колонки (Н- і ОН-фільтри), відрегеновані після попереднього циклу підготовки води. Колонки містять перша (колонка 1) - 60см^3 карбоксильного катіоніта Lewatit CNP 80, друга (колонка 2) - 50см^3 сульфокатіоніта КУ 2-8, третя (колонка 3) - 47см^3 аніоніта АН-31. В обезсоленій воді вимірюють вміст іонів натрія. При досягненні гранично допустимої величини концентрації іонів натрія ($0,004\text{мг-екв/дм}^3$, що еквівалентно 4мкг-екв/дм^3) обезсолену воду припиняють. В результаті одержано $18,8\text{дм}^3$ обезсоленої води з вмістом іонів натрія $0,004\text{мг-екв/дм}^3$ (4мкг-екв/дм^3). Потім ОН-фільтр (колонку 3) регенерують розчиненими в $0,1\text{дм}^3$ обезсоленої води 75мг-екв гідроксиду натрію (ГОСТ 4328-77) і відмивають 1дм^3 обезсоленої води. Загальні витрати обезсоленої води на регенерацію аніоніта склали $1,1\text{дм}^3$. Одержаний відпрацьований регенераційний розчин об'ємом $1,1\text{дм}^3$ (потік А) послідовно пропускають через колонки 1 і 2. Потім колонки 1 і 2 в тому ж порядку відмивають 1дм^3 вихідної води.

Через оброблені відпрацьованим регенераційним розчином ОН-фільтра і відмиті вихідною водою катіоніти пропускають вихідну воду з метою одержання пом'якшеної води. Для цього вихідну воду послідовно пропускають через колонку 1, а потім через колонку 2. В пом'якшеній воді контролюють величини лужності і твердості. Пропускання води через колонки 1 і 2 завершують при досягненні заданого гранично допустимого значення твердості фільтрата ($0,01\text{мг-екв/дм}^3$). За фільтроцикл одержано 200дм^3 пом'якшеної води з наступними показниками: твердість - $0,01\text{мг-екв/дм}^3$, лужність - $0,3\text{мг-екв/дм}^3$. Відносна лужність пом'якшеної води дорівнює $[0,37(0,3+2)] \cdot 100 = 13\%$. Вимірювання лужності пом'якшеної води на протязі фільтроцикла показали, що її величина складала $0,05 - 0,45\text{мг-екв/дм}^3$.

Н-фільтр регенерують шляхом пропускання розчину, який містить 188мг-екв сірчаної кислоти (ГОСТ 4207-77) спочатку через колонку 2 з сульфокатіонітом, а потім через колонку 1 з карбоксильним іонітом. Після пропускання розчину кислоти катіоніти в тій же послідовності відмивають обезсоленою водою. На приготування розчину сірчаної кислоти і відмивку катіонітів витрачено $1,6\text{дм}^3$ обезсоленої води. Відрегеновані Н- і ОН-фільтри використовують для підготовки води в наступному циклі ідентично описаному прикладу.

В результаті за робочий цикл одержано (включаючи витрати на регенерацію Н- і ОН-фільтрів) обезсоленої води - $16,1\text{дм}^3$, пом'якшеної води - 200дм^3 , всього - $216,1\text{дм}^3$. Відношення об'єму виробленої води до об'єму іонітів складає $216,1 / (0,05 + 0,06 + 0,047) = 1380$. Витрати сірчаної кислоти на видалення 1 екв іонів твердості складають $188 / [(0,8 - 0,01) \cdot 216,1] = 1,1$, тобто в межах похибки визначення відповідають стехіометрич-

ним Робоча ємкість катіонітів по іонах твердості в Н-фільтрі дорівнює $(0,8-0,01) \cdot 216,1 / (0,06 + 0,05) = 1550 \text{ мг-екв/дм}^3$ загрузки Н-фільтра (колонок 1 і 2) (таблиця, приклад 1)

Ідентично описаному вище прикладу проведення наступний цикл підготовки води. В результаті одержані наступні показники запропонованого способу Одержано води, дм^3 обезсоленої - 162, пом'якшеної - 199 дм^3 . Всього - 215,2 дм^3 . Відношення об'єму виробленої води до об'єму іонітів складає $215,2 / (0,05 + 0,06 + 0,047) = 1370$. Вміст натрія в обезсоленій воді - 0,004 мг-екв/дм^3 (4 мг-екв/дм^3). Показники пом'якшеної води твердості - 0,01 мг-екв/дм^3 , лужність - 0,32 мг-екв/дм^3 . Лужність пом'якшеної води на протязі фільтроцикла знаходилась в межах 0,05 - 0,4 мг-екв/дм^3 . Відносна лужність пом'якшеної води дорівнює $[0,32 / (0,32 + 2)] \cdot 100 = 14\%$. Витрати сірчаної кислоти на видалення 1 екв іонів твердості склали $188 / [(0,8-0,01) \cdot 215,2] = 1,1$ тобто в межах похибки визначення відповідають стехіометричним. Робоча ємкість катіонітів по іонах твердості в Н-фільтрі дорівнює $(0,8-0,01) \cdot 215,2 / (0,06 + 0,05) = 1545 \text{ мг-екв/дм}^3$.

Приклад 2

Обробку тієї ж вихідної води та іонітів здійснюють ідентично прикладу 1 за винятком етапу одержання пом'якшеної води. Для одержання пом'якшеної води вихідну воду поділяють на два потоки. В і С. Потік В пропускають через колонку 1 з карбоксильним катіонітом, а потік С - через колонку 2 з сульфокатіонітом після чого потоки В і С змішують і одержують пом'якшену воду. В пом'якшеній воді в кожному з потоків В і С контролюють твердість, а в суміші потоків В і С - лужність. Пропускання води через колонки 1 і 2 припиняють при досягненні твердістю фільтрата в кожному з потоків заданого гранично допустимого значення (0,01 мг-екв/дм^3). За фільтроцикл одержано 199 дм^3 пом'якшеної води з наступними показниками твердості - 0,01 мг-екв/дм^3 , лужність - 0,31 мг-екв/дм^3 . Вимірювання лужності пом'якшеної води в межах фільтроцикла показали, що її величина становить 0,25 - 0,45 мг-екв/дм^3 .

В результаті за робочий цикл одержано (включаючи витрати на регенерацію Н- і ОН-фільтрів) обезсоленої води - 15,7 дм^3 , пом'якшеної води - 199 дм^3 , всього - 214,7 дм^3 . Вміст іонів натрія в обезсоленій воді дорівнює 4 мг-екв/дм^3 . Твердість пом'якшеної води дорівнює 0,01 мг-екв/дм^3 . Відношення об'єму виробленої води до об'єму іонітів складає $214,7 / (0,05 + 0,06 + 0,047) = 1370$. Відносна лужність пом'якшеної води дорівнює $[0,31 / (0,31 + 2)] \cdot 100 = 13\%$. Витрачено 188 мг-екв сірчаної кислоти. Витрати сірчаної кислоти на видалення 1 екв іонів твердості складають $188 / [(0,8-0,01) \cdot 214,7] = 1,1$ тобто в межах похибки визначення відповідають стехіометричним. Робоча ємкість катіонітів по іонах твердості в Н-фільтрі дорівнює $(0,8-0,01) \cdot 214,7 / (0,06 + 0,05) = 1540 \text{ мг-екв/дм}^3$ загрузки Н-фільтра (колонок 1 і 2) (таблиця, приклад 2).

Приклад 3

Обробку тієї ж вихідної води та іонітів здійснюють ідентично прикладу 2 за винятком етапу обробки виснажених при обезсоленні води катіоні-

тів відпрацьованим регенераційним розчином ОН-фільтра. Відпрацьований регенераційний розчин ОН-фільтра об'ємом 1,1 дм^3 послідовно пропускають через колонки 2 (завантажена сульфокатіонітом) і 1 (завантажена карбоксильним катіонітом). Потім колонки 2 і 1 у тому ж порядку відмивають 1 дм^3 вихідної води.

В результаті за робочий цикл одержано (включаючи витрати на регенерацію Н- і ОН-фільтрів) обезсоленої води - 15,7 дм^3 , пом'якшеної води - 234 дм^3 , всього - 249,7 дм^3 . Вміст іонів натрія в обезсоленій воді дорівнює 4 мг-екв/дм^3 . Твердість пом'якшеної води дорівнює 0,01 мг-екв/дм^3 . Лужність пом'якшеної води дорівнює 0,38 мг-екв/дм^3 . Вимірювання лужності пом'якшеної води в межах фільтроцикла показали, що її величина складала 0,25 - 0,43 мг-екв/дм^3 . Відносна лужність пом'якшеної води дорівнює $[0,38 / (0,38 + 2)] \cdot 100 = 15\%$. Відношення об'єму виробленої води до об'єму іонітів складає $249,7 / (0,05 + 0,06 + 0,047) = 1600$. Витрачено 188 мг-екв сірчаної кислоти. Витрати сірчаної кислоти на видалення 1 екв іонів твердості складають $188 / [(0,8-0,01) \cdot 249,7] = 1,0$, тобто відповідають стехіометричним. Робоча ємкість катіонітів по іонах твердості в Н-фільтрі дорівнює $(0,8-0,01) \cdot 214,7 / (0,06 + 0,05) = 1800 \text{ мг-екв/дм}^3$ загрузки Н-фільтра (колонок 1 і 2) (таблиця, приклад 3).

Приклад 4

Обробку тієї ж вихідної води та іонітів здійснюють ідентично прикладу 2 за винятком етапу регенерації відпрацьованих при пом'якшенні води катіонітів кислотою. Після завершення одержання пом'якшеної води карбоксильний катіоніт у колонці 1 обробляють 1,6 дм^3 відпрацьованого регенераційного розчину попередньої регенерації Н-фільтра, що містить 121 мг-екв сірчаної кислоти. Потім Н-фільтр регенерують шляхом пропускання розчину, який містить 238 мг-екв сірчаної кислоти (ГОСТ 4207-77), спочатку через колонку 2 з сульфокатіонітом, а потім через колонку 1 з карбоксильним іонітом. Після пропускання розчину кислоти катіоніти в тій же послідовності відмивають обезсоленою водою. В результаті одержують 1,6 дм^3 відпрацьованого розчину, що містить 120 мг-екв сірчаної кислоти, який використовують для обробки карбоксильного катіоніта в наступній операції регенерації Н-фільтра кислотою. На приготування розчину сірчаної кислоти і відмивку катіонітів витрачено 1,6 дм^3 обезсоленої води. Відрегенеровані Н- і ОН-фільтри використовують для підготовки води в наступному циклі ідентично описаному прикладу.

В результаті за робочий цикл одержано (включаючи витрати на регенерацію Н- і ОН-фільтрів) обезсоленої води - 15,3 дм^3 , пом'якшеної води - 293 дм^3 , всього - 308,3 дм^3 . Вміст іонів натрія в обезсоленій воді дорівнює 4 мг-екв/дм^3 . Твердість пом'якшеної води дорівнює 0,01 мг-екв/дм^3 . Лужність пом'якшеної води дорівнює 0,29 мг-екв/дм^3 . Вимірювання лужності пом'якшеної води в межах фільтроцикла показало, що її величина складала 0,20 - 0,35 мг-екв/дм^3 . Відносна лужність пом'якшеної води дорівнює $[0,29 / (0,29 + 2)] \cdot 100 = 13\%$. Відношення об'єму виробленої води до об'єму іонітів складає $308,3 / (0,05 + 0,06 + 0,047) =$

1960 Витрачено 239мг-екв сірчаної кислоти. Витрати сірчаної кислоти на видалення 1екв іонів твердості складають $239/[(0,8-0,01) * 308,3] = 1,0$ тобто відповідають стехіометричним. Робоча ємкість катіонітів по іонах твердості в Н-фільтрі дорівнює $(0,8-0,01) * 308,3/(0,06 + 0,05) = 2210\text{мг-екв/дм}^3$ загрузки Н-фільтра (колонок 1 і 2) (таблиця, приклад 4)

При підготовці тієї ж вихідної води згідно відомому способу [3] одержані наступні результати. Одержано води, дм^3 обезсоленої - 12,9, пом'якшеної - 30. Всього - 41,9 дм^3 . Відношення об'єму виробленої води до об'єму іонітів складає $42,9/(0,05+0,03) = 535$. Вміст іонів натрія в обезсоленій воді - 0,32мг-екв/дм³. Показники якості пом'якшеної води: твердість - 0,01мг-екв/дм³, лужність - 0,74мг-екв/дм³, причому на початку фільтроцикла одержана пом'якшена вода з кислотністю 0,5мг-екв/дм³. Наприкінці фільтроцикла лужність пом'якшеної води склала 0,8мг-екв/дм³. Відносна лужність пом'якшеної води дорівнює $[0,74/(0,74+2)] * 100 = 27\%$

Витрачено, мг-екв сірчаної кислоти - 35. Витрати сірчаної кислоти на видалення 1екв іонів твердості складають $35/[(0,8-0,01) * 42,9] = 1,0$. Робоча ємкість катіонітів по іонах твердості в Н-фільтрі дорівнює $(0,8-0,01) * 42,9/0,05 = 680\text{мг-екв/дм}^3$ (таблиця, приклад 5)

З метою виявлення порівняльної ефективності використання запропонованого і відомого [3] способів для одержання обезсоленої і пом'якшеної води з вихідної води з постійною твердістю (скла-

ду, мг-екв/дм³ твердість - 1,8, лужність - 0,8, аніони сильних кислот - 2, іони натрія - 1) проведені дослідні ідентичні описаним вище прикладам. Результати наведені в таблиці (приклади 6-9)

Переваги запропонованого способу у порівнянні з відомим [3] підтверджуються прикладами їх реалізації (таблиця, приклади 1 - 9). Використання запропонованого способу дозволяє покращити якість як знесоленої води, так і пом'якшеної води: обезсоленої - за рахунок зменшення вмісту іонів натрія з 320 до 4мкг-екв/дм³ (у 80 разів), пом'якшеної - за рахунок стабілізації її лужності (в тому числі за рахунок виключення можливості одержання кислоти пом'якшеної води) і зниження цього показника для всього об'єму пом'якшеної води від 0,62 - 0,74 до 0,29 - 0,36мг-екв/дм³ в результаті чого пом'якшена вода приводиться у відповідність з вимогами [5] до води, призначеної для використання як для підживлення тепломереж так і парових котлів низького тиску. При цьому досягається глибоке пом'якшення води (залишкова твердість 0,01мг-екв/дм³) і стехіометричні витрати сірчаної кислоти на регенерацію Н-фільтра $(1,0 \pm 0,1\text{екв/екв поглинутих іонів твердості})$

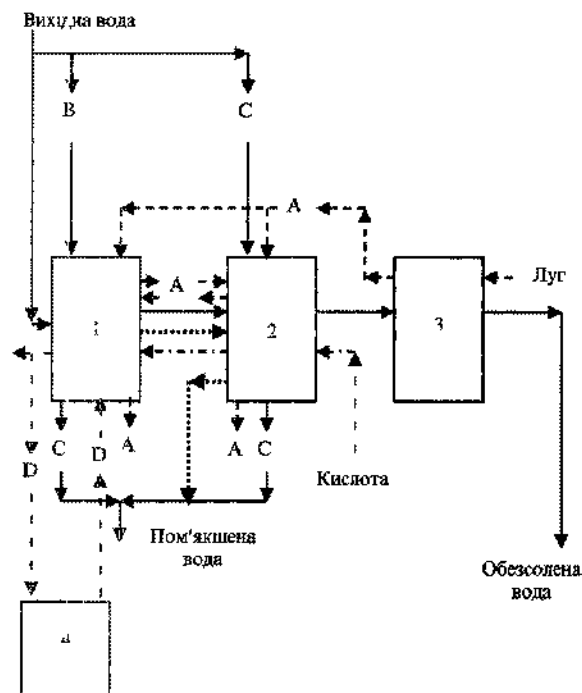
Необхідно відзначити, що застосування запропонованого способу забезпечує значне підвищення робочої ємкості загрузки Н-фільтра по іонах твердості від 650 - 680 до 1150 - 2210мг-екв/дм³ (у 1,7 - 3,3 рази). Це приводить до підвищення сумарної виробки обезсоленої і пом'якшеної води одиницею об'єму іонітів у 1,4 - 3,7 рази

Таблиця

Характеристики	Спосіб одержання обезсоленої і пом'якшеної води (№ приклада)								
	Запропонований				[3]	Запропонований	[3]	Запропонований	[3]
	По прикладу 1	По прикладу 2	По прикладу 3	По прикладу 4		По прикладу 2		По прикладу 2	
	1	2	3	4		6		8	
Вихідна вода при обезсоленні									
Твердість, мг-екв/дм ³	0 8	0 8	0 8	0 8	0 8	1 8	1 8	0 8	0 8
Лужність, мг-екв/дм ³	0 8	0 8	0 8	0 8	0 8	0 8	0 8	0 8	0 8
Аніони сильних кислот, мг-екв/дм ³	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Натрій, мг-екв/дм ³	2	2	2	2	2	1	1	2	2
Вихідна вода при пом'якшенні									
Твердість, мг-екв/дм ³	0 8	0 8	0 8	0 8	0 8	1 8	1 8	1 8	1 8
Лужність, мг-екв/дм ³	0 8	0 8	0 8	0 8	0 8	0 8	0 8	0 8	0 8
Аніони сильних кислот, мг-екв/дм ³	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Об'єми, см ³									
карбоксильного катіоніта	60	60	60	60		30		21	
сульфокатіоніта	50	50	50	50	50	50	50	50	50
аніоніта	47	47	47	47	30	47	30	47	30
Обезсолена вода									
Об'єм, дм ³	16 1	15 7	15 7	15 3	12 9	16 6	12 8	16 8	12 8
Натрій, мкг-екв/дм ³	4	4	4	4	320	4	320	4	320
Пом'якшена вода									
Об'єм, дм ³	200	199	234	293	30	50	5	38	13
Твердість, мг-екв/дм ³	0 01	0 01	0 01	0 01	0 01	0 01	0 01	0 01	0 01
Лужність, мг-екв/дм ³	0 30	0 31	0 36	0 29	0 74	0 34	0 62	0 33	0 68

Характеристики	Спосіб одержання обезсоленої і пом'якшеної води (№ прикладу)								
	Запропонований				[3]	Запропонований	[3]	Запропонований	[3]
	По прикладу 1	По прикладу 2	По прикладу 3	По прикладу 4		По прикладу 2		По прикладу 2	
	1	2	3	4		6	7	8	9
Відносна лужність, %	13	13	15	13	27	15	24	14	25
Границі зміни лужності впродовж фільтроцикла, мг-екв/дм ³	0 05-0 45	0 25-0 45	0 25-0 43	0 20-0 35	0 5*-0 8	0 28-0 42	0 7*-0 8	0 28-0 40	0 7*-0 8
Робоча ємкість катіоніта, мг-екв/дм ³	1550	1540	1800	2210	680	1495	650	1150	680
Питомі витрати сірчаної кислоти на видалення з води 1екв іонів твердості, екв/екв	1 1	1 1	1 0	1 0	1 0	0 9	1 1	1 1	1 0
Відношення об'єму виробленої води до об'єму іонітів	1380	1370	1600	1960	535	527	227	466	326
Кратність підвищення відношення об'єму виробленої води до об'єму іонітів у запропонованому способі у порівнянні з відомим	2 5	2 5	3 0	3 7		2 3		1 4	

*Примітка в таблиці зірочкою відмічені значення кислотності пом'якшеної води



Фіг.