



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 76925

(13) C2

(51) МПК (2006)

B01D 61/14

B01D 61/16

C02F 1/44

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

## (54) СПОСІБ ОБРОБКИ СОЛЬОВОГО РОЗЧИНУ

1

(21) а200507836

(22) 08.08.2005

(24) 15.09.2006

(46) 05.09.2006, Бюл. №9, 2006р.

(72) Кавіцька Аліна Олексіївна, Кармазіна Тамара  
Василівна, Кононова Аліна Ігорівна, Скільська Ма-  
рта Дмитрівна(73) ІНСТИТУТ КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ ТА ХІМІЇ ВОДИ  
ІМ. А.В. ДУМАНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕ-  
МІЇ НАУК УКРАЇНИ

(56) RU 2186142 C1, 27.07.2002

US 4089778 A, 16.05.1978

2

US 4812240 A, 14.03.1989

(57) 1. Спосіб обробки сольового розчину, що  
включає його фільтрування через ультрафільтра-  
ційну мембрану, який **відрізняється** тим, що як  
ультрафільтраційну мембрану використовують  
поліамідну мембрану і фільтрування здійснюють в  
присутності кислотного поліелектроліту із вмістом  
сульфогруп 8-15мас.% від молекулярної маси по-  
ліелектроліту.2. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що вико-  
ристовують поліелектроліт з концентрацією 10-  
40мг/дм<sup>3</sup> в сольовому розчині.

Винахід відноситься до області розділення со-  
льових розчинів з використанням ультрафільтрації  
і може бути застосований, наприклад, в електрон-  
ній промисловості.

Відомий спосіб обробки розведених водних  
сольових розчинів. Для цього сольовий розчин з  
низькою мінералізацією солей обробляють в ре-  
жимі неперервної ультрафільтрації при низькому  
тиску з застосуванням широкопористої мембрани  
[Влияние заряда на характеристики ультрафиль-  
трационного разделения растворов неорганических  
электролитов и ПАВ / Е.В. Мигалатий, А.Н. Тара-  
сов, Е.В. Купчинская и др. // Химия и технология  
воды. - 1987. - Т.9. - №2. - С.213-217] [1].

Суть способу полягає в наступному. Сольовий  
розчин з концентрацією хлориду калію 1·10<sup>-5</sup>, 0,5-  
10<sup>-4</sup>, 1·10<sup>-3</sup> моль/дм<sup>3</sup> фільтрують через ультрафіль-  
траційну ацетатцелюлозну мембрану УАМ-300 із  
середнім радіусом пор 15нм в установці неперер-  
вної дії при робочому тиску 0,5МПа. Отримують  
фільтрат, якість якого характеризує селективність  
R (%). Відомо [Ю.И. Дытнерский. Обратный осмос  
и ультрафильтрация. - М.: "Химия", 1978. - С.18]  
[2], що селективність процесу за допомогою напів-  
проникних мембран зазвичай визначають наступ-  
ним чином:

$$R = [(X_1 - X_2) / X_1] \cdot 100\% = [1 - X_2 / X_1] \cdot 100\%,$$

де X<sub>1</sub> і X<sub>2</sub> - концентрації розчиненої речовини у  
воді, що обробляється (вихідній воді), і у фільтраті,

відповідно.

Дані по селективності мембрани за іонами ка-  
лію і за іонами хлору представлені в Таблиці 1.

Таблица 1

Концентрація солі у вихідній воді, моль/дм <sup>3</sup>	Селективність, R, %	
	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
1,0·10 <sup>-5</sup>	55	54
0,5·10 <sup>-4</sup>	43	43
1,0·10 <sup>-3</sup>	20	20

Як видно із даних Таблиці 1 з підвищенням  
концентрації солі у вихідній воді селективність  
мембрани зменшується. Дані по продуктивності  
мембрани в способі [1] не наведені. Однак, як ви-  
пливає із технічної суті, одночасно із зменшенням  
селективності мембрани зменшується її продуктив-  
ність.

Таким чином, недоліком відомого способу [1] є  
погіршення характеристик розділення мембрани,  
що виражається в зменшенні селективності і про-  
дуктивності при обробці сольових розчинів.

Найбільш близьким аналогом до винаходу за  
технічною суттю і результатом, що досягається, є  
спосіб ультрафільтрації сольових розчинів з низь-  
кою мінералізацією солей, викладений в статті:  
[Е.А. Цапюк, Е.Е. Даниленко, И.П. Сапон. Разде-  
ление бинарных растворов электролитов на ульт-

(13) C2

(11) 76925

(19) UA

рафилтрационных мембранах // Химия и технология воды. - 1990. - Т.12, №3. - С.249-251 [3]. Спосіб полягає в тому, що сольовий розчин з концентрацією солі хлориду калію  $1 \cdot 10^{-3}$  і  $3,3 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup> фільтрують в режимі непроточної ультрафільтрації через ультрафільтраційну ацетатцелюлозну мембрану УАМ-100 з радіусом пор 5нм при тиску 0,1-0,5МПа. Використовують стандартне ультрафільтраційне устаткування - комірку ФМ-02-1000 [М.Т.Брык, Е.А.Цапюк, А.А.Твердый. Мембранная технология в промышленности. - К.: "Техника", 1990. - С.93] [4]. Результати наведені в Таблиці 2.

Таблица 2

Робочий тиск, Р, МПа	Концентрація солі у вихідній воді, С, моль/дм <sup>3</sup>	Селективність, R, %	Продуктивність, J, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·с
0,1	$1 \cdot 10^{-3}$	25	$0,2 \cdot 10^{-5}$
0,2	$1 \cdot 10^{-3}$	42	$0,4 \cdot 10^{-5}$
0,3	$1 \cdot 10^{-3}$	52	$0,6 \cdot 10^{-5}$
0,5	$1 \cdot 10^{-3}$	52	$1,0 \cdot 10^{-5}$
0,1	$3,3 \cdot 10^{-3}$	10	$0,2 \cdot 10^{-5}$
0,2	$3,3 \cdot 10^{-3}$	18	$0,4 \cdot 10^{-5}$
0,3	$3,3 \cdot 10^{-3}$	24	$0,6 \cdot 10^{-5}$
0,5	$3,3 \cdot 10^{-3}$	30	$1,0 \cdot 10^{-5}$

Як видно із даних Таблиці 2 при одному і тому ж робочому тиску із збільшенням концентрації солі у вихідній воді в 3,3 рази селективність мембрани зменшується в 1,7-2,5 рази.

Як відомо [М. Мулдер. Введение в мембранную технологию. - М.: "Мир", 1999. - С.453] [5], до основних технологічних показників процесу ультрафільтрації відносяться:

- висока селективність мембрани і її стабільність в процесі ультрафільтрації;
- висока продуктивність мембрани і її стабільність в процесі ультрафільтрації;
- високий ступінь відбору фільтрату, що характеризується відношенням кількості фільтрату до кількості води, що обробляється.

Дані про зміну продуктивності мембран в процесі ультрафільтрації, а також про ступінь відбору фільтрату в способі [3] не наведені.

З метою отримання вищенаведених технологічних показників нами були проведені досліді відповідно відомому способу [3]. Обробці піддавали сольовий розчин з низькою мінералізацією солі хлориду калію  $1 \cdot 10^{-3}$  і  $3,3 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>. Використовували комірку ФМ-02-1000. Комірку оснащали ацетатцелюлозною мембраною УФМ-100 площею  $95 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup> із середнім радіусом пор 5нм. Обробку проводили в режимі непроточної ультрафільтрації при постійному робочому тиску (Р) 0,1, 0,2МПа. В процесі ультрафільтрації через кожні 10 хвилин при Р=0,1 та 0,2МПа і кожні 5 хвилин при Р=0,5МПа обробки проводили контроль селективності, продуктивності мембрани і ступеню відбору фільтрату. Необхідною умовою для визначення зазначених характеристик, попередньо нами визначений, є час виходу на стаціонарний режим ультрафільтрації, який складає 0,17год.

1. Селективність мембрани і її стабільність в

процесі ультрафільтрації:

- селективність кількісно визначали за затриманням іонів калію у відповідності до загальноприйнятої [2, с.18] формули:

$$R = [C(K) - C(\Phi)] / C(K) \cdot 100\% \quad (1)$$

де: C(K) - концентрація іонів калію у воді, що обробляється, мг/дм<sup>3</sup>;

C(Φ) - концентрація іонів калію у фільтраті, мг/дм<sup>3</sup>.

- стабільність селективності мембрани в процесі ультрафільтрації визначали за формулою:

$$\Delta R_1 = [(R_{0,17} - R_1) / R_{0,17}] \cdot 100\% \quad (2)$$

де: R<sub>0,17</sub> - селективність мембрани при виході на стаціонарний режим;

R<sub>1</sub> - селективність по закінченні 1 години ультрафільтрації.

2. Продуктивність мембрани і її стабільність в процесі ультрафільтрації:

- продуктивність визначали відповідно до загальноприйнятого методу

$$J = V / S \cdot \tau, \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с} \text{ або м/с} \quad (3)$$

де: V - об'єм фільтрату, м<sup>3</sup>;

S - площа мембрани, м<sup>2</sup>;

τ - час відбору фільтрату, с

- стабільність продуктивності в процесі ультрафільтрації характеризували зміною продуктивності в часі і розраховували за формулою:

$$\Delta J_1 = [(J_{0,17} - J_1) / J_{0,17}] \cdot 100\% \quad (4)$$

де: J<sub>0,17</sub> - продуктивність мембрани при виході на стаціонарний режим;

J<sub>1</sub> - продуктивність по закінченні 1 години ультрафільтрації.

3. Ступінь відбору фільтрату:

- ступінь відбору фільтрату розраховували відповідно до загальноприйнятих в мембранній технології методів [5, с.454] за формулою:

$$Z = [V(P) / W(0)] \cdot 100\% \quad (5)$$

де: V(P) - об'єм фільтрату;

W(0) - об'єм води, що підлягає обробці.

Отримані характеристики процесу - селективність і продуктивність, а також ступінь відбору фільтрату наведені в Таблиці 3, приклади 28-33.

Як показали результати наших дослідів при обробці сольових розчинів відповідно до відомого способу [3] при постійному робочому тиску із збільшенням концентрації солі у воді, що обробляється, спостерігається зменшення селективності в 1,6-2,3 рази в стаціонарному режимі ультрафільтрації і в 1,6-2,9 раз по закінченні 1 години ультрафільтрації.

Таким чином, ці результати узгоджуються з даними способу [3]. Однак при цьому нами показано, що і селективність, і продуктивність по закінченні 1 години ультрафільтрації також зменшуються. В залежності від робочого тиску, що застосовується, ΔR змінюється від 11-30%, а ΔJ - від 9 до 25%.

Відомо [5, с.454], що важливою характеристикою мембранного процесу є ступінь відбору фільтрату (Z). Чим вищий Z, тим більш економічний процес. Слід відмітити, що при низькому тиску Р=0,1 і Р=0,2МПа в дослідях за способом [3] із збільшенням концентрації солі спостерігається низька ступінь відбору фільтрату. Тільки при збільшенні тиску до 0,5МПа досягається достатньо

високий ступінь відбору фільтрату - 38,1% та 48,5%.

Таким чином, недоліками відомого способу обробки води [3] є: суттєве зменшення селективності мембрани із збільшенням концентрації солі у воді, що обробляється, зменшення селективності і продуктивності мембрани в процесі ультрафільтрації, а також низький ступінь відбору фільтрату особливо при малих значеннях тиску.

Задачею винаходу є розробка способу обробки сольового розчину ультрафільтрацією, в якому використання ультрафільтраційної мембрани з іншою хімічною природою поверхні і фільтрування сольового розчину в присутності поліелектроліта із сильними кислотними групами, забезпечило б зростання ефективності процесу за рахунок покращення розділювальних (рос. разделительных) характеристик мембрани: високої селективності і її стабільності в процесі ультрафільтрації; високої продуктивності і її стабільності в процесі ультрафільтрації; високого ступеню відбору фільтрату, а також призвело б до суттєвого зменшення негативного впливу збільшення концентрації солі у воді, що обробляється, на селективність мембрани.

Для вирішення поставленої задачі запропоновано спосіб обробки сольового розчину, що включає фільтрування останнього через ультрафільтраційну мембрану, в якому, відповідно до винаходу, як ультрафільтраційну мембрану використовують поліамідну мембрану і фільтрування проводять в присутності кислотного поліелектроліту (ПЕ) із вмістом сульфогруп 8-15% мас. від молекулярної маси поліелектроліту, причому використовують поліелектроліт з концентрацією 10-40 мг/дм<sup>3</sup>.

Нами показано, що при фільтруванні сольового розчину через поліамідну ультрафільтраційну мембрану, яка характеризується позитивним зарядом поверхні, в присутності поліелектроліту, кислотні властивості якого забезпечуються сильними сульфогрупами, ймовірно, реалізується процес адсорбції/десорбції із встановленням адсорбційної рівноваги поліелектроліт-мембрана, в результаті якої відбувається як зростання гідрофільності мембрани, так і перезарядка поверхні і порового простору мембрани з позитивного на негативний заряд.

В наведених умовах в процесі ультрафільтрації формується мембрана з новим комплексом фізико-хімічних властивостей, які забезпечують високу селективність і продуктивність мембрани, стабільність цих показників в часі, високу ступінь відбору фільтрату, а також призводять до суттєвого зменшення негативного впливу збільшення концентрації солі у вихідній воді на селективність мембрани.

Спосіб реалізується наступним чином.

Готували розчин з низькою концентрацією солі хлориду калію KCl марки "хч" -  $1 \cdot 10^{-3}$ ,  $3,3 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>. В приготований розчин солі вводили поліелектроліт у вигляді водного розчину лігносульфонату натрію (ЛС-Na) в кількості, котра забезпечувала його концентрацію 10-40 мг/дм<sup>3</sup>. Лігносульфонат натрію виділяли із сульфитного шолоку (рос. щелока) Слоскського ЦБК відповідно до методики [М.Н.Цыпкина, И.М.Балашова. К методике

разделения лигносульфоновых и углеводсульфоновых кислот // Журнал прикладной химии. - 1959. 32. - С.166] [6]. Лігносульфонат натрію в сухому вигляді являє собою порошок світло-коричневого кольору, який добре розчиняється у воді. Отриманий лігносульфонат натрію фракціонували по молекулярній масі за методикою, викладеною в [Ф.И.Парашина, В.В.Елкин, Н.Н.Шорыгина. Исследование нитролигносульфоновых кислот // Химия древесины. - 1972. 11. - С.75-76] [7]. Використовували фракції лігносульфонату натрію з молекулярною масою 5000-45000, в яких вміст сульфогруп складав 8-15% мас. від молекулярної маси ЛС-Na. Вміст сульфогруп визначали за методикою, викладеною в [Л.Н.Можейко, В.Н.Сергеева, Л.А.Гринева, Д.Ю.Балтере. Исследование лигносульфоновых кислот, выделенных из щелоков лабораторных и заводских марок // Химия древесины. - Т.93. - №11. - 1972. - С.77-85] [8].

Використовували комірку ФМ-02-1000. Комірку оснащали поліамідною ультрафільтраційною мембраною марки ПА-20 (виробник "МИФИЛ", Беларусь) площею  $95 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  із середнім радіусом пор 5,4 нм. Обробку проводили в режимі непроточної ультрафільтрації при постійному тиску 0,1 та 0,2 МПа протягом 1 год. В процесі ультрафільтрації через кожні 10 хвилин при  $P=0,1 \text{ МПа}$  і 5 хвилин при  $P=0,2 \text{ МПа}$  обробки проводили контроль селективності, продуктивності і ступеню відбору фільтрату.

Селективність мембрани та її стабільність в процесі ультрафільтрації визначали за формулами (1) і (2) відповідно:

$$R = [C(K) - C(\Phi)] / C(K) \cdot 100\% \quad (1)$$

$$\Delta R_1 = [(R_{0,17} - R_1) / R_{0,17}] \cdot 100\% \quad (2)$$

Для цього в кожній відібраній пробі фільтрату визначали концентрацію іонів калію  $C(\Phi)$ , застосовуючи метод емісійної полуменевої фотометрії. Використовували прилад ПАЖ-2. Концентрацію іонів калію в оброблюваній воді визначали розрахунковим методом за рівнянням матеріального балансу потоків фільтрату і води, що обробляється, за методикою [2, с.239]:

$$V(K) \cdot C(K) + V(\Phi) \cdot C(\Phi) = W(0) \cdot C(0) \quad (6)$$

де:  $V(K)$  - об'єм води, що обробляється, в момент відбору проби фільтрату, мл;

$C(K)$  - концентрація іонів калію у воді, що обробляється, в момент відбору проби фільтрату, мг/дм<sup>3</sup>;

$V(\Phi)$  - об'єм фільтрату, мл;

$C(\Phi)$  - концентрація іонів калію в фільтраті, мг/дм<sup>3</sup>;

$W(0)$  - об'єм води, що підлягає обробці, мл;

$C(0)$  - концентрація іонів калію в воді, що підлягає обробці, мг/дм<sup>3</sup>.

Продуктивність мембрани та її стабільність в процесі ультрафільтрації визначали за формулами (3) і (4) відповідно.

$$J = V / S \cdot \tau, \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{с} \text{ або м/с} \quad (3)$$

$$\Delta J_1 = [(J_{0,17} - J_1) / J_{0,17}] \cdot 100\% \quad (4)$$

Ступінь відбору фільтрату визначали за формулою (5).

$$Z = [V(P) / W(0)] \cdot 100\% \quad (5)$$

Приклад виконання за винаходом

Для дослідження технологічних характеристик мембрани в процесі ультрафільтрації використо-

ували розчин солі KCl з концентрацією  $1 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>. Розчин солі готували розчиненням наважки солі KCl марки "хч" масою 0,0746г в  $990 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup> дистильованої води.

Робочий розчин поліелектроліту ЛС-На з концентрацією 1г/дм<sup>3</sup> готували, розчиняючи в 1дм<sup>3</sup> дистильованої води 1г видаленого із сульфитного щолоку Слокського ЦБК ЛС-На. Використовували фракцію ЛС-На з молекулярною масою 45000 і вмістом сульфогруп (SO<sub>3</sub>H) 15% мас. від молекулярної маси поліелектроліту.

В приготований розчин солі KCl вводили 10мл робочого розчину ЛС-На, що забезпечувало його концентрацію 10мг/дм<sup>3</sup>.

Досліди проводили в комірці ФМ-02-1000. Використовували поліамідну мембрану ПА-20 (виробник "МИФИЛ", Білорусія) із середнім радіусом пор 5,4нм. Площа мембрани  $95 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Мембрану поміщали в комірку. Розчин солі з введенням в нього поліелектролітом, об'єм якого складав  $1 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>, заливали в комірку і перемішували мішалкою протягом 2 хвилин. Інтенсивність перемішування складала 500об./хв. Потім із комірки відбирали пробу об'ємом 10мл для визначення концентрації іонів калію в приготованому розчині. Ультрафільтрацію здійснювали в непроточному режимі при робочому тиску 0,1МПа. В процесі обробки кожні 10 хвилин проводили контроль селективності, продуктивності, а також ступеню відбору фільтрату. Визначали час виходу процесу ультрафільтрації на стаціонарний режим фільтрування. Він склав 0,17год.

Технологічні характеристики мембрани в стаціонарному режимі фільтрування були наступні.

Селективність за формулою (1):

$$R_{0,17} = [C(K) - C(\Phi)] / C(K) \cdot 100\% = [40,23 - 25,00 / 40,23] \cdot 100\% = 0,3785 \cdot 100 = 37,85\% = 37,9\%.$$

Із формули (6):

$$C(K) = [W(0) \cdot C(K) - V(\Phi) \cdot C(\Phi)] / [W(0) - V(\Phi)] = [(990 \cdot 10^{-6} \cdot 39,00) - (80 \cdot 10^{-6} \cdot 25,00)] / [990 \cdot 10^{-6} - 80 \cdot 10^{-6}] = 40,23 \text{ мг/дм}^3,$$

де:  $C(0) = 39,00$  - концентрація іонів калію в воді, що підлягає обробці, (відповідає концентрації солі KCl  $1 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>) мг/дм<sup>3</sup>;

$W(0) = 990 \cdot 10^{-6}$  - об'єм води, що підлягає обробці, м<sup>3</sup>;

$C(K) = 40,23$  - концентрація іонів калію у воді, що обробляється, в момент відбору проби фільтрату, мг/дм<sup>3</sup>;

$W(0) - V(\Phi) = 910 \cdot 10^{-6}$  - об'єм води, що обробляється, в момент відбору проби фільтрату, м<sup>3</sup>;

$C(\Phi) = 25,00$  - концентрація іонів калію в фільтраті, мг/дм<sup>3</sup>;

$V(\Phi) = 80 \cdot 10^{-6}$  - об'єм фільтрату, м<sup>3</sup>.

Продуктивність за формулою (3):

$$J_{0,17} = 80 \cdot 10^{-6} / (95 \cdot 10^{-4}) \cdot 636 = 1,324 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с} = 1,324 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с},$$

де:  $V(\Phi) = 80 \cdot 10^{-6}$  - об'єм фільтрату, м<sup>3</sup>;

$S = 95 \cdot 10^{-4}$  - площа мембрани, м<sup>2</sup>;

$\tau = 636$  - час відбору фільтрату, с.

Ступінь відбору фільтрату за формулою (5):

$$Z_{0,17} = (80 \cdot 10^{-6} / 990 \cdot 10^{-6}) \cdot 100\% = 8,08\%,$$

де:  $V(\Phi) = 80 \cdot 10^{-6}$  - об'єм фільтрату, м<sup>3</sup>;

$W(0) = 990 \cdot 10^{-6}$  - об'єм води, що підлягає обробці, м<sup>3</sup>.

Технологічні характеристики мембрани по закінченні 1 години ультрафільтрації були наступні: селективність  $R_1 = 37,9\%$ , продуктивність  $J_1 = 1,311 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/с, ступінь відбору фільтрату  $Z_1 = 39,0\%$ . Стабільність селективності і продуктивності в процесі ультрафільтрації визначали за формулами (2) і (4) відповідно:

$$\Delta R_1 = [(37,9 - 37,8) / 37,9] \cdot 100\% = 0,26\%,$$

$$\Delta J_1 = [(1,32 - 1,31) / 1,32] \cdot 100\% = 0,757\% = 0,76\%.$$

Отримані дані наведені в таблиці 3, приклад 5.

Аналогічно прикладу виконання за винаходом були здійснені досліди по обробці сольового розчину з використанням поліелектроліту з різним вмістом сульфогруп і різною його концентрацією, як в діапазоні, що заявляється, так і при позамежних значеннях.

Встановлено, що реалізація способу ультрафільтрації, що заявляється, на поліамідній мембрані в умовах використання кислотного ПЕ із заявленими вмістом сульфогруп 8-15% мас. і концентрацією ПЕ 10-40мг/дм<sup>3</sup> при концентрації солі у вихідній воді  $1 \cdot 10^{-3}$ ,  $3,3 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup> і величинах робочого тиску 0,1 та 0,2МПа, приводить до високих технологічних показників процесу:

- селективність 33,0%-53,8% та її стабільність в процесі ультрафільтрації (0,24%-1,33%);

- продуктивність  $1,21 \cdot 10^{-5}$ - $4,27 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/с та її стабільність в процесі ультрафільтрації (0,23%-0,82%);

- ступінь відбору фільтрату 37,5%-55,8% (Таблиця 3, приклади 1-17).

При позамежному зниженні вмісту сульфогруп в ПЕ із збільшенням концентрації солі у вихідній воді недостатня кількість сильних сульфогруп, як ми припускаємо, призводить до різкого зменшення селективності, продуктивності та їх стабільності в процесі ультрафільтрації, а також до зменшення ступеню відбору фільтрату при малому робочому тиску 0,1МПа (Таблиця 3, приклади 18, 19). Аналогічна картина зниження вказаних технологічних характеристик при позамежному вмісту сульфогруп в ПЕ спостерігається і у випадку збільшення тиску до 0,2МПа (Таблиця 3, приклади 22, 23).

При позамежному збільшенні вмісту сульфогруп в поліелектроліті із збільшенням концентрації солі у вихідній воді, надлишок сульфогруп, ймовірно, призводить частково до незворотньої адсорбції поліелектроліта на поверхні мембрани, що неминуче зменшує всі технологічні показники ( $R$ ,  $\Delta R$ ,  $I$ ,  $\Delta J$ ,  $Z$ ), як при  $P = 0,1$ МПа (Таблиця 3, приклади 20, 21), так і при  $P = 0,2$ МПа (Таблиця 3, приклади 24, 25).

Нижня межа концентрації поліелектроліту, що заявляється, обмежена тим, що при позамежному зниженні концентрації його до 7мг/дм<sup>3</sup>, як ми можемо припустити, переважає процес десорбції поліелектроліту з поверхні мембрани, що в свою чергу призводить до різкого погіршення технологічних характеристик в процесі обробки сольового розчину (Таблиця 3, приклад 26).

Верхня межа концентрації ПЕ, що заявляється, обмежена тим, що при позамежному збільшенні його концентрації, наприклад, до 45мг/дм<sup>3</sup>, ймовірно, відбувається незворотне осадоутворення ПЕ на поверхні мембрани, що ще в більшій мірі погіршує всі технологічні характеристики (Таблиця

3, приклад 27). Нами показано, що збільшення тиску до 0,2МПа підсилює процес незворотного осадоутворення, що призводить до недопустимо низької селективності і продуктивності мембрани з технологічної точки зору.

Переваги запропонованого способу обробки сольового розчину в порівнянні з відомим [3] підтверджені даними Таблиці 3 і полягають у наступному.

Реалізація способу, що заявляється, забезпечує збільшення ефективності ультрафільтрації за рахунок покращення розділювальних характеристик мембрани:

- селективність мембрани збільшується з 20-35% до 33-53,8%, тобто в 1,54-1,65 рази при  $P=0,1\text{МПа}$  і  $P=0,2\text{МПа}$  із забезпеченням високої стабільності ( $\Delta R=0,24-1,33\%$ ) в процесі ультрафільтрації;

- продуктивність мембрани збільшується з  $0,16 \cdot 10^{-5}-0,30 \cdot 10^{-5}\text{м/с}$  до  $1,21 \cdot 10^{-5}-4,27 \cdot 10^{-5}\text{м/с}$ , тобто в 7,5-14 раз при  $P=0,1\text{МПа}$  і  $P=0,2\text{МПа}$  із забезпеченням її високої стабільності ( $\Delta J=0,23-0,82\%$ );

- ступінь відбору фільтрату збільшується з 8,1-22,2% до 37,5-55,8%, тобто в 2,5-4,6 рази при

$P=0,1\text{МПа}$  і  $P=0,2\text{МПа}$ ;

- суттєво зменшується негативний вплив концентрації солі у воді, що обробляється, на селективність мембрани: при підвищенні концентрації солі в 3,3 рази селективність практично не змінюється і складає 33,0-38,4% при  $P=0,1\text{МПа}$  і  $P=0,2\text{МПа}$ , в той час, як у відомому способі [3], селективність зменшується з 20% до 7%, тобто в ~3 рази при  $P=0,1\text{МПа}$  і з 35% до 15%, тобто в 2,3 рази при  $P=0,2\text{МПа}$ .

Слід підкреслити, що у відомому способі [3] висока селективність, наприклад 45%, досягається тільки при збільшенні тиску до 0,5МПа при концентрації солі у воді, що обробляється,  $1 \cdot 10^{-5}\text{моль/дм}^3$ . Однак, із збільшенням концентрації солі у воді, що обробляється, в 3,3 рази селективність зменшується до 28%, навіть при застосуванні високого тиску - 0,5МПа. Проведення процесу обробки сольового розчину при тиску (0,5МПа), який є граничним для ультрафільтрації, економічно не вигідно з точки зору високих енерговитрат і додаткових особливих вимог до апаратурного оснащення.

Таблиця 3

№	Лігносульфонат натрію		Концентрація КСІ у вихідній воді, моль/дм <sup>3</sup>	Робочий тиск Р, МПа	Час виходу на стаціонарний режим, τ, год.			Тривалість ультрафільтрації τ, год.				
	Вміст суль- фогруп, %	Концентрація, мг/дм <sup>3</sup>			0,17			1,0				
					R <sub>0,17</sub> , %	J <sub>0,17</sub> ·10 <sup>-5</sup> , м/с	Z <sub>0,17</sub> , %	R <sub>1</sub> , %	ΔR, %	I <sub>1</sub> ·10 <sup>-5</sup> , м/с	ΔI, %	Z <sub>1</sub> , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
За винаходом												
1	8	10	1·10 <sup>-3</sup>	0,1	37,5	1,30	8,0	37,0	1,33	1,29	0,77	38,4
2	8	10	3,3·10 <sup>-3</sup>	0,1	33,2	1,22	7,9	33,0	0,60	1,21	0,82	37,5
3	13	10	1·10 <sup>-3</sup>	0,1	37,8	1,34	8,1	37,7	0,27	1,33	0,75	39,4
4	13	10	3,3·10 <sup>-3</sup>	0,1	33,1	1,31	8,0	33,0	0,30	1,30	0,77	38,3
5	15	10	1·10 <sup>-3</sup>	0,1	37,9	1,32	8,1	37,8	0,26	1,31	0,76	39,0
6	15	10	3,3·10 <sup>-3</sup>	0,1	33,5	1,29	7,0	33,4	0,30	1,28	0,78	38,4
7	8	40	3,3·10 <sup>-3</sup>	0,1	33,8	1,27	7,0	33,7	0,30	1,26	0,79	38,0
8	15	40	3,3·10 <sup>-3</sup>	0,1	34,0	1,28	7,0	33,8	0,59	1,27	0,78	38,0
9	8	40	1·10 <sup>-3</sup>	0,1	37,7	1,30	6,9	37,6	0,27	1,29	0,77	38,4
10	15	40	1·10 <sup>-3</sup>	0,1	41,3	1,36	7,8	41,0	0,73	1,35	0,74	40,0
11	8	20	3,3·10 <sup>-3</sup>	0,1	33,3	1,32	8,0	33,2	0,30	1,31	0,76	38,9
12	8	10	3,3·10 <sup>-3</sup>	0,2	37,0	3,80	12,6	36,9	0,27	3,79	0,26	55,7
13	8	40	1·10 <sup>-3</sup>	0,2	53,9	4,15	13,2	53,8	0,19	4,14	0,24	54,9
14	15	10	3,3·10 <sup>-3</sup>	0,2	38,1	3,82	13,3	38,0	0,26	3,81	0,26	51,0
15	15	40	3,3·10 <sup>-3</sup>	0,2	38,5	3,84	13,5	38,4	0,26	3,83	0,26	53,0
16	15	10	1·10 <sup>-3</sup>	0,2	42,2	4,28	13,5	42,1	0,24	4,27	0,23	55,7
17	8	10	1·10 <sup>-3</sup>	0,2	49,0	4,28	13,5	48,7	0,61	4,27	0,23	55,8
Поза межні												
18	7	40	1·10 <sup>-3</sup>	0,1	37,6	1,30	7,7	37,4	0,53	1,29	0,77	38,1
19	7	40	3,3·10 <sup>-3</sup>	0,1	29,0	1,10	5,6	28,5	1,72	1,00	9,09	33,8
20	16	10	1·10 <sup>-3</sup>	0,1	27,5	1,33	8,1	25,8	6,20	1,32	0,75	39,0
21	16	10	3,3·10 <sup>-3</sup>	0,1	33,2	1,00	5,5	33,1	0,30	0,95	5,00	38,6
22	7	10	1·10 <sup>-3</sup>	0,2	38,0	3,80	12,5	37,7	0,79	3,71	2,37	49,2
23	7	10	3,3·10 <sup>-3</sup>	0,2	35,5	3,69	11,8	33,1	6,76	3,40	7,86	47,0
24	16	10	1·10 <sup>-3</sup>	0,2	42,2	4,26	13,1	42,1	0,24	4,20	1,41	50,1
25	16	10	3,3·10 <sup>-3</sup>	0,2	38,0	3,58	10,1	37,8	0,53	3,31	7,54	46,7
26	15	7,0	1·10 <sup>-3</sup>	0,1	28,3	1,26	6,5	28,2	0,35	1,19	5,56	34,8
27	12	45	1·10 <sup>-3</sup>	0,1	26,3	1,17	6,0	26,2	0,38	0,90	23,08	34,3
За способом [3]												
28			1·10 <sup>-3</sup>	0,1	23,0	0,21	1,06	20,0	13	0,16	24	8,1
29			1·10 <sup>-3</sup>	0,2	40,0	0,40	2,12	35,0	13	0,30	25	22,2
30			1·10 <sup>-3</sup>	0,5	50,0	1,11	5,30	45,0	10	0,97	13	48,5
31			3,3·10 <sup>-3</sup>	0,1	10,0	0,20	1,01	7,0	30	0,17	20	7,6
32			3,3·10 <sup>-3</sup>	0,2	18,0	0,39	1,92	15,0	11	0,35	10	20,2
33			3,3·10 <sup>-3</sup>	0,5	32,0	1,03	5,05	28,0	13	0,94	9	38,1

