



УКРАЇНА

(19) UA (11) 37156 (13) U

(51) МПК (2006)

B01D 39/00

B01J 39/00

C02F 1/42

B01J 49/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ГЛИБОКОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД СОЛЕЙ ТВЕРДОСТІ

1

2

(21) u200803274

(22) 14.03.2008

(24) 25.11.2008

(46) 25.11.2008, Бюл.№ 22, 2008 р.

(72) МІТЧЕНКО ТЕТЯНА ЄВГЕНІВНА, UA,  
МІТЧЕНКО АНДРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, UA,  
КОЗЛОВ ПАВЛО В'ЯЧЕСЛАВОВИЧ, UA, СТЕНДЕР  
ПАВЛО ВАДИМОВИЧ, UA

(73) МІТЧЕНКО ТЕТЯНА ЄВГЕНІВНА, UA

(57) 1. Спосіб глибокого очищення води від солей твердості, який включає пропускання потоку води, яку очищають, зверху донизу крізь фільтрувальне завантаження, розпушення навантаження, ежекційне змішування води з насиченим розчином солі з одержанням регенераційного розчину, протитечійну регенерацію завантаження приготуванням регенераційним розчином і його промивання, який **відрізняється** тим, що процес очищення здійснюють при використанні фільтрувального завантаження, яке містить сульфокислотний стиролдивинілбензолний катіоніт, розміщений між шарами інертних матеріалів, з вмістом дивинілбензолу в кількості, що дорівнює 6,0-7,2%мас., ефективним розміром гранул  $0,55 \pm 0,1$ мм, коефіцієнтом однорідності не більше 1,3, вмістом вологи 50-60% мас. і питомим об'ємом  $2,5-2,9$ см<sup>3</sup>/г, причому як інертний матеріал, розміщений перед шаром катіоніту в напрямку переміщення води, яку очищають, використовують гранульований матеріал, вибраний з поліетилену, поліпропілену, полістиролу з розміром гранул 3,0-5,0мм і густиною не більше  $1,0$ г/см<sup>3</sup>, а як інертний матеріал, розміщений після шару катіоніту в напрямку переміщення води, яку очищають, використовують матеріал на основі кремнезему з густиною  $1,6-4,0$ г/см<sup>3</sup>, з ефективним розміром зерна 2,0-4,0мм, і коефіцієнтом однорідності 1,3-1,7, при цьому фільтрувальне завантаження містить згадані матеріали в наступному співвідношенні: шар катіоніт

катіоніт 4-6

катіоніт 82-88

інертний матеріал, розміщений після

катіоніту 8-12.

2. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що воду, яку очищають, пропускають зверху донизу крізь фільтрувальне завантаження з лінійною швидкістю 30-50м/год., регенераційний розчин подають знизу догори крізь фільтрувальне завантаження зі швидкістю 2-3м/год., а промивання фільтрувального завантаження здійснюють у два етапи, спочатку подають воду знизу догори зі швидкістю 2-3м/год., і потім зверху донизу зі швидкістю 30-50м/год.

3. Спосіб за будь-яким з пп.1, 2, який **відрізняється** тим, що регенерацію здійснюють водяним розчином, який містить солі натрію і/або калію, або амонію, які вибрані з хлоридів, нітратів, ацетатів або цитратів, при їх концентрації 5-8мас. %, при цьому регенераційний розчин готують на воді з вмістом солей твердості не більше 5мг-екв./л.

4. Спосіб за будь-яким з пп.1, 2, який **відрізняється** тим, що розпушення й промивання завантаження здійснюють вихідною водою, яку очищають, при концентрації іонів твердості в ній, що не перевищує 5мг-екв./л.

5. Спосіб за будь-яким з пп.1, 2, який **відрізняється** тим, що розпушення й промивання завантаження здійснюють пом'якшеною водою, якщо концентрація іонів твердості у вихідній воді перевищує 5мг-екв./л.

6. Спосіб за будь-яким з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що фільтрувальне завантаження розміщують в вертикальному фільтрувальному апараті з розташованою по його осі центральною трубою, яка має нижній й верхній дренажні пристрої, таким чином, що нижній дренажний пристрій центральної труби занурюють у шар нижнього інертного матеріалу на 1/12-1/15 від загальної довжини центральної труби, а над шаром верхнього інертного матеріалу залишають вільний простір, який становить 10-40% від об'єму фільтрувального завантаження, при цьому керування апарата здійснюють керуючим клапаном, який забезпечує автоматичне перемикавання потоків рідини і з'єднаний з мікропроцесором.

7. Спосіб за п.6, який **відрізняється** тим, що в фільтрувальному апараті застосовують від двох до чотирьох паралельно з'єднаних між собою фі-

(13) U

(11) 37156

(19) UA

льтрів і відповідну їм кількість баків-солерозчинювачів, при цьому кожний фільтр з'єднують з одним баком-солерозчинювачем за допомогою гнучкого трубопроводу.

8. Спосіб за п.6, який **відрізняється** тим, що на підвідному і відвідному трубопроводах встановлюють електромагнітні клапани.

9. Спосіб за п.6, який **відрізняється** тим, що керуючий клапан встановлюють у верхній частині апарата і виконують з можливістю перемикання потоків рідини зверху-донизу і знизу-доверху по центральній трубі, ежекційного змішування потоків сольового розчину з бака-солерозчинювача з вихідною або пом'якшеною водою і зливу стоків у каналізаційний колектор.

Запропонована корисна модель відноситься до області очищення води, переважно, від солей твердості, з використанням методу іонного обміну з протитечійною регенерацією іонітів.

Одним з найпоширеніших методів зниження твердості води для промислового, господарського й побутового водопостачання є іонний обмін. При цьому вибір іонітів, одержання нових іонообмінних матеріалів, а також розробка пристроїв і способів для здійснення іонного обміну є основними завданнями, рішення яких приводить до підвищення ефективності підготовки води.

Відомий спосіб безперервного іонообмінного очищення води в установці, яка має контур з послідовно з'єднаних між собою іонітних фільтрів і з'єднувальних магістралей, шляхом розпушення загрузки, зм'якшення води, промивання фільтра і регенерації загрузки розчином хлориду натрію, при цьому для зменшення кількості перемикань запірно-регулюючої арматури подачу в кожний фільтр води на стадію розпушення іоніту здійснюють зі входу, наступного в контурі фільтра, після розпушення воду відводять з входу фільтра на вихід попереднього фільтра по магістралі, яка з'єднує їх, а далі направляють у зливну магістраль [SU 1433902A1, 30.10.1988].

Однак відомий спосіб не забезпечує високого ступеня очищення води від солей твердості.

Відомий спосіб очищення води з використанням протитечійної регенерації, в установці, яка має фільтр, по осі якого встановлена циліндрична перегородка, яка ділить об'єм фільтра на периферійну й центральну камери, заповнені іонітом на висоту згаданої перегородки, при цьому у фільтрі утворений основний шар іоніту, допоміжний шар іоніту, шар інертного матеріалу із гранулометричним складом не менш 1,5мм і густиною менш  $1\text{г/см}^3$ , і вільний простір між шаром іоніту й шаром інертного матеріалу. Відповідно до відомого способу подачу води здійснюють двома потоками, один з яких направляють знизу догори в допоміжний шар іоніту, а другий потік направляють зверху донизу в основний шар іоніту, при цьому регенерацію здійснюють протитечійною із затисненням основного шару іоніту [RU 2121873C1 20.11.1998].

Однак відоме технічне рішення має наступні недоліки: неефективність застосування способу в установках малої продуктивності, необхідність застосування додаткового насосного устаткування

для підтиснення шару, що приводить до збільшення капітальних витрат.

Відомий спосіб, в якому фільтрувальне завантаження для комплексного очищення води, у тому числі для її зм'якшення, містить шар сильноокислотного катіоніту, два шари низькоосновного аніоніту, один з яких імпрегнований гумусовими речовинами, а також нижній і верхній шари інертних матеріалів, кожний з використовуваних матеріалів характеризується певною густиною, а шари складені в певній послідовності відповідно проходження потоку води, яку очищають. Фільтрувальне завантаження розміщено у вертикальний циліндричний корпус з трубою для подачі води й регенераційного розчину, яка встановлена по осі і має нижній і верхній дренажні пристрої. Цей спосіб очищення передбачає подачу води, яку очищують, зверху донизу крізь запропоновану загрузку з наступною протитечійною регенерацією загрузки [RU 29672, U1, 27.05.2003].

Недоліками відомого технічного рішення є неможливість досягнення необхідного ступеню зм'якшення води й висока витрата регенераційної речовини.

Відомі способи іонообмінного зм'якшення води з протитечійною регенерацією передбачають застосування фільтрів, заповнених іонітами, і ємностей для приготування регенераційних розчинів, причому у верхній частині фільтрів встановлені керуючі клапани, які забезпечують зміну напрямку потоків води й регенераційного розчину після закінчення заданого проміжку часу або після проходження певного обсягу води [наприклад WO 01/60516A1, 23.08.2001, WO 2007/036634, 05.04.2007].

Однак у відомих способах не розкривається ні фільтрувальне завантаження, ні характеристики іонітів, необхідні для забезпечення глибокого очищення від солей твердості при невеликій витраті реагентів на регенерацію.

В якості найближчого аналога запропонованого технічного рішення обран спосіб глибокого очищення води від солей твердості, описані в [кн. Б.Е. Рябчиков «Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования», Москва, ДеЛи принт, 2004, стр.153-163].

Для здійснення відомого способу застосовують фільтрувальне завантаження для глибокого очищення води від солей твердості, яке містить шар сильноокислотного катіоніту і внизу шар інерт-

ного матеріалу-гравію, при цьому рекомендоване використовувати сильнокислотний стиролдивинілбензолний катіоніт типу КУ-2 або його імпорتنі аналоги.

Крім того, застосовують вертикально встановлений фільтровальний апарат з завантаженням і з розташованою по її осі центральною трубою, яка має нижній і верхній дренажні пристрої, блок керування, який має ежектор і злив, бак-солерозчинювач, з'єднаний з ежектором, лічильник очищеної води, підвідний і відвідний трубопро-води і запірно-регулювальну арматуру.

Відомий спосіб очищення води включає пропускання потоку води, яку очищують, зверху донизу крізь фільтрувальне завантаження, розпушення загрузки, ежекційне змішування води з насиченим розчином солі з одержанням регенераційного розчину, протічнійну регенерацію загрузки приготівленим регенераційним розчином, і її промивання.

При подачі води з швидкістю 20-40м/год цей спосіб дозволяє пом'якшувати воду з вихідною твердістю 5-10мг-екв/л до твердості 0,05-0,1мг-екв/л. Регенерацію загрузки провадять автоматично за сигналом лічильника об'єму очищеної води.

Недоліками, технічного рішення, прийнятого за прототип, є недостатній ступінь пом'якшення води, невисока ємність фільтрувального завантаження по солях твердості, високі витрати солі для її регенерації, низька продуктивність і, як наслідок, високі витрати на очищення води.

В основу корисної моделі поставлена задача створення технології очищення води від солей твердості, яка забезпечує одностадійне очищення зі зниженням твердості води до концентрації менш 0,01мг-екв/л, зниження витрати солі для регенерації і зниження об'єму стічних вод, що утворюються.

Поставлена задача вирішується тим, що завдання вирішується описуваною композицією фільтрувальних матеріалів для глибокого очищення води від солей твердості, яка містить сульфокислотний стиролдивинілбензолний катіоніт, розміщений між шарами інертних матеріалів, причому катіоніт характеризується вмістом дивинілбензолу 6,0-7,2%мас., ефективним розміром гранул 0,55±0,1мм, коефіцієнтом однорідності не більше 1,3, вмістом вологі 50-60%мас. і питомим об'ємом 2,5-2,9см<sup>3</sup>/г, в якості інертного матеріалу, розміщеного перед шаром катіоніту в напрямку переміщення води, яку очищують, композиція містить гранульований матеріал, обраний з поліетилену, поліпропілену, полістиролу, з розміром гранул 3,0-5,0мм і густиною не більше 1,0г/см<sup>3</sup>, а в якості інертного матеріалу, розміщеного після шару катіоніту в напрямку переміщення води, яку очищують, композиція містить матеріал на основі кремнезему із густиною 1,6-4,0г/см<sup>3</sup>, з ефективним розміром зерна 2,0-4,0мм, і коефіцієнтом однорідності 1,3-1,7, при цьому композиція містить згадані матеріали в наступному співвідношенні (% об.):

інертний матеріал, розміщений перед катіонітом	4-6
катіоніт	82-88
інертний матеріал, розміщений після катіоніту	8-12.

Поставлена задача вирішується тим, що в спосіб глибокого очищення води від солей твердості, який включає пропускання потоку води, яку очищують, зверху донизу крізь фільтрувальне завантаження, розпушення завантаження, ежекційне змішування води з насиченим розчином солі з одержанням регенераційного розчину, протічнійну регенерацію завантаження приготівленим регенераційним розчином, і його промивання, згідно корисної моделі, процес очищення здійснюють при використанні фільтрувального завантаження, яке містить сульфокислотний стиролдивинілбензолний катіоніт, розміщений між шарами інертних матеріалів, з вмістом дивинілбензолу в кількості, що дорівнює 6,0-7,2%мас., ефективним розміром гранул 0,55±0,1мм, коефіцієнтом однорідності не більше 1,3, вмістом вологі 50-60%мас. і питомим об'ємом 2,5-2,9см<sup>3</sup>/г, причому в якості інертного матеріалу, розміщеного перед шаром катіоніту в напрямку переміщення води, яку очищують, обирають гранульований матеріал, вибраний з поліетилену, поліпропілену, полістиролу з розміром гранул 3,0-5,0мм і густиною не більше 1,0г/см<sup>3</sup>, а у якості інертного матеріалу, розміщеного після шару катіоніту в напрямку переміщення води, яку очищують, обирають матеріал на основі кремнезему з густиною 1,6-4,0г/см<sup>3</sup>, з ефективним розміром зерна 2,0-4,0мм, і коефіцієнтом однорідності 1,3-1,7, при цьому фільтрувальне завантаження містить згадані матеріали в наступному співвідношенні (% об.):

інертний матеріал, розміщений перед катіонітом	4-6
катіоніт	82-88
інертний матеріал, розміщений після катіоніту	8-12.

Переважаю воду, яку очищують, можливо пропускання зверху донизу крізь фільтрувальне завантаження з лінійною швидкістю 30-50м/год, регенераційний розчин подавати знизу догори крізь фільтрувальне завантаження зі швидкістю 2-3м/год, а промивання фільтрувального завантаження здійснювати у два етапи, спочатку подавати воду знизу догори зі швидкістю 2-3м/год, і потім - зверху донизу зі швидкістю 30-50м/год.

При цьому регенерацію доцільно здійснювати водяним розчином, який містить солі натрію і/або калію, або амонію, які вибрані з хлоридів, нітратів, ацетатів або цитратів, при їх концентрації 5-8мас.%, а регенераційний розчин готувати на воді з вмістом солей твердості не більше 5мг-екв/л.

Крім того, доцільно розпушення й промивання завантаження здійснювати вихідною водою, яку очищують, при концентрації іонів твердості в ній, що не перевищує 5мг-екв/л. або пом'якшеною водою, якщо концентрація іонів твердості у вихідній воді перевищує 5мг-екв/л.

Переважним втіленням заявленого способу є можливість розміщення фільтрувального завантаження в вертикальному фільтрувальному апараті з розташованою по його осі центральною трубою, яка має нижній й верхній дренажні пристрої, таким чином, що нижній дренажний пристрій центральної труби занурюють у шар нижнього інертного матеріалу на 1/12-1/15 від загальної довжини центра-

льної труби, а над шаром верхнього інертного матеріалу залишають вільний простір, який становить 10-40% від об'єму фільтрувального завантаження, при цьому керування апарату можливо здійснювати керуючим клапаном, який забезпечує автоматичне перемикання потоків рідини і пов'язаний з мікропроцесором.

При цьому доцільно в фільтрувальному апараті застосовувати від двох до чотирьох паралельно з'єднаних між собою фільтрів, і відповідну їм кількість баків-солерозчинювачів, а кожний фільтр з'єднувати з одним баком-солерозчинювачем за допомогою гнучкого трубопроводу.

На підвідному і відвідному трубопроводах можуть бути встановлені електромагнітні клапани, а керуючий клапан доцільно встановлювати у верхній частині апарату і виконувати з можливістю перемикання потоків рідини зверху-донизу і знизу - доверху по центральній трубі, ежекційного змішування потоків сольового розчину з бака-солерозчинювача з вихідною або пом'якшеною водою і зливу стоків у каналізаційний колектор.

Для ілюстрації заявленого способу наведена схема очищення води в установці, яка має два паралельно з'єднаних фільтри.

Представлена на фігурі 1 установка має наступні елементи.

1- підвідний трубопровід; 2, 2-а - електромагнітний клапан; 3, 3-а - керуючий клапан; 4, 4-а - корпус фільтра; 5 - верхній дренажний пристрій; 6 - інертний матеріал, розміщений перед шаром катіоніту; 7 - катіоніт; 8 - інертний матеріал, розміщений після шару катіоніту; 9 - нижній дренажний пристрій; 10 - центральна труба; 11 - відвідний трубопровід; 12 - регулювальний клапан; 13 - каналізаційний колектор; 14, 14-а - бак-солерозчинювач; 15 - вільний простір, що знаходиться над шаром верхнього інертного матеріалу в статичі (заповнюється водою і відповідно переміщується під цей шар при заповненні установки водою); 16, 16-а, 16-б, 16-в, 16-г - крани кульові; 17, 17-а - манометри; 18, 18-а - пробовідбірники; 19 - мікропроцесор (блок узгодження керуючих клапанів); 20 - сіль таблетована.

Установка, описана вище, має керуючі клапани, виготовлені відповідно до [патентів US 6776901; 6444127; 6402944].

Процес очищення води, згідно заявленої корисної моделі, здійснюють наступним чином. Вода, яку очищують, надходить по підвідних трубопроводах (1) через відкритий електромагнітний клапан (2) у керуючий клапан (3) фільтруючого апарату (фільтра) (4), який направляє потік води, яку очищують, крізь верхній дренажний засіб (5), інертний матеріал (6), розміщений перед шаром катіоніту, катіоніт (7), інертний матеріал (8), розміщений після шару катіоніту і нижній дренажний засіб (9), далі по центральній трубі (10) назад у керуючий клапан (3), а потім пом'якшена вода надходить по відвідному трубопроводу (11) через регулювальний клапан (12) споживачеві.

У цей же час здійснюють регенерацію раніше відпрацьованого фільтра (4а) водою із твердістю менш 5мг-екв/л із відвідного трубопроводу (11), коли електромагнітний клапан (2а) закритий. Вода

із твердістю менш 5мг-екв/л із відвідного трубопроводу (11) надходить у керуючий клапан (3а) фільтра (4а) далі в центральну трубу і нижній дренажний засіб, спускає фільтрувальне завантаження і відводиться через верхній дренажний засіб і керуючий клапан (3а) у каналізаційний колектор (13). Процес регенерації здійснюють аналогічно процесу розпушення за винятком того, що воду із твердістю менш 5мг-екв/л подають через блок ежекції керуючого клапана (3а), який закачує насичений розчин солі з бака-солерозчинювача (14а) і змішує його з водою для регенерації. Процес відмивання фільтрувального завантаження від солі на першій стадії здійснюють аналогічно процесу регенерації, за винятком закачування розчину солі з бака-солерозчинювача (14а). На другій стадії процес відмивання фільтрувального шару проводять зверху донизу: вода із твердістю менш 5мг-екв/л із відвідного трубопроводу (11) направляється в керуючий клапан (3а) фільтра (4а), через верхній дренажний засіб, фільтрувальне завантаження і нижній дренажний засіб по центральній трубі в зливний блок керуючого клапана (3а), а звідти вже в каналізаційний колектор (13).

Далі аналогічним чином регенерують фільтр (4), а очищення води проводять на фільтрі (4а).

Композиція матеріалів для фільтрувального завантаження підібрана нами експериментально.

Вивчення іонообмінної здатності по відношенню до іонів твердості, а також здатності до регенерації сильнокислотних стиролдивинілбензольних катіонітів з різним вмістом дивинілбензолу показало, що катіоніти різних виробників, що містять дивинілбензол у кількості від 6,0 до 7,2% мас., мають максимальну ефективність у циклах сорбція-регенерація. При цьому інші заявлені характеристики гранул катіоніту є необхідними й достатніми для ефективного здійснення циклів сорбція-регенерація в режимі протічечі.

Характеристики інертних матеріалів і оптимальний склад фільтрувальної заправки підібрані експериментально з урахуванням характеристик вибраного катіоніту.

Заявлені швидкості подачі води і регенераційного розчину вибрані нами з розрахунку забезпечення максимальної продуктивності установки при високій ємності фільтра і мінімальній витраті солі на регенерацію.

Нижче наведений приклад з використанням оптимальної композиції фільтрувальних матеріалів, а також результати по пом'якшенню води при конкретних параметрах заявленого способу.

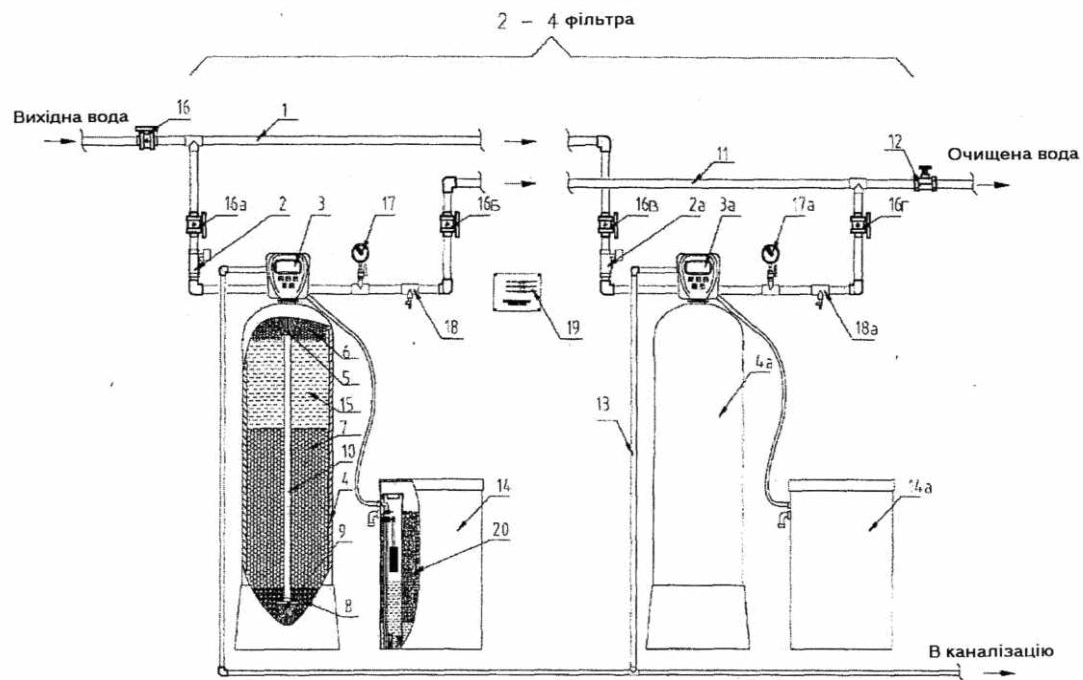
Приклад 1.

Вода, що містить 3,4мг-екв/л іонів твердості, надходить для пом'якшення в установку, схема якої наведена на Фіг.1. Процес здійснюють відповідно до вищенаведеного опису при наступних параметрах:

кількість паралельно з'єднаних фільтрів - 2шт  
висота фільтра - 1370мм  
обсяг заправки - 59л  
висота шару заправки - 1176мм  
висота шару катіоніту - 1000мм  
об'єм вільного простору - 14%

лінійна швидкість води, яку очищують - 50м/год  
 лінійна швидкість регенераційного розчину - 2,5м/год  
 лінійна швидкість промивної води, яка подається зверху донизу - 50м/год  
 лінійна швидкість промивної води, що подається знизу доверху - 2,5м/год  
 напрямок подачі води, яку очищують, - зверху донизу  
 напрямок подачі регенераційного розчину - знизу доверху  
 тиск у відповідному трубопроводі 3,2атм  
 Склад загрузки:  
 сульфокислотний катіоніт - 85%  
 інертний матеріал, розміщений перед катіонітом - 5%  
 інертний матеріал, розміщений після катіоніту - 10%  
 Характеристики компонентів загрузки:  
 катіоніту:  
 вміст дивинілбензолу - 6,6%  
 ефективний розмір гранул - 0,55мм  
 коефіцієнт однорідності - 1,23  
 вміст вологи - 55,2%  
 питомий об'єм - 2,62див<sup>3</sup>/г  
 інертного матеріалу, розміщеного після шару катіоніту, в напрямку переміщення води, яку очищують:  
 густина - 4г/см<sup>3</sup>  
 ефективний розмір зерна - 2мм  
 коефіцієнт однорідності - 1,5  
 інертного матеріалу, розміщеного перед шаром катіоніту:  
 поліетилен  
 ефективний розмір гранул - 4мм  
 густина - 0,8г/см<sup>3</sup>  
 Склад регенераційного розчину:

хлорид натрію - 6%  
 іони твердості - 3,4мг-екв/л  
 твердість води для розпушення й промивання - 3,4мг-екв/л  
 При проведенні процесу очищення за прикладом 1 отримані наступні результати. Продуктивність - 2,5м<sup>3</sup>/год  
 Витрата хлориду натрію - 100г/л іоніту (5кг на одну регенерацію)  
 Час циклу фільтрації - 466хв.  
 Твердість пом'якшеної води - менш 0,01мг-екв/л  
 Ємність шару катіоніту - 66г-екв  
 Зведені витрати хлориду натрію - 0,272кг NaCl/м<sup>3</sup> води (0,08кг NaCl/ г-екв іонів твердості).  
 Проведення процесу очищення води від солей твердості при інших заявлених параметрах способу і інших заявлених складів фільтрувальної загрузки привело до одержання аналогічних результатів.  
 Найбільш перспективними реагентами для протитечійної регенерації є хлорид натрію, як найбільш дешевий і доступний, і ацетат калію, як такий що приносить мінімальний екологічний збиток.  
 Таким чином, запропонована корисна модель має наступні переваги перед найближчим аналогом:  
 - зниження твердості нижче 0,01мг-екв./дм<sup>3</sup> за одну стадію;  
 - зниження стічних вод, що утворюються, в 2,8 рази;  
 - зниження мінералізації стічних вод в 1,6 рази;  
 - зниження витрат солі на регенерацію в 1,5 рази;  
 - зниження зведених витрат на глибоке очищення 1м<sup>3</sup> води в 1,5 рази.



Фіг.1