



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 76544

(13) C2

(51) МПК (2006)

B01D 65/00

C11D 1/83

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

(54) ПРОМИВНИЙ РОЗЧИН ДЛЯ ПОЛІАМІДНИХ МЕМБРАН

1

(21) 20040604782

(22) 17.06.2004

(24) 15.08.2006

(46) 01.08.2006, Бюл. № 8, 2006 р.

(72) Гончарук Владислав Володимирович, Балакіна Маргарита Миколаївна, Кучерук Дмитро Дмитрович, Скубченко Володимир Федорович

(73) ІНСТИТУТ КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ ТА ХІМІЇ ВОДИ ІМ. А. В. ДУМАНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(56) SU 1057530 A, 30.11.1983

RU 2089603 C1, 10.09.1997

Карелин Ф.Н. Обессоливание воды обратным осмосом. - М.: Стройиздат, 1988. - С. 56-59, 102-104, 133, 138-145.

Кавицкая А.А. Регенерация обратноосмотических мембран // Химия и технология воды. - 1990. - №10. - С. 875-885.

Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества. Справочник. Под ред. А.А.Абрамзона и Е.Д.Щукина. - Ленинград: Химия, 1984. - С.323-324.

Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М.: Химия, 1978. - С. 18

2

Унифицированные методы анализа вод. Под общей ред. Ю.Ю.Лурье. М.: Химия, 1973. - С. 245-246.

Ren Deqian. Cleaning and Regeneration of Membranes // Desalination. - 1987, - V. 62. - P. 363-370.

Ebrahi S., Malik A. Membrane fouling and cleaning at DROP. // Desalination. - 1987. - V. 66. - P. 201-221.

Larson R.E., Cadotte J.E., and Petersen R.J. The FT-30 seawater reverse osmosis membrane-element test results // Desalination. - 1981. - V. 38. - P. 473-483.

(57) Промивний розчин для поліамідних мембран, який включає триполіфосфат натрію, дивонатрієву сіль етилендіамінтетраоцтової кислоти та воду, який **відрізняється** тим, що він додатково містить ізопропіловий спирт і аніонну поверхнево-активну речовину, і компоненти беруть при наступному співвідношенні, мас. %:

триполіфосфат натрію	1,5-3,5
дивонатрієва сіль етилендіамінтетраоцтової кислоти	0,6-1,0
спирт ізопропіловий	12,5-47,5
аніонна поверхнево-активна речовина	0,05-0,50
вода	решта.

Винахід відноситься до процесів розділення за допомогою напівпроникних мембран зворотним осмосом, а саме до промивки забруднених мембран при очищенні мінералізованих стічних вод, висококонцентрованих по органічним речовинам, і може бути використаний для відновлення характеристик мембран.

При експлуатації зворотноосмотичних установок поверхня напівпроникних мембран забруднюється відкладеннями різних речовин. Утворення відкладень приводить до зменшення як продуктивності, так і солезатримування мембран у зворотноосмотичному апараті [Ф.Н. Карелин. Обессоливание воды обратным осмосом. - М.: Стройиздат, 1988. - 208с. - С.56] [1].

Склад відкладень на зворотноосмотичних мембранах при обробці стічних вод надзвичайно різноманітний, особливо при очищенні стічних вод звалищ твердих побутових відходів (ЗТПВ), наприклад, у с. Великі Дмитровичі Київської області. Згідно проведеним нами дослідженням, указана вода може бути віднесена до мінералізованих вод хлоридного класу (вміст Cl^- іонів складає 2400мг/дм^3) із підвищеним вмістом іонів Na^+ (1400мг/дм^3), K^+ (1100мг/дм^3) і NH_4^+ (1800мг/дм^3), вміщує також іони Ca^{2+} (100мг/дм^3), Mg^{2+} (88мг/дм^3), близько 7мг/дм^3 іонів кольорових і важких металів, має високу колірність ($3072-5440$ град. біхромат-кобальтової шкали) і кількість органічних

(13) C2

(11) 76544

(19) UA

речовин, яка характеризується значенням хімічно-го споживання кисню 2343-5010 мг/дм³ O₂.

Наявний досвід експлуатації мембранних установок показує, що при очищенні вод подібного складу на поверхні мембран утворюються щільні осади сульфату та карбонату кальцію, гідроксидів заліза, малорозчинних сполук важких і кольорових металів, адсорбційні шари високомолекулярних органічних речовин [1, С.57, 65-67, 78, 102-104]. У результаті збільшується гідродинамічний опір мембран, що приводить до зниження їх питомої продуктивності та розділових характеристик.

При падінні продуктивності мембран на 10-15% слід здійснювати їх очищення [1, С.133].

Найбільше розповсюдження для очищення напівпроникних мембран і відновлення їх характеристик одержало використання промивних розчинів як метод, який найбільш ефективно відновлює експлуатаційні характеристики мембран [1, С.138]. Проте, незважаючи на накопичений до даного часу та узагальнений достатній досвід складання рецептур ефективних промивних розчинів від забруднень складного складу, аналіз літературних даних показує, що універсального промивного розчину для регенерації мембран, здатного відновлювати їх характеристики при експлуатації в різних умовах, на сьогодні не існує [Кавицкая А.А. Регенерация обратноосмотических мембран. - Химия и технология воды, 1990, т.12, №10, С.875-887] [2]. Відомі склади розроблені для конкретних видів мембранних забруднень із обов'язковим урахуванням хімічної природи очищуваної мембрани.

Відомі різні склади промивних розчинів для відновлення властивостей поліамідних мембран.

Так, відомий промивний розчин для очищення поліамідних мембран від органічних речовин, який містить 0,5-1 мг/дм перкарбонату натрію або калію [Ren Deqian. Cleaning and regeneration of membrane. - Desalination, 1987, V.62, p.363-371, P.369] [3].

Відомий також промивний розчин, який містить 0,05-0,5% двонатрієвої солі етилендіамінтетраоцтової кислоти та 0,1-1% перборату натрію [3, С.368].

Відомий промивний розчин для очищення мембран від відкладень органічних речовин, неорганічних колоїдів і оксидів металів, який містить 1% гексаметафосфату натрію [Dupont Co., Permasep Engineering Manual, E.I. Dupont de Nemours & Co., Sec. V, USA, 1982] [4].

Для очищення поліамідних мембран від органічних речовин, неорганічних колоїдів і силікатів при знесоленні морської води відомий промивний розчин, який містить 0,5% детергенту BIZ (Procter & Gamble, США) із коригуванням pH до 11,0 гідроксидом натрію [Ebrahim S., Malik K.A. Membrane fouling and cleaning at DROP. - Desalination, 1987, v.66, P.201-221, С.204] [5].

Аналогом детергенту BIZ, як показали дослідження, виконані в ВНДІ ВОДГЕО, є пральний порошок "Ока" [1. С.144].

Згідно з даними, що приведені в [Поверхностные явления и поверхностноактивные вещества: Справочник / А.А. Абрамзон, Л.Е. Боброва, Л.П. Зайченко и др. - Л.: Химия, 1984. - 393с. - С.323]

[6], пральний порошок "Ока" має такий склад, мас. %:

ПАР	15,0
у тому числі сульфонол	8,0
оксиетильовані жирні спирти	
в тому числі синтанол ДС	10
синтамид-5	-3,0
синтетичні жирні кислоти C ₁₇ -C ₂₀	4,0
триполіфосфат натрію	40,0
силікат натрію	5,0
бікарбонат натрію	10,0
карбоксиметилцелюлоза	1,0
оптичний вибілювач	0,3
віддушка	0,1-0,2
протеолітичні ензими 50000 од/г	2,0
вода	10,0
сульфат натрію	до 100.

Нами були випробувані промивні розчини [3, С.369; 3, С.368; 4; 5 "Ока"] для регенерації зворотньоосмотичних поліамідних мембран фірми Pall-Rohem (Німеччина) від відкладень, які утворилися при очищенні стічних вод ЗТПВ наведеного вище складу (див. стор. 1).

Про ефективність регенеруючої дії промивних розчинів робили висновки за зміною транспортних характеристик мембран, які були визначені відповідно з [Ю.И. Дытнерский. Обратный осмос и ультрафильтрация. - М.: Химия, 1976. - 352с. - С.18] [7]:

питомої продуктивності I_v ,

$$I_v = \frac{V}{S \cdot \tau}, \quad (1)$$

де V - об'єм фільтрату, одержаного за одиницю часу τ з одиниці робочої поверхні мембрани S , затримуючої здатності, що оцінювали за коефіцієнтом затримання іонів $Ca^{2+} R_{Ca^{2+}}$

$$R_{Ca^{2+}} = \frac{C_0 - C_\tau}{C_0}, \quad (2)$$

де C_0 і C_τ - концентрація іонів Ca^{2+} у розчині, що був поданий на мембрану та пройшов крізь неї, відповідно.

Вміст іонів Ca^{2+} у вихідній і очищеній стічній воді визначали комплексометричним методом [Унифицированные методы анализа вод. Под ред. Ю.Ю. Лурье. - М.: Химия, 1973. - 376с. - С.245-246] [8].

Визначення транспортних характеристик забруднених мембран, обробку їх промивним розчином і вимірювання транспортних характеристик очищених мембран здійснювали в зворотньоосмотичній комірці об'ємом 340 см³ і робочою площиною 22,9 см² із магнітною мішалкою, що обертається з кутовою швидкістю 500 об/хв.

Зразок забрудненої мембрани площиною 22,9 см² поміщали в комірку, куди заливали тестуючий розчин хлориду кальцію з концентрацією іонів Ca^{2+} , яка дорівнювала 10 г/дм³, і вимірювали питому продуктивність і коефіцієнт затримання іонів Ca^{2+} при робочому тиску 4,0 МПа. Потім у комірку заміняли тестуючий розчин промивним і промивали мембрану протягом години при робочому тиску 0,5 МПа. Потім промивний розчин видаляли, промивали комірку із мембраною дистильованою водою та знов заливали тестуючий розчин

із наступним визначенням транспортних характеристик вже відмитої мембрани.

Результати проведених випробувань наведені в таблиці 1 (приклади 1-4).

Таблиця 1

№ п/п	Використаний промивний розчин	$I_v \cdot 10^3, \text{м}^3/\text{м}^2\text{год}$		$\Delta I_v, \%$	$R_{Ca^{2+}}$	
		до промивки	після промивки		до промивки	після промивки
1	[3, С.369]	6,52	6,73	3,2	0,37	0,38
2	[3, С.368]	6,52	6,81	4,4	0,37	0,37
3	[4]	6,52	6,79	4,1	0,37	0,37
4	[5 "Ока"]	6,52	6,83	4,8	0,37	0,38
5	[9]	6,52	7,42	13,8	0,37	0,39

Як витікає з наведених у таблиці 1 даних, ефективність регенерації транспортних властивостей мембран відомими розчинами (таблиця 1, приклади 1-4) була незначною, що характеризується підвищенням питомої продуктивності мембрани після промивки (ΔI_v) на 3,2-4,8%; коефіцієнт затримання іонів Ca^{2+} практично не змінився.

Таким чином, основним недоліком відомих промивних розчинів для поліамідних мембран [3-5 "Ока"] при баромембранній обробці мінералізованих стічних вод ЗТПВ, висококонцентрованих по органічним речовинам, є низький ступінь регенерації мембран.

Найбільш близьким аналогом до винаходу за технічною сутністю та досягаємым результатом є промивний розчин для очищення поліамідних композитних мембран від органічних відкладень, змішаних колоїдів (органічні речовини, залізо, силікати) і сульфату кальцію [Элемент фильтрующий обратноосмотический (ЭРО). Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - Владимир: ВНИИСС, 1985. - С.13] [9].

Даний промивний розчин містить такі компоненти: триполіфосфат натрію - 0,2кг; двонатрієву сіль етилендіамінтетраоцтової кислоти - 0,08кг; воду - 10дм³ із коригуванням рН до 10,0 гідроксидом натрію. Згідно з нашими розрахунками, цей склад може бути виражений таким співвідношенням компонентів, мас. %:

триполіфосфат натрію	1,95
двонатрієва сіль етилендіамінтетраоцтової кислоти	0,78
вода	97,27.

Регенерацію мембран вказаним промивним розчином проводять при температурі 35°C протягом 60хв. рециркуляцією при тискові не більш, ніж 0,5МПа, та відносно високій швидкості потоку. По закінченні промивки промивний розчин зливають і установку промивають водою.

Нами була досліджена ефективність регенерації зворотноосмотичної поліамідної мембрани фірми Pall-Rohem (її питомої продуктивності та коефіцієнта затримання іонів Ca^{2+}) від відкладень, що утворилися при баромембранній обробці стічних вод ЗТПВ вказаного складу (стор. 1) із використанням відомого промивного розчину [9].

Проведені дослідження показали, що питома продуктивність мембрани, очищеної зі застосуванням відомого промивного розчину [9] протягом 1год. при 35°C і робочому тискові 0,5МПа підвищилася лише на 13,8%, тоді як коефіцієнт затри-

мування іонів Ca^{2+} практично не змінився (таблиця 1, приклад 5).

Таким чином, основним недоліком відомого складу промивного розчину [9] є недостатній ступінь очищення зворотноосмотичних мембран від забруднень, які утворилися при баромембранній обробці мінералізованих стічних вод ЗТПВ, висококонцентрованих по органічним речовинам, що характеризується незначним покращанням транспортних характеристик відмитої мембрани.

В основу винаходу поставлена задача удосконалити склад промивного розчину для поліамідних мембран шляхом додаткового введення в склад полярного органічного розчинника та аніонної поверхнево-активної речовини при їх оптимальному співвідношенні, що забезпечило б суттєве підвищення питомої продуктивності та коефіцієнта затримання іонів Ca^{2+} після промивки мембрани заявленим розчином від забруднень, які утворилися при очищенні стічних вод ЗТПВ.

Для вирішення поставленої задачі запропонований промивний розчин для поліамідних мембран, який містить триполіфосфат натрію, двонатрієву сіль етилендіамінтетраоцтової кислоти та воду, який, згідно з винаходом, містить додатково ізопропіловий спирт і аніонну поверхнево-активну речовину, і компоненти беруть при наступному співвідношенні, мас. %:

триполіфосфат натрію	0,15-0,35;
двонатрієва сіль етилендіамінтетраоцтової кислоти	0,06-0,10;
спирт ізопропіловий	12,5-47,5;
аніонна поверхнево-активна речовина	0,05-0,50;
вода	решта.

Відмінною ознакою заявленого промивного розчину є наявність у ньому ізопропілового спирту й аніонної поверхнево-активної речовини (АПАР).

Ізопропіловий спирт як інгредієнт промивного розчину був обраний з одноатомних спиртів насиченого ряду загальної формули $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$ із урахуванням розчинності у воді, здатності розчиняти та токсичності:

необмежену розчинність у воді мають метиловий, етиловий і пропілові спирти; починаючи з бутилового їх розчинність в воді обмежена та зменшується зі зростанням кількості вуглецевих атомів у ланцюгу [Дринберг С.А., Ицко Э.Ф. Растворители для лако-красочных материалов. - Л.: Химия, 1986. - 208с. - С.51] [10];

метиловий і етиловий спирти здатні розчиняти поліаміди [Краткая химическая энциклопедия. -

т.4. М.: Изд-во "Советская энциклопедия", 1965. - 1182с., С.127] [11];

з двох пропілових спиртів як розчиннику віддають перевагу ізопропіловому спирту, оскільки його токсичність значно нижча, ніж токсичність пропілового - гранично-допустима концентрація в повітрі робочого приміщення 980 і 10мг/м³ відповідно [10, С.173].

Вибір поверхнево-активної речовини (ПАР) як інгредієнта промивного розчину обумовлений наступним:

використання неіонних ПАР у промивному розчині для поліамідних мембран викликає різке зниження їх продуктивності внаслідок тенденції неіонних ПАР пластифікувати поліамідні мембрани [Larson R.E., Cadotte J.E., Petersen R.J. The FT-30 seawater reverse osmosis membrane-element test results. - Desalination, 1981, v.38, No.1/3. - p.473-483, P.478]; використання катіонних ПАР при приготуванні промивних розчинів для поліамідних мембран рекомендується уникати, оскільки в протилежному випадку може трапитися незворотна забивка мембран [9, с.1].

Нами показано, що при наявності в промивному розчині АПАР і ізопропілового спирту в поєднанні з рештою його інгредієнтів забезпечується значний ефект очищення мембрани. Цей результат досягається, як ми вважаємо, за рахунок гідрофілізації органічних забруднень на поверхні мембран і їх солюбілізації; це сприяє більш легкому переходу забруднень з мембранної поверхні в розчин, що виражається в підвищенні питомої

продуктивності мембрани та коефіцієнта затримання іонів Ca²⁺ після промивки.

Нами експериментально встановлено, що значний миючий ефект промивного розчину забезпечується надсумарним результатом дії АПАР і ізопропілового спирту.

Відомо, що ПАР проявляють миючу здатність і можуть привести при введенні в промивний розчин до підвищення його ефективності, що підтверджують дані таблиці 2: наприклад, при введенні в відомий промивний розчин [9] 0,09% додецілсульфату натрію питома продуктивність відмитої мембрани зростає на 21,5% (приклад 2), при введенні 0,40% додецілсульфату натрію - на 46,2% (приклад 3) порівняно зі зразком, відмитим відомим розчином [9] (приклад 1); затримання іонів Ca²⁺ змінюється незначно. При цьому введення в той же розчин тільки ізопропілового спирту, наприклад, у кількості 13,0 і 40,0% також сприяє збільшенню продуктивності мембрани після промивки, проте ефект у цьому випадку виражений слабкіше - продуктивність підвищується на 14,4 і 15,2% відповідно, підвищення коефіцієнта затримання іонів Ca²⁺ виражено слабо (приклади 3, 4), тобто кожен інгредієнт окремо не дає значного регенеруючого ефекту, і тільки сумісне використання зазначених інгредієнтів дозволяє одержати підвищення продуктивності мембрани на 90,2-193,2% і відновлює затримуючу здатність за іонами Ca²⁺ до 0,76-0,96, тобто при сумісному використанні АПАР і ізопропілового спирту в промивному розчині спостерігається надсумарний ефект підсилення миючої дії промивного розчину.

Таблиця 2

№ п/п	Вміст додецілсульфату натрію, %	Вміст ізопропілового спирту, %	I _v · 10 ³ , м ³ /м ² год		ΔI _v , %	R _{Ca²⁺}	
			до промивки	після промивки		до промивки	після промивки
1	-	-	6,52	7,42	13,8	0,37	0,39
2	0,09	-	6,52	7,92	21,5	0,37	0,42
3	0,40	-	6,52	9,53	46,2	0,37	0,58
4	-	13,0	6,52	7,46	14,4	0,37	0,41
5	-	40,0	6,52	7,51	15,2	0,37	0,42
6	0,09	13,0	6,52	12,40	90,2	0,37	0,76
7	0,40	40,0	6,52	19,12	193,2	0,37	0,96

Промивний розчин готують таким чином.

В ємність поміщають 15,0-35,0г триполіфосфату натрію, 6,0-10,0г дwonатрієвої солі етилендіамінтетраоцтової кислоти, 125,0-475,0г, або 159,9-607,8см³ ізопропілового спирту (ρ=0,7815г/см³) і 0,5-5,0г АПАР, доводять водою до 1дм³ і перемішують до повного розчинення інгредієнтів.

Одержують промивний розчин такого складу, мас. %:

триполіфосфат натрію	1,5-3,5;
дwonатрієва сіль етилендіамінтетраоцтової кислоти	0,6-1,0;
спирт ізопропіловий	12,5-47,5;
аніона поверхнево-активна речовина	0,05-0,50;

вода решта.

Для визначення регенеруючої дії одержаного розчину беруть зразок забрудненої мембрани, поміщають у зворотноосмотичну комірку та вимірюють питому продуктивність і коефіцієнт затримання іонів Ca²⁺ при робочому тискові 4,0МПа. Потім у комірці замінюють тестуючий розчин промивним і промивають мембрану протягом години при робочому тискові 0,5МПа. Після вилучення промивного розчину мембрану промивають дистильованою водою та визначають транспортні характеристики відмитої мембрани згідно приведеним раніше рівняннями (1) і (2).

Для приготування промивного розчину використовують такі речовини;

натрію триполіфосфат (NaТПФ)	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$,	ГОСТ 13493-77;
Етилендіамінтетраоцтової кислоти дивонатрієва сіль (трилон Б)	$(\text{HOOCCH}_2)_2\text{NC}_2\text{H}_4\text{N}(\text{CH}_2\text{COONa})_2$,	ГОСТ 10652-63;
спирт ізопропіловий (ІПС)	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$,	ГОСТ 9805-76;
АПАР:		
Натрію додецілсульфат (НаДДС)	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{OSO}_3\text{Na}$,	ТУ 6-09-64-70;
Суміш алкілбензолсульфонатів на основі гасу (сульфонол)	$\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{Na}$, де $n=12-18$	[6, С. 284].

Приклад виконання за винаходом.

В ємність поміщають 10,0г (2%) NaТПФ, 4,0г (0,8%) - трилону Б, 1,4г (0,28%) НаДДС, 187,5г або 239,9см³ ІПС (37,5%), 297,1см³ (59,42%) води. Суміш перемішують до повного розчинення інгредієнтів. Із використанням одержаного промивного розчину був промитий зразок мембрани від забруднень, які утворилися при баромембранній обробці мінералізованих стічних вод ЗТПВ, висококонцентрованих по органічним речовинам. Після промивки питома продуктивність збільшилася з 6,52 до 17,95·10⁻³ м³/м²год (на 175,3%), коефіцієнт затримання іонів Ca^{2+} - з 0,37 до 0,91 (таблиця 3, приклад 2).

Аналогічно прикладу конкретного виконання, були приготовлені промивні розчини, що містили інгредієнти як у діапазоні, що заявляється, так і при позамежних значеннях. Із використанням цих розчинів були промиті зразки мембран від забруднень, що утворилися при баромембранній обробці мінералізованих стічних вод ЗТПВ, висококонцентрованих по органічним речовинам, і визначені їх транспортні характеристики після промивки. Дані наведені в таблиці 3, приклади 1-11.

Експериментально встановлено, що заявлена кількість інгредієнтів у промивному розчині забезпечує високу ефективність промивки мембран від забруднень, що утворилися при баромембранній обробці мінералізованих стічних вод ЗТПВ, висококонцентрованих по органічним речовинам, що характеризується збільшенням продуктивності та

коефіцієнта затримання іонів Ca^{2+} (таблиця 3, приклади 1-9).

При використанні промивного розчину, що містить інгредієнти в кількості нижче заявленої межі, продуктивність і коефіцієнт затримання іонів Ca^{2+} після промивки забрудненої мембрани практично не змінюються, тобто промивний розчин такого складу не ефективний (таблиця 3, приклад 10).

При використанні промивного розчину, що містить інгредієнти в кількості, вищій від заявленої межі, після промивки забрудненої мембрани продуктивність і коефіцієнт затримання іонів Ca^{2+} погіршуються, як ми вважаємо, за рахунок набрякання мембрани, тобто промивний розчин такого складу вже впливає не тільки на поверхневі забруднення, але і на структуру самої мембрани (таблиця 3, приклад 11).

Переваги запропонованого складу промивного розчину для поліамідних мембран порівняно з відомим [9] полягають у наступному: забезпечуються високі миючі властивості, що проявляється в збільшенні продуктивності відмитої мембрани з 6,52 до 88,7-195,0%, тобто в 13,6-29,9 разів, а коефіцієнту затримання іонів Ca^{2+} з 0,37 до 0,75-0,97, тобто в 2,0-2,6 разів.

Позитивною рисою заявленого промивного розчину є відсутність необхідності його підігрівання при промивці, що знижує енергетичні витрати на процес промивки мембран.

Таблиця 3

№ п/п	Склад промивного розчину, мас. %						Характеристики мембрани				
	Na ТПФ	трилон Б	АПАР		ІПС	вода	l·10 ³ , м ³ /м ² год		Δl _v , %	R _{Ca} ²⁺	
			Na ДДС	сульфонол			до проми- вки	після про- мивки		до про- мивки	після промивки
за винаходом											
1	1,50	0,60	0,05	-	12,5	85,35	6,52	12,30	88,7	0,37	0,75
2	2,00	0,80	0,28	-	37,5	59,42	6,52	17,95	175,3	0,37	0,91
3	3,50	1,00	0,50	-	47,5	47,50	6,52	14,60	123,9	0,37	0,81
4	1,70	0,70	-	0,10	15,0	82,50	6,52	12,51	91,9	0,37	0,79
5	2,50	0,80	-	0,30	35,0	61,40	6,52	17,71	171,6	0,37	0,86
6	3,20	0,90	-	0,47	45,0	50,43	6,52	14,69	125,3	0,37	0,83
7	1,50	0,80	0,45	-	43,5	53,75	6,52	19,23	195,0	0,37	0,97
8	3,50	0,60	0,05	-	12,5	83,35	6,52	12,35	89,4	0,37	0,77
9	2,00	1,00	-	0,12	25,0	71,88	6,52	13,24	103,1	0,37	0,89
поза межні значення											
10	1,20	0,59	0,01	-	10,0	88,29	6,52	7,49	14,9	0,37	0,40
11	3,80	1,10	0,60	-	50,0	44,5	6,52	7,21	10,6	0,37	0,38
за відомим способом [9]											
12	1,95	0,78	-	-	-	97,27	6,52	7,42	13,8	0,37	0,39

