



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 91022

(13) C2

(51) МПК (2009)

B01D 61/02

C02F 1/44

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО, ПОСЛІДОВНОГО ОПРІСНЕННЯ У ЗАМКНЕНОМУ КОНТУРІ ТА СПОСІБ ТАКОГО ОПРІСНЕННЯ**

1

(21) а200700304
(22) 23.06.2005
(24) 25.06.2010
(86) PCT/IL2005/000670, 23.06.2005
(31) 162713
(32) 24.06.2004
(33) IL
(46) 25.06.2010, Бюл.№ 12, 2010 р.
(72) ЕФРАТІ АБІ, IL
(73) ЕФРАТІ АБІ, IL
(56) UA 52717, 15.01.2003
UA 57595, C2, 16.06.2003
UA 68360, C2, 16.08.2004 (по з.2000031790, опубл. 15.09.2000)
US 6299766, B1, 09.10.2001
(57) 1. Пристрій для безперервного, послідовного опріснення водного розчину солей зворотним осмосом у замкненому контурі без застосування контейнерів, який має:
принаймні один замкнений блок (100, 200) з одним опріснювальним модулем (10), який має один або більше мембранних елементів (12), впускний отвір (14), впускний отвір (16) для пермеату і впускний отвір (18) для концентрату або два чи більше опріснювальних модулів (10), що мають відповідні впускні отвори (14) і впускні отвори (16, 18), з'єднані паралельно, і циркуляційний трубопровід (28) для концентрату, що з'єднує впускний отвір (18) для концентрату із впускним отвором (14) зазначеного опріснювального модуля (10) або - впускні отвори (18) для концентрату із впускними отворами (14) зазначених двох чи більше опріснювальних модулів (10);
трубопровід (20, 220) для подавання призначеного для опріснення свіжого водного розчину солей в принаймні один замкнений блок (100, 200) по впускному каналу (22);
принаймні один нагнітальний пристрій (24) в трубопроводі (20) для втискування призначеного для опріснення свіжого водного розчину солей в принаймні один замкнений блок (100, 200) і створення достатнього протитиску в замкненому блоці (100, 200) для уможливлення опріснення зворотним осмосом і заміни випущеного пермеату свіжим розчином;

2

принаймні одну циркуляційну систему (26) в циркуляційному трубопроводі (28) для концентрату, призначену для рециркуляції під тиском концентрату від впускних отворів концентрату до впускних отворів зазначених одного або двох чи більше опріснювальних модулів (10);
принаймні один відповідний трубопровід (32, 232) для збирання пермеату від зазначеного замкненого блока (100, 200);
принаймні один відповідний трубопровід (30, 230) для виведення не придатної для знесолення ропи із зазначеного замкненого блока (100, 200);
принаймні одну клапанну систему (34) в циркуляційному трубопроводі (28) для концентрату, виконану з можливістю направляти потік концентрату на циркуляцію в зазначеному замкненому блоці (100, 200) або в принаймні один трубопровід (30) для виведення не придатної для знесолення ропи, причому клапанну систему (34) змонтовано вище впускного каналу (22) за циркуляційним потоком і поблизу від нього для періодичного виведення ропи із замкненого блока, не зупиняючи опріснення; і
засіб (36, 38) для контролю перебігу опріснення в зазначеному принаймні одному замкненому блоці (100, 200); та
систему керування, з'єднану із засобом (36, 38) для контролю перебігу опріснення і щонайменше однією клапанною системою (34) для забезпечення безперервного опріснення у замкненому контурі з бажаним ступенем очищення в безперервних і послідовних операціях у умовах змінного або постійного тиску з почерговим перемиканням потоку концентрату між режимом рециркуляції концентрату та режимом випуску концентрату без зупинки процесу опріснення.
2. Пристрій за п. 1, в якому змінний тиск прикладають керованим чином під час безперервного, послідовного опріснення у замкненому контурі так, що різницю між прикладеним тиском і осмотичним тиском під час процесу опріснення у замкненому контурі підтримують по суті постійною.
3. Пристрій за п. 1, в якому постійний тиск прикладають під час безперервного, послідовного опріснення у замкненому контурі з різницею між прикладеним тиском і максимальним осмотичним

(13) C2

(11) 91022

(19) UA

тиском в процесі опріснення, яку підтримують вище мінімального наперед визначеного рівня.

4. Пристрій за будь-яким із попередніх пунктів, в якому зазначений засіб для контролю перебігу опріснення застосовують для контролю потоку свіжого розчину солі у воді у замкнений блок і/або потоку пермеату із замкнутого контуру.

5. Пристрій за будь-яким із попередніх пунктів, в якому зазначений засіб для контролю перебігу опріснення є пристрій для контролю концентрації і/або пристрій для контролю електропровідності.

6. Пристрій за будь-яким із попередніх пунктів, в якому зазначені модулі згруповано у паралельні батареї, причому кожна з паралельних батарей має множину модулів.

7. Пристрій за будь-яким із попередніх пунктів, в якому зазначений нагнітальний пристрій має один нагнітальний насос або два чи більше нагнітальних насосів, включених паралельно або послідовно.

8. Пристрій за будь-яким із попередніх пунктів, в якому зазначена циркуляційна система має один або більше циркуляційних насосів.

9. Пристрій за будь-яким із попередніх пунктів, в якому водний розчин солей походить або є будь-чим з наступного: джерела питної води; джерела солоної води; джерела забрудненої води; джерела солоної та забрудненої води; джерела очищених стоків води комунального господарства; джерела очищених стоків води промислового виробництва; очищені стоки води від градирень систем охолодження централізованих кондиціонерів; пермеати з високим вмістом бору після опріснення морської води зворотним осмосом; або джерела солонуваної води із загальною солоністю до 8000 млн⁻¹.

10. Пристрій за п. 1, який має більш як один замкнений блок (100, 200), об'єднаний з іншими блоками спільним пристроєм (224) для подачі під тиском свіжого розчину, спільним трубопроводом (220) для подавання свіжого водного розчину солей та спільними відвідними трубопроводами (232, 230) відповідно для збирання пермеату і для виведення не придатної для знесолення ропи, що дозволяє створення повнопрофільної установки на модульному принципі з великою продуктивністю опріснення.

11. Спосіб безперервного, послідовного опріснення водного розчину солей зворотним осмосом із застосуванням щонайменше одного замкнутого контуру без контейнерів, що має один опріснювальний модуль або два чи більше опріснювальних модулів, що мають відповідні впускні і випускні отвори, з'єднані паралельно, який полягає в тому, що

постійно подають свіжий водний розчин солей у зазначений принаймні один замкнений контур під тиском, достатнім для ефективного опріснення зворотним осмосом та заміни випущеного пермеа-

ту свіжим водним розчином солей у принаймні одному замкнутому контурі;

рециркулюють під тиском концентрат за допомогою принаймні однієї циркуляційної системи від випускних до впускних отворів зазначених одного або двох чи більше опріснювальних модулів після змішування із зазначеним свіжим водним розчином солей під тиском;

постійно збирають пермеат від зазначеного одного або двох чи більше опріснювальних модулів;

контролюють перебіг опріснення у зазначеному принаймні одному замкнутому контурі;

після виявлення бажаного ступеня очищення у зазначеному замкнутому контурі, відводять під тиском потік концентрату із зазначеного замкнутого контуру, доки концентрат в контурі не буде по суті повністю замінено свіжим водним розчином солей; і

після виявлення, що концентрат було замінено свіжим водним розчином солей, перемикають в режим рециркуляції концентрату, в якому концентрат під тиском повністю рециркулюють від випускних до впускних отворів опріснювальних модулів і випущений пермеат замінюють свіжим водним розчином солей під тиском;

через що процес опріснення відбувається в режимі рециркуляції концентрату, в якому тільки випущений пермеат замінюють свіжим водним розчином солей в той час, як концентрат в замкнутому контурі рециркулюють під тиском з короткими інтервалами на роботу в режимі випуску концентрату, в якому концентрат під тиском в замкнутому контурі замінюють свіжим водним розчином солей під тиском.

12. Спосіб за п. 11, в якому в режимі рециркуляції концентрату підтримують постійний випуск пермеату під змінним тиском.

13. Спосіб за п. 11, в якому в режимі рециркуляції концентрату підтримують змінний випуск пермеату під постійним тиском.

14. Спосіб за п. 11, в якому водний розчин солей походить або є будь-чим із наступного: джерела питної води; джерела солоної води; джерела забрудненої води; джерела солоної та забрудненої води; джерела очищених стоків води комунального господарства; джерела очищених стоків води промислового виробництва; очищені стоки води від градирень систем охолодження централізованих кондиціонерів; пермеати з високим вмістом бору після опріснення морської води зворотним осмосом; або джерела солонуваної води із загальною солоністю до 8000 млн⁻¹.

15. Спосіб за п. 11, в якому два чи більше замкнених контурів об'єднують спільним пристроєм для подачі під тиском свіжого розчину і спільними відвідними трубопроводами відповідно для збирання пермеату і для виведення не придатної для знесолення ропи.

Винахід стосується способу і пристрою без застосування контейнерів для безперервного, послідовного опріснення у замкнутому контурі водних розчинів солей з допомогою зворотного осмосу (ЗО).

Звичайний зворотний осмос (ЗО) застосовують з допомогою гідродинамічних методів поршневого режиму потоку, в яких потік для опріснення розділяють під тиском безперервно на пермеат і ропу. Іншу концепцію гідростатичного опріснення у замкнутому контурі вперше було описано наприкінці вісімдесятих років Сузом і співробітниками у патенті США № 4 983 301 і Барттом у патенті США №4 814 086 з наголосом на збереження енергії. Згідно з концепцією Опріснення у Замкнутому Контурі (ОЗК) розчин під тиском рециркулюють під гідростатичним тиском до бажаного ступеня опріснення, а потім ропу замінюють свіжим розчином і періодичний процес повторюють. У вищезгаданих патентах має місце поперемінне з'єднання двох посудин у замкнений контур для забезпечення безперервного процесу опріснення. Принциповим недоліком такого способу є наявність "двох посудин відносно великої ємності".

Суз та співробітники запропонували видаляти "чужорідні матеріали" з допомогою фільтраційного обладнання, і тому застосовувати ЗО, а також фільтрацію суспензії частинок з розчинів і рідин. Під час опріснення або фільтрації у замкнутому контурі відбувається сильне розбавлення під час рециркуляції, а тому полегшує досягнення високого ступеня опріснення за відносно помірних умов.

У нещодавно поданій заявці WO 2005/016830 описано пристрій для безперервного ОЗК з одним контейнером. Ця заявка стосується нового пристрою і способу для безперервного опріснення водного розчину солі в замкнутому контурі з допомогою безперервного, послідовного процесу без застосування контейнерів.

Згідно з винаходом запропоновано пристрій і спосіб для безперервного опріснення водного розчину солі або солонуватої води у замкнутому контурі, в яких концентрат рециркулюють циркуляційним пристроєм крізь паралельно встановлені модулі, утворені одним або більше напівпроникних ЗО мембранних елементів; пристрій для подачі під тиском розчину у замкнений контур для заміни відведеного пермеату і систему вентилів для відведення ропи із замкнутого контуру при досягненні бажаного ступеня опріснення без зупинки процесу опріснення.

Пристрій і спосіб за винаходом для безперервного, послідовного опріснення можуть бути реалізовані або при постійному тиску на змінний потік пермеату, або при змінному тиску на постійний потік пермеату, що призводить до фіксованого корисного тиску продавлювання (КТП). КТП, або різницю між прикладеним тиском і осмотичним тиском, на кожній стадії під час роботи пристрою за винаходом регулюють на рівні вище наперед визначеної мінімальної величини.

Пристрій і спосіб за винаходом може бути реалізовано у модульній формі з центральною подачею розчину під тиском і одночасною подачею до більш як одного модульного блока. Модульна фо-

рма пристрою може бути застосована в опріснювальних установках будь-якої продуктивності.

Пристрій і спосіб за винаходом можуть включати покупні компоненти і частини, які працюють без перевищення їх технічних параметрів.

Пристрій і спосіб за винаходом мають просту і недорогу структуру з відносно невеликою кількістю силових компонентів, зменшеною кількістю мембранних елементів і невеликими енергетичними потребами без будь-якої потреби рекуперації електроенергії. Спосіб за винаходом може бути особливо привабливим для високого ступеня опріснення (приблизно 75-95%) низько концентрованої солонуватої води і таким чином може забезпечити просте, недороге, ефективне часткове видалення бору з пермеатів після опріснення морської води зворотним осмосом до прийнятного рівня (приблизно $<0,5 \text{ млн}^{-1}$).

Винахід ілюструють креслення, на яких

Фіг.1А - схема пристрою для опріснення у замкнутому контурі з п'ятьма модулями, кожний з яких має три мембранні елементи (типу M5E15), під час роботи в режимі рециркуляції концентрату у відповідності з переважним втіленням винаходу;

Фіг.1В - схема пристрою для опріснення у замкнутому контурі з п'ятьма модулями, кожний з яких має три мембранні елементи (типу M5E15), під час роботи в режимі виведення концентрату у відповідності з переважним втіленням винаходу;

Фіг.2А - схема модульного блоку пристрою для опріснення у замкнутому контурі з п'ятьма модулями, кожний з яких має три мембранні елементи (типу M5E15), під час роботи в режимі рециркуляції концентрату у відповідності з переважним втіленням винаходу;

Фіг.2В - схема модульного блоку пристрою для опріснення у замкнутому контурі з п'ятьма модулями, кожний з яких має три мембранні елементи (типу M5E15), під час роботи в режимі виведення концентрату у відповідності з переважним втіленням винаходу;

Фіг.3 - схема установки з п'яти модульних блоків, кожний з яких має 5 модулів і 15 мембранних елементів, у відповідності з переважним втіленням винаходу;

Фіг.4 - графік, який показує загальну мінералізацію пермеату під час ОЗК з високопроцентним опрісненням у відповідності з переважним втіленням винаходу;

Фіг.5 - графік, який показує концентрації бору під час ОЗК з високопроцентним опрісненням у відповідності з переважним втіленням винаходу;

Фіг.6 - графік, який показує концентрації магнію під час ОЗК з високопроцентним опрісненням у відповідності з переважним втіленням винаходу.

ЗО пристрій згідно з переважним втіленням винаходу (Фіг.1А) має систему 100 опріснення у замкнутому контурі з 5 модулями 10 (M(1), M(2), M(3), M(4) і M(5), кожний з яких має 3 мембранні елементи 12, впускний отвір 14, випускний отвір 16 для пермеату, випускний отвір 18 для концентрату, трубопровід 20 для подачі свіжого водного розчину солей, насос 24 (НН) для подачі розчину під тиском у впускний канал 22, циркуляційний насос 26 (ЦН) в рециркуляційному трубопроводі 28 для

концентрату, трубопровід 30 (Р) для відведення ропи, трубопровід 32 (П) для збирання пермеату, триходовий вентиль 34 (В3), пристрої 36 (ПКЕ(1) і пристрій 38 (ПКЕ(2) для контролю електропровідності розчину і пристрої 40 (ПМТ(1) і 42 (ПМТ(2) для контролю тиску. Трубопровід 20 (Фіг.1А) для введення вхідного розчину, змішаного або не змішаного з концентратом, позначені безперервними лініями, трубопровід 30 для відведення ропи - пунктирною лінією, а трубопровід 32 для збирання пермеату - штриховою лінією. Напрямки потоку у різних трубопроводах показано стрілками. Об'єм замкнутого контуру встановлюють в залежності від об'єму концентрату, вміщеного під тиском у посудини, чи модулі, і труб, також бажаний об'єм замкнутого контуру забезпечують відповідним вибором діаметрів труб. На Фіг.1А показано пристрій за винаходом, який знаходиться у режимі рециркуляції концентрату, що потребує найбільшого часу.

Тривале безперервне, послідовне опріснення у пристрої за винаходом потребує періодичної заміни ропи свіжим вхідним розчином у замкнутому контурі при досягненні в системі бажаного рівня опріснення і цей короткий режим роботи показано на Фіг.1В. Видалення ропи із замкнутого контуру досягають шляхом відведення потоку концентрату (ропи) із замкнутого контуру назовні крізь триходовий вентиль 34 (В3). Керування всім процесом опріснення відбувається шляхом безперервного контролю електропровідності і подачі сигналу від пристрою 36 (ПКЕ(1) ПМЕ(1), який показує, що досягнуто бажаного рівня опріснення, припиняє рециркуляцію і починає виведення ропи; і навпаки, сигнал від пристрою 38 (ПКЕ(2) свідчить про завершення виведення ропи і вмикає режим рециркуляції.

Пристрої 40 (ПМТ(1) і 42 (ПМТ(2) для контролю тиску забезпечують керування тиском, зокрема, під час виведення ропи (Фіг.1В), з мінімальною зміною тиску у системі, що досягається вмиканням вентиля у відповідь на небажані зміни тиску в процесі опріснення.

Переважаючий варіант виконання модульного блоку 200 пристрою за винаходом, показано на фігурах 2А і 2В, де не має засобу забезпечення тиску, а метою встановлення двоходового вентиля 44 (В2) у цій конструкції є створення можливості ізолювати відповідні модульні блоки для технічного обслуговування та/або ремонту, не зупиняючи роботу інших блоків. Аналогічно опису фігур 1А і 1В функціями блоку, показаного на фігурах 2А і 2В, є відповідно рециркуляція і виведення ропи.

Комбінацію п'яти модульних блоків 200, зображених на Фіг.2А та 2В, в установці для опріснення із пристроєм для подачі під тиском свіжого розчину зображено на Фіг.3. П'ять модульних блоків (МБ-1, МБ-2, МБ-3, МБ-4 і МБ-5) (Фіг.3) централизовано постачаються розчином по трубопроводу 220 "впуск" з подачею під тиском нагнітальним насосом 224 (НН). Такі ж трубопроводи 232 і 230 застосовано для збирання пермеату (П) і для виведення ропи (Р). Переважним режимом роботи обладнання, яке має модульні блоки, що працюють за способом згідно з винаходом, є режим, при

якому тиск є постійним, але може бути забезпечена робота і з перемінним тиском, за умови, що кожний модульний блок у відповідному порядку також обладнано підсилювачем тиску, завдяки чому створюються бажані зміни тиску дискретно для кожного модульного блоку.

Зрозуміло, що конструкція переважних варіантів пристрою за винаходом і модульних блоків для опріснення, показаних на Фіг.1А і 1В, Фіг.2А і 2В і на Фіг.3 є схематичними і спрощеними і не повинні розглядатися як такі, що обмежують винахід. На практиці блоки для опріснення і пристрій за винаходом можуть мати багато додаткових ліній, розгалужень, вентилів і іншого обладнання та засобів, які потрібні з огляду на особливі потреби і застосування яких не виходить за межі формули винаходу.

Всі переважні втілення на Фіг.1-3 показують базовий пристрій для опріснення і модульні блоки з п'яти модулів (посудин під тиском) з трьома мембранними елементами у кожному модулі, це здійснено з метою спрощення, ясності та впорядкування викладу винаходу. Але зрозуміло, що загальна конструкція за винаходом не обмежується п'ятьма модулями у модульному блоці і/або пристрої і що кількість мембранних елементів у модулі не обмежується трьома. Зокрема, зрозуміло, що пристрій та модульні блоки за винаходом можуть мати n модулів (М(1), М(2), М(3) ... М(n)). Також зрозуміло, що кожний модуль за винаходом може мати m мембранних елементів (1Е, 2Е, 3Е ... mЕ).

Винахід не обмежується конструкцією обладнання для опріснення, яке має 5 модульних блоків за переважним втіленням, показаним на Фіг.3. Зрозуміло, що обладнання для опріснення за винаходом може бути виконане з будь-якої кількості модульних блоків за винаходом і така конструкція обладнання буде також в межах винаходу.

Засоби подачі під тиском для пристрою і обладнання, виконаних з модульних блоків за винаходом, можуть мати насоси змінної продуктивності з постійним напором або насоси постійної продуктивності зі змінним напором в залежності від бажаного режиму роботи спроектованої системи. Зрозуміло, що засоби для створення тиску у вхідному розчині відповідно до винаходу можуть мати один придатний насос або декілька придатних насосів, які застосовують разом паралельно.

Рециркуляція концентрату по замкнутому колу пристрою і модульних блоків по способу за винаходом відбувається з допомогою систем циркуляції. Зрозуміло, що системи циркуляції за винаходом можуть мати один придатний циркуляційний насос або декілька таких насосів, які застосовують разом паралельно і/або послідовно.

Для фахівця в цій галузі є очевидним, що описаний спосіб опріснення за винаходом може здійснюватися у модульних блоках і/або у безмодульному пристрої для опріснення різних конструкцій і, як це вже було пояснено вище відносно пристрою і/або блоків, такі пристрій і/або блоки мають замкнений контур трубопроводів з одним або декількома паралельними модулями, кожний з яких має один або більше мембранних елементів, системи циркуляції, засоби подачі під тиском, трубопровід

для збирання пермеату, трубопровід виведення ропи, пристрої контролю електропровідності, і пристрої контролю тиску. Переваги способу і пристрою за винаходом такі:

- спрощені конструкції без поділу на стадії і без міжстадійних підкачувальних насосів,
- пристрій виконано тільки з надійних покупних елементів і частин,
- пуск пристрою не залежить від технічних умов на його складові частини,
- спосіб дозволяє економити на засобах тиску,
- спосіб дозволяє економити на мембранних елементах,
- спосіб дозволяє економити на енергії, без необхідності рекуперації електроенергії,
- спосіб дозволяє економити на експлуатаційних витратах та витратах на технічне обслуговування,
- спосіб забезпечує пермеат з низьким вмістом солі,
- спосіб є прийнятним для видалення бору з пермеатів після опріснення морської води зворотним осмосом.

Хоча винахід було описано відповідно до переважних втілень, фахівцеві очевидно, що можуть бути здійснені зміни і модифікації, не виходячи за межі винаходу, які визначені формулою винаходу.

Приклади

Переважне втілення способу за винаходом показано на прикладі високого опріснення (85%-95%) звичайного пермеату після опріснення морської води зворотним осмосом із загальною мінералізацією 391 млн^{-1} , який містить В ($1,2 \text{ млн}^{-1}$) і Mg ($3,4 \text{ млн}^{-1}$). Цей приклад ілюструє, серед іншого, застосування способу за винаходом для зниження рівня бору у пермеатах після опріснення морської води зворотним осмосом до рівня ($<0,5 \text{ млн}^{-1}$) за міжнародними стандартами.

Пристрій у прикладі, схематично тотожний зображеному на Фіг.1А і 1В, має п'ять посудин (модулів) діаметром 20,320 см (8") під тиском, кожна з яких має 3 мембранні елементи. Робочі характеристики за умов випробувань (УВ) в цьому пристрої покупних елементів з низькою енергоємністю були такі: продуктивність, $44 \text{ м}^3/\text{день}$; вхідний розчин, $2000 \text{ млн}^{-1} \text{ NaCl}$; тиск ≈ 1034 , 2кПа (150 psi); корисний тиск продавлювання (КТП), 0,88МПа (8,8 bar); температура, 25°C ; і максимальне виділення елементів (МВЕ), 15,0%. Випробуваний пристрій працював в умовах змінного тиску при фіксовано-

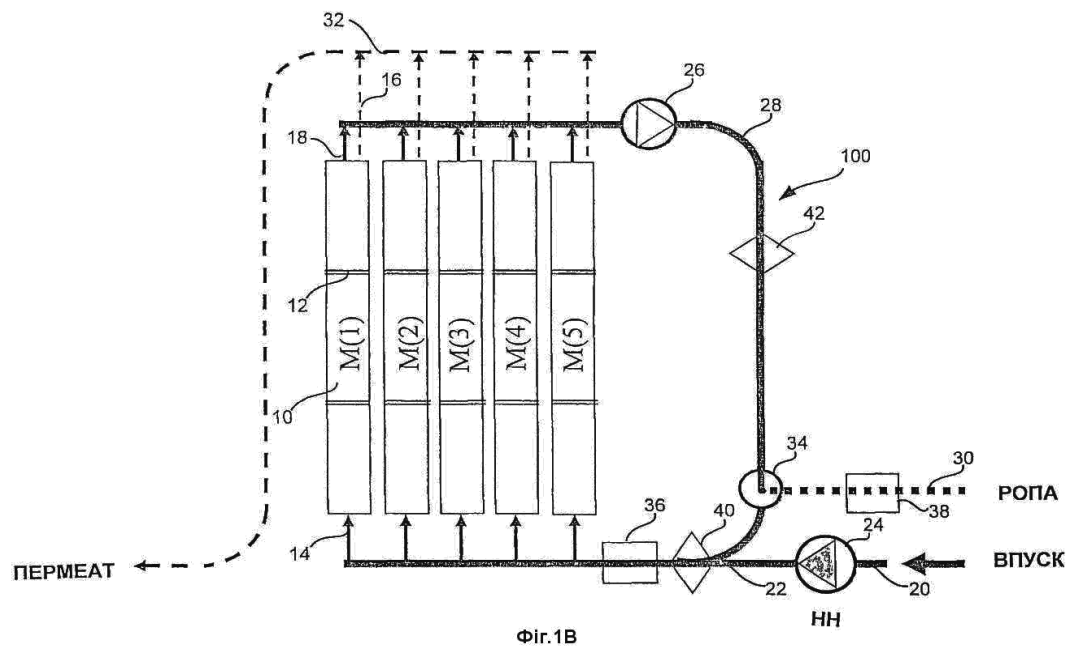
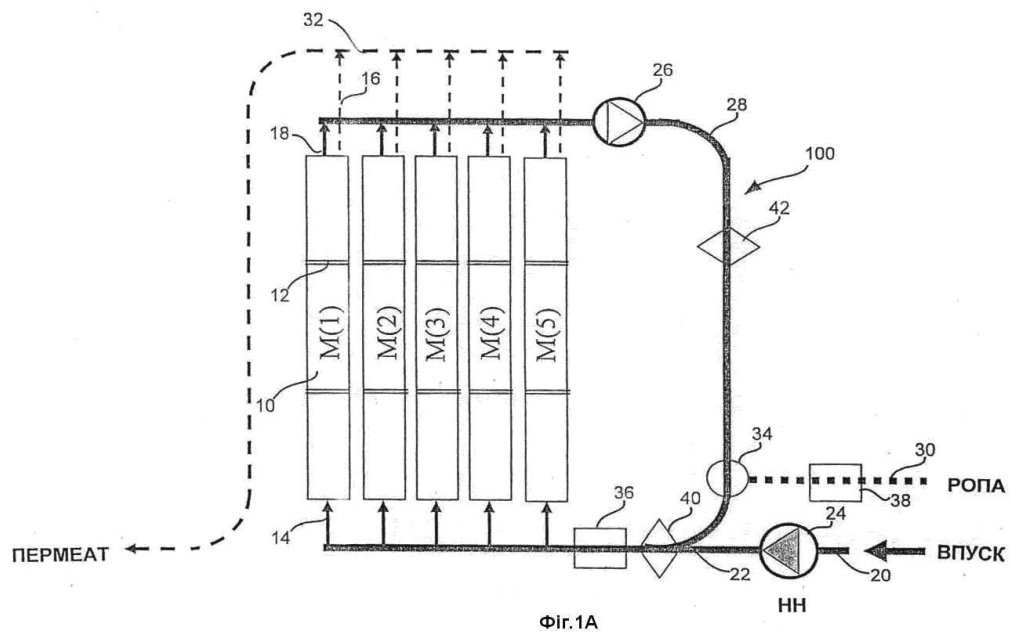
му КТП (0,88МПа) і робочому послідовному, безперервному тиску в межах 0,91-1,23МПа (9,1-12,3 bar) для опріснення на рівні 95%. Цей послідовний, безперервний період опріснення до 95% склав 6,0хв., а час заміни ропи вхідним розчином - приблизно 19сек. Зафіксоване модульне видалення елементів за наведених робочих умов складало 37,8% з середнім потоком елементів (СПЕ) $36,9 \text{ м}^3/\text{день}$, або 83,9% підрахованого потоку за УВ.

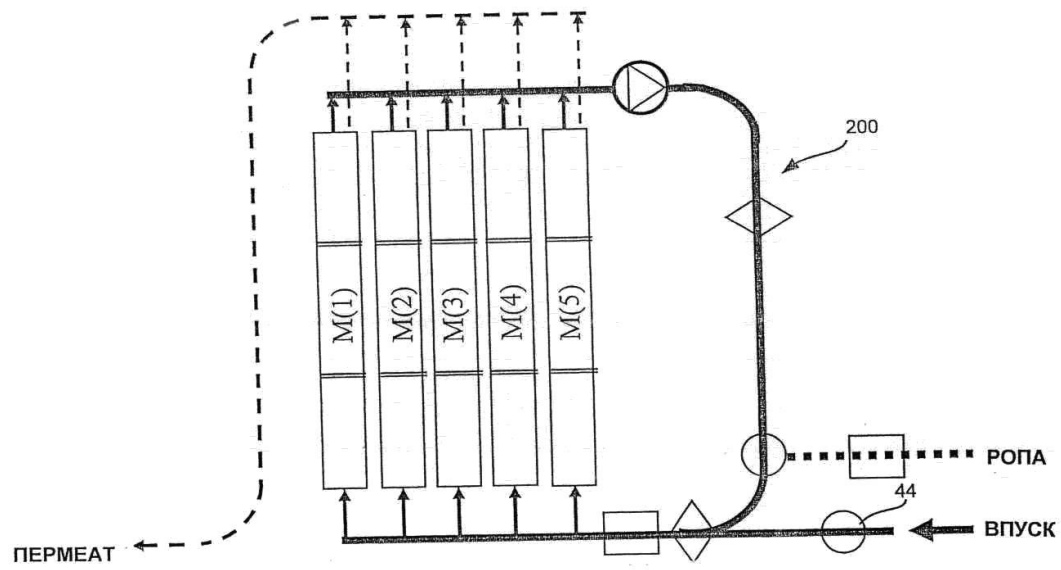
Об'єм замкненого контура пристрою складав 122л., продуктивність нагнітального насоса (НН) була $23,1 \text{ м}^3/\text{годину}$, а циркуляційного насоса (ЦН) була $38,0 \text{ м}^3/\text{годину}$. Підрахована питома енергоємність при 95% опріснення склала $0,45 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, за умови, що ККД насосів НН і ЦН складає 85%.

Продуктивність опріснення у пристрої склала $23,1 \text{ м}^3/\text{годину}$ або $554 \text{ м}^3/\text{день}$, або $202210 \text{ м}^3/\text{рік}$, при інтенсивності виведення ропи $1,2 \text{ м}^3/\text{годину}$ або $29 \text{ м}^3/\text{день}$.

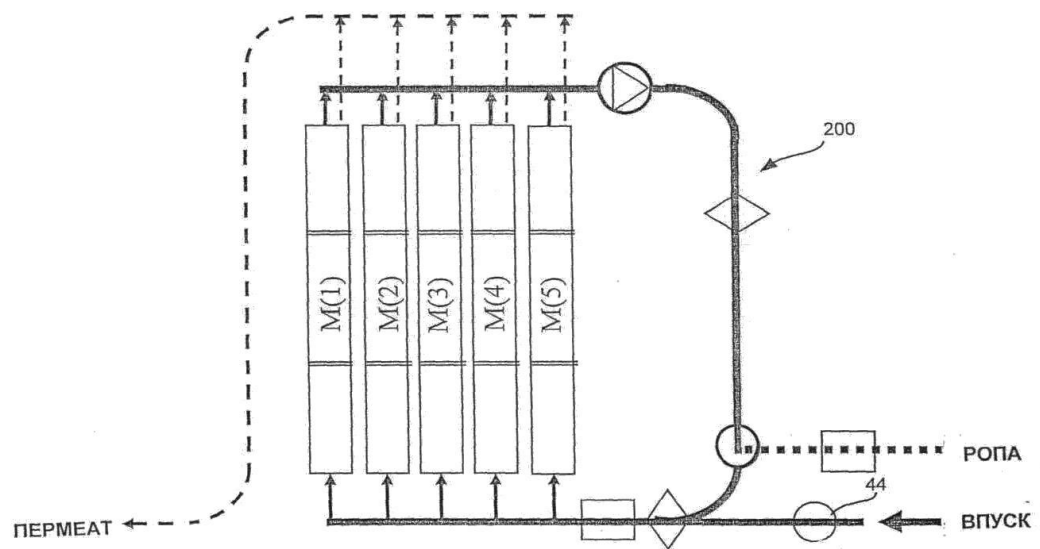
Комп'ютерні дані показані на Фіг.4-6 за умови роботи при $\text{pH} \sim 10$ з видаленням 99,5% солі і 93,0% бору. Робота при $\text{pH} > 10$ з більшим вилученням бору обмежується присутністю магнію, так як похідна $\text{Mg}(\text{OH})_2$ погано розчинна ($K_{\text{sp}} = 1,2 \times 10^{-11}$ при 18°C).

На Фіг.4А показано процентні концентрації (загальна мінералізація, 3М) на вході і виході модулів залежно від ступеня опріснення (максимум 95%) при $\text{pH} \sim 10$ у прикладі, що розглядається, та ілюструється виразний ефект розбавлення, який виникає під час опріснення у замкненому контурі. Якість пермеатів, отриманих у даному прикладі, в залежності від ступеня опріснення показана на Фіг.4В. Концентрації бору на вході і виході модуля під час процесу показано на Фіг.5А, а якість отриманих пермеатів відносно бору показана на Фіг.5В. Заслугує на увагу те, що середні значення концентрації бору у пермеаті, які дорівнюють 0,22, 0,24, 0,32 і $0,44 \text{ млн}^{-1}$ у цьому процесі під час опріснення відповідно на рівні 80%, 85%, 90% і 95%, нижчі за рекомендований рівень на $0,5 \text{ млн}^{-1}$. Концентрації магнію на вході і виході модуля під час процесу показані на Фіг.6А, а процент розчинності продуктів $[\text{Mg}^{+2}]$ і $[\text{OH}^-]$ у відношенні до $K_{\text{sp}} \text{ Mg}(\text{OH})_2$, що показане на Фіг.6В, складає максимум $\sim 24\%$, що означає, що під час процесу не відбувається осадження гідроксиду магнію.





Фиг.2А



Фиг.2В

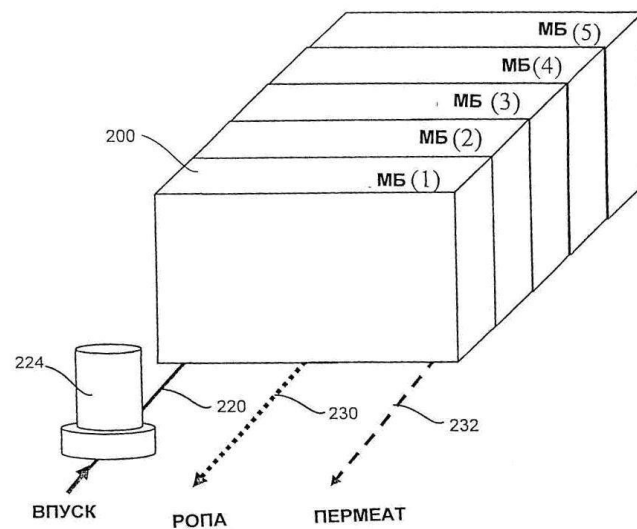


Fig. 3

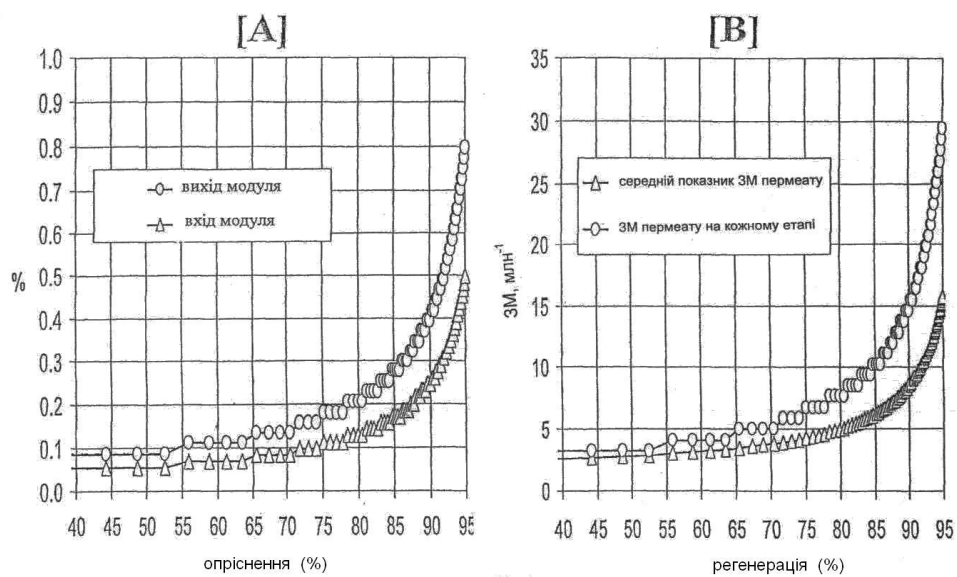
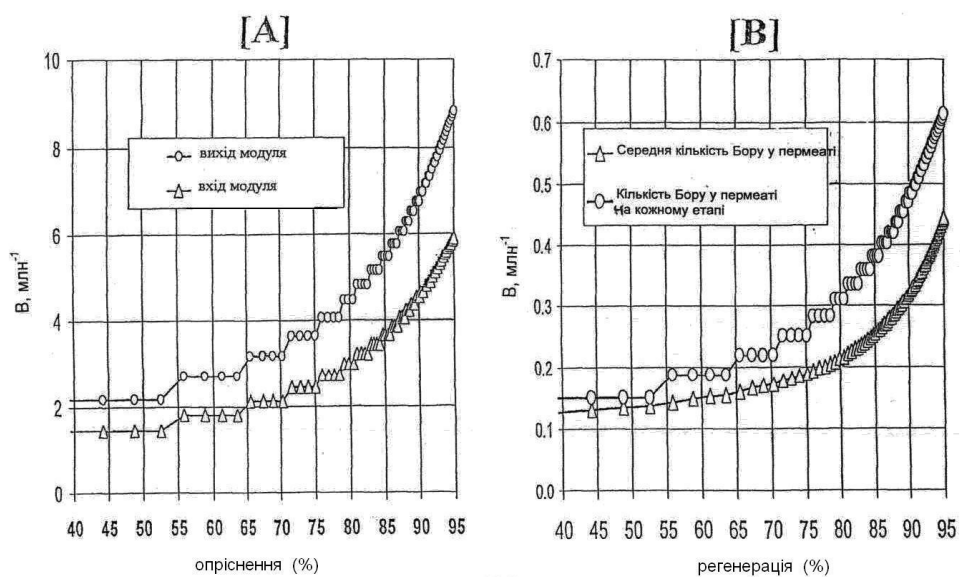
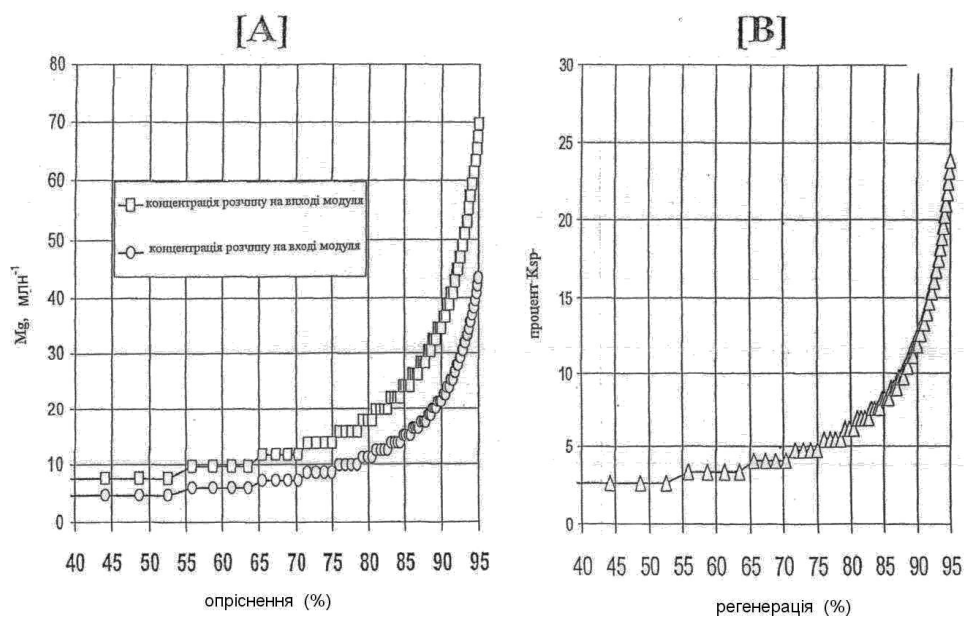


Fig. 4



Фіг.5



Фіг.6