

## КОМПОЗИТНІ МЕМБРАНИ НА ОСНОВІ ФЛУОРОВМІСНИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ МЕМБРАННОЇ ДИСТИЛЯЦІЇ

*Розроблено методику формування композитних мембран, на основі кополімеру вініліденфлуориду з тетрафлуоретиленом, модифікованих олігомерними силосанамі різної природи та молекулярної маси. Досліджено фізико-хімічні властивості отриманих мембран методами: ІЧ-спектроскопії, диференційного термогравіметричного аналізу, крайового кута змочування та механічні властивості (міцність на розрив, відносне подовження при розриві). Досліджено транспортні характеристики отриманих мембран (продуктивність, селективність) щодо низькомолекулярного електроліту (NaCl) та високомінералізованого модельного розчину шахтних вод залежно від температури процесу.*

**Ключові слова:** композитні мембрани, флуоровмісні полімери, мембранна дистиляція, олігомерні силосани.

Велика кількість шахтних вод є небезпечною екологічною проблемою, що обумовлено природою солей і їхньою концентрацією. Потрапляння шахтних вод у поверхневі води викликає засолення, закислення та замулення водойм, що призводить до змін в екосистемі [1].

Шахтні води класифікують за видами джерела (діюча або закрита шахта), а також залежно від концентрації мінеральних солей (С, г/л) і жорсткості (Ж, мг-екв/л) шахтні води умовно поділяють на групи: 1) С = 1,5 – 1,8; Ж < 12 (Донецька і Луганська області; майже 200 млн м<sup>3</sup>/рік); 2) С = 1,8 – 3,5; Ж < 12 (типові для Донецько-Макіївського району, 80 % загального водопритоку регіону); 3) С = 3 – 3,5; Ж > 12 (трапляються епізодично) [2].

Одним із шляхів розв'язання проблеми шахтних вод може бути метод мембранної дистиляції (МД), суттєвими перевагами якого є: порівняно низьке споживання енергії, можливість низькотемпературних режимів, стійкість мембран до забруднення, незначна залежність продуктивності від концентрації живильного розчину, відсутність надлишкових тисків, можливість використання установок із рекуперацією тепла і надзвичайно висока селективність методу [3].

На практиці застосовують МД різних типів: контактну мембранну дистиляцію – Direct Contact Membrane Distillation (DCMD), вакуумну мембранну дистиляцію – Vacuum Membrane Distillation (VMD), мембранну дистиляцію з газовим прошарком – Air Gap Membrane Distillation (AGMD), мембранну дистиляцію з продуванням газу – Sweeping Gas Membrane Distillation (SGMD) [4]. DCMD та AGMD найкраще підходять для випадків, коли пермеатом є вода, бо для цих методів не потрібно зовнішнього конденсатора, VMD

та SGMD зазвичай використовують для видалення летких органічних сполук або розчиненого газу з водного розчину [5].

Мембранна дистиляція з газовим прошарком перш за все забезпечує малі втрати тепла під час процесу, і, як наслідок, можливість використання у модулях з низькими потребами в енергії, наприклад, у модулях на сонячних акумуляторах; здатність процесу зберігати селективність під час фільтрації висококонцентрованих розчинів [6].

Останнім часом у низці наукових досліджень увагу було зосереджено на виробництві як плоских, так і порожнисто-волоконних мембран спеціально для процесу мембранної дистиляції [7–8]. Сьогодні політетрафлуороетилен (ПТФЕ), поліпропілен (ПП) та полівініліденфлуорид (ПВДФ) є найпопулярнішими та найдоступнішими гідрофобними мембранними матеріалами. Серед цих трьох полімерів лише ПВДФ придатний для отримання недорогих асиметричних мембран методом інверсії фаз [9]. Крім того, цей метод можна використовувати для формування плоских та порожнисто-волоконних мембран із кополімерів ПВДФ, як-от полівініліденфлуорид-гексафлуоропропілен (ПВДФ-ГФП) і полівініліденфлуорид-тетрафлуоретилен (ПВДФ-ТФЕ) [10].

Метою роботи було розробити методику отримання композитних мембран на основі флуоровмісних полімерів, модифікованих олігомерними силосанамі різної природи та молекулярної маси для процесу мембранної дистиляції.

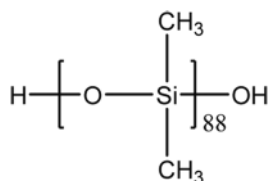
### Матеріали та методи

Мембрани формували із флуоровмісного полімеру методом інверсії фаз [11]. Для цього використовували кополімер полівініліденфлуориду з тетрафлуоретиленом марки Ф-42Л [-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-

CH<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-]n (НПО «Пластполімер», Росія), який розчиняли в диметилформаміді (Aldrich), очищений перед застосуванням перегонкою. Для розчинення олігомерних силоксанів використовували метилетилкетон.

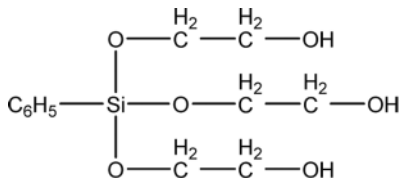
Як модифікуючі речовини для отримання композитних мембран використовували олігомерні силосани різної природи та молекулярної маси:

- лінійний силосан з молекулярною масою 4000,

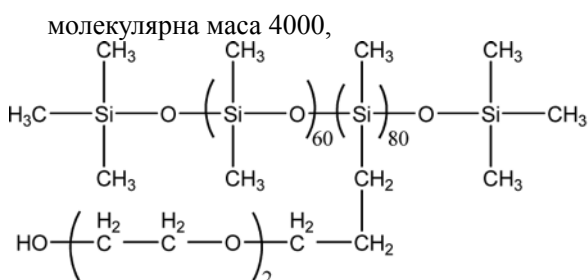


(зразок № 1);

- силосани розгалуженої будови: молекулярна маса 240,



(зразок № 2);

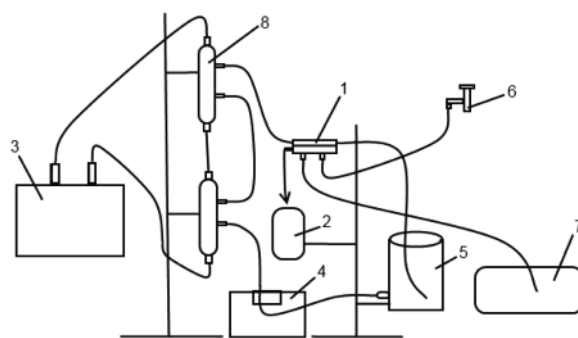


(зразок № 3).

Формування мембран проводили у такій послідовності: 1) розчинення полімеру; 2) вакуумне фільтрування розчину полімеру; 3) дегазація розчину полімеру; 4) поливання розчину полімеру (товщина шару 0,3 мм) на скло за допомогою формувального ножа (Elcometer 3570 Micrometric Aluminium Film Applicators Elcometer); 5) часткове випаровування розчинника з поверхні полімерного розчину протягом 0–5 хв; 6) занурення скла з шаром полімерного розчину в осаджувальну ванну (етап коагуляції) на 5 хв при T від 278 до 293 К. Як осаджувач використовували дистильовану воду.

Для модифікування флуоровмісних мембран застосовували олігомерні силосани різної природи та молекулярної маси. Модифікатор вводили у концентрації 0–3 % безпосередньо до формувального розчину. При цьому інші параметри формування мембран лишали незмінними.

Для дослідження продуктивності та селективності сформованих мембран методом мембранної дистиляції з газовим прошарком використовували лабораторну установку УМД-0,2 (рис. 1). Мембранна комірка складається із двох камер розділених мембраною з площею робочої поверхні  $7,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ . Розташування мембрани в апараті горизонтальне, при цьому гаряча камера розташовується над мембраною.



**Рис. 1.** Мембранно-дистиляційна установка: 1 – мембранна комірка; 2 – ємність для пермеату; 3 – термостат; 4 – перистальтичний насос; 5 – ємність для початкового розчину; 6 – кран; 7 – злив; 8 – теплообмінник

Циркуляція розчинів відбувалася (гаряча камера – резервуар із початковим розчином та холодна камера – приймальний резервуар) за допомогою перистальтичного насоса. Температуру гарячої камери змінювали в межах 60–90 °С за допомогою теплообмінників, які підігрівалися термостатованою водою із заданою температурою. Камеру з газовим прошарком охолоджували водопровідною водою, температура якої становила 5 °С.

Продуктивність мембрани,  $J_v$  л/(м<sup>2</sup>·год.) розраховували за формулою:

$$J_v = \frac{\Delta V}{S \cdot \Delta t},$$

де  $\Delta V$  – об'єм отриманого дистилату на мембранній площі  $S$  за час  $\Delta t$ .

Для визначення коефіцієнта затримання отриманих мембран використовували хлорид натрію концентрацією 1 М та високомінералізований модельний розчин шахтних вод такого складу: MgCl<sub>2</sub> = 3,86 г/л; CaCl<sub>2</sub> = 2,52 г/л; Fe(NH<sub>4</sub>)(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> \* 12H<sub>2</sub>O = 1,00 г/л; NaNO<sub>3</sub> = 1,00 г/л; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 1,00 г/л; KCl = 1,30 г/л. Селективність мембран оцінювали за зміною електропровідності дистильованої води, яка утворюється внаслідок конденсації пари. Виміри електропровідності проводили на стаціонарному лабораторному кондуктометрі HannaInstruments HI 9032.

Коефіцієнт затримання речовини мембраною ( $R$ , %) обчислювали за формулою:

$$R, \% = \left(1 - \frac{C_{\text{ф}}}{C_{\text{в}}}\right) \cdot 100 \%,$$

де  $C_f$  – концентрація речовини у фільтраті, г/дм<sup>3</sup>;  $C_v$  – концентрація речовини у початковому розчині, г/дм<sup>3</sup>.

Гідрофільність мембран вивчали шляхом вимірювання крайових кутів змочування за методом сидячої краплі [10].

Міцність на розрив та відносне подовження отриманих мембран вимірювали на розривній машині ФУ-1000 виробництва фірми «HE-SKERT» DDR. Зразок, що має форму подвійної лопатки, розтягують з постійною швидкістю і реєструють прикладене зусилля (навантаження) і подовження. Після цього обчислюють напругу та подовження. Швидкість розриву становила 10 мм/хв. Міцність на розрив визначали як відношення прикладеного навантаження до площі поперечного перерізу, Па. Площу поперечного перерізу ( $S$ , м<sup>2</sup>) визначали за формулою:

$$S = h \cdot b,$$

де  $h$  – товщина зразка, м,  $b$  – ширина зразка, м.

Визначення ширини зразка мембрани проводили за допомогою світлового мікроскопу MBS 9 при збільшенні 16. Товщину мембрани вимірювали за допомогою мікрометричної головки з ціною поділки 0,01 мм.

Вивчення термоокисної деструкції отриманих мембран проводили за допомогою дериватографа Q-1500 (системи Ф. Паулик, І. Паулик, І. Ердеї).

Зразки перед дослідженням на дериватографі було прогріто в термошафі при температурі приблизно 110 °C протягом двох год. Тому втрата маси зразка за рахунок зв'язаної води мало ймовірна, а температуру початку розпаду можна прийняти за температуру початку розпаду полімеру.

Дослідження поверхневих шарів зразків мембран проводили методом ІЧ-спектроскопії Фур'є перетворенням методом багаторазового порушеного повного відбиття (МБППВ) спектрометром TENSOR-37, Bruker.

### Результати та їхнє обговорення

Оскільки основним та вирішальним фактором, який визначає характеристики отриманої мембрани, є склад формувального розчину, було важливо встановити вплив його складу на параметри мембрани. Тому при формуванні мембран увагу звернуто передусім на вплив такої змінної, як склад формувального розчину.

Відомо, що витримування розчину полімеру на повітрі на стадії передформування суттєво впливає на структуру мембран і, відповідно, на продуктивність. На рис. 2 показано залежність продуктивності мембран від часу випаровування розчинника на повітрі на стадії передформування.

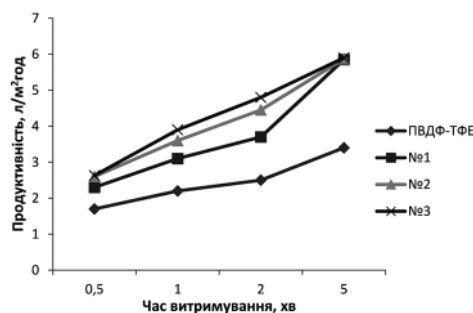


Рис. 2. Залежність продуктивності мембран від тривалості випаровування розчинника на повітрі на стадії передформування: 1 – ПВДФ-ТФЕ; 2 – модифікатор №1; 3 – модифікатор № 2; 4 – модифікатор № 3

При осадженні розчину полімеру одразу після поливання (рис. 2) отримано низькопродуктивну мембрану (1,7 л/м<sup>2</sup>·год. та 2,2–3,4 л/м<sup>2</sup>·год. без модифікатора та з модифікаторами відповідно).

Наявність модифікаторів у формувальній суміші флуорополімеру призводить до суттєвих змін розділювальних характеристик отриманих мембран. Для цього використано олігомерні силосани різної природи та молекулярної маси. Модифікатори вводили в кількості 0–3 % (мас.), що є оптимальним для флуорорвісних мембран.

Будь-яка видозміна формувальної суміші призводить до зміни ефективного радіуса пор мембрани, що, своєю чергою, змінює продуктивність мембрани.

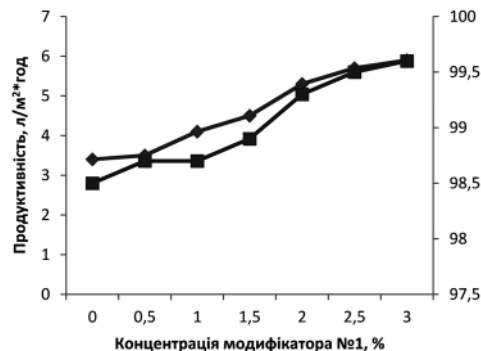


Рис. 3. Залежність продуктивності (крива 1) та селективності (крива 2) мембрани від кількості модифікатора № 1

Таким чином, введення модифікаторів у формувальну суміш при отриманні мембран впливає на продуктивність мембрани.

На рис. 3–5 зображено залежність продуктивності та селективності мембрани від кількості модифікатора № 1, № 2 і № 3 відповідно. Мембрани, модифіковані олігомерними силосанами різної природи та молекулярної маси, мають вищу продуктивність порівняно з мембраною, сформованою без модифікатора. Причому зі збільшенням концентрації модифікаторів у формувальному розчині зростає продуктивність мембрани порівняно з мембраною, сформованою без модифікатора.

На основі досліджень розділювальних властивостей мембран щодо водного розчину NaCl було отримано дані (рис. 3–5) та встановлено, що введення модифікаторів № 1 та № 3 призводить до часткового зростання коефіцієнта затримання мембран порівняно з мембраною, сформованою без модифікатора.

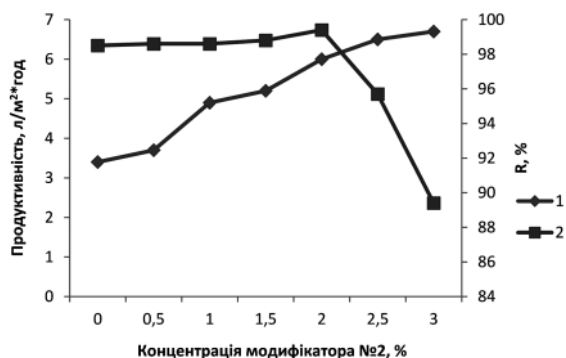


Рис. 4. Залежність продуктивності (крива 1) та селективності (крива 2) мембрани від кількості модифікатора № 2

Було виявлено (рис. 4), що наявність модифікатора № 2 у формульованому розчині призводить до часткового збільшення коефіцієнта затримання NaCl.

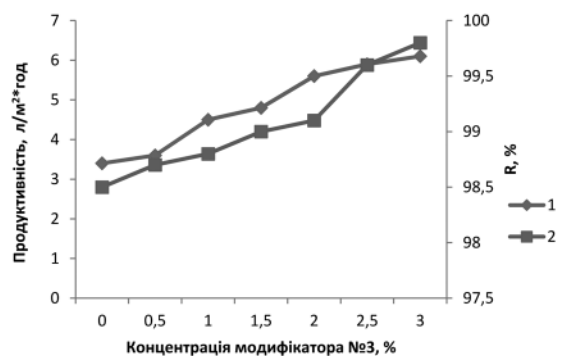


Рис. 5. Залежність продуктивності (крива 1) та селективності (крива 2) мембрани від кількості модифікатора № 3

Причому це збільшення спостерігається у мембран з 2 % вмістом модифікатора. При подальшому додаванні модифікатора коефіцієнт затримання набуває значно менших значень.

Отже, при вмісті у формульованому розчині 3 % олігомерних силосанів № 1, № 3 і 2 % модифікатора № 2 зростають продуктивність та селективність отриманих флуоровмісних мембран.

Уведення олігомерних силосанів різної природи та молекулярної маси, що містять на поверхні різні функціональні (метильні та гідроксильні) групи, у структуру флуоровмісних мембран призводить до суттєвої гідрофобізації їхньої поверхні порівняно з початковою мембраною, про що свідчить збільшення величини крайових кутів змочування поверхні отриманих мембран водою, наведені рис. 6.

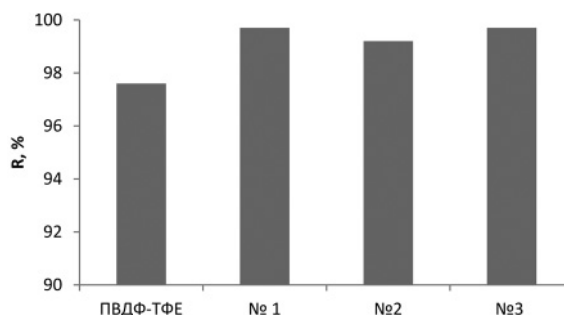


Рис. 6. Значення крайового кута змочування мембран залежно від модифікатора

Як видно з рис. 6, збільшення величини крайового кута змочування відбувається завдяки наявності на поверхні модифікаторів № 1 та № 3 метильних груп, що гідрофобізують поверхню мембрани, а при додаванні зразка № 2 відбувається часткова гідрофілізація поверхні через наявність гідроксильних груп.

Вплив температури робочого розчину на характеристики мембрани досліджували використовуючи водний розчин хлориду натрію концентрації 1М. Залежності продуктивності (рис. 7) та селективності (рис. 8) мембрани від температури гарячої камери наведено нижче.

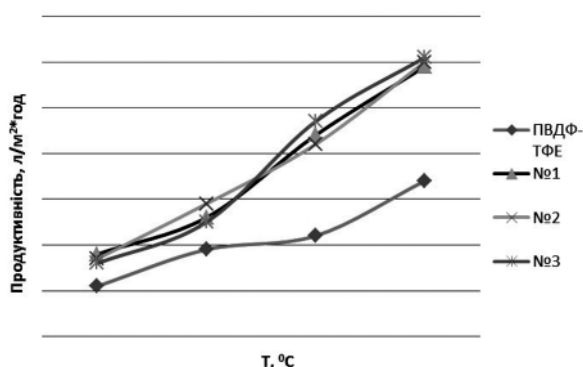


Рис. 7. Залежність продуктивності мембрани від температури гарячої камери: 1 – ПВДФ-ТФЕ; 2 – модифікатор № 1; 3 – модифікатор № 2; 4 – модифікатор № 3

З графіка видно, що при постійній концентрації початкового розчину продуктивність усіх мембран зростає зі збільшенням різниці температур. Рушійною силою процесу мембранної дистиляції, як уже зазначали, є різниця тисків насиченої пари розчинника (води) по обидва боки мембрани. Внаслідок експоненційного зростання тиску насиченої пари із температурою рушійна різниця тисків пари зростатиме з підвищенням температури початкового розчину, отже, продуктивність МД підвищуватиметься.

На рис. 8 показано залежність селективності мембрани від температури гарячої камери. Зі збільшенням температури гарячої камери селективність отриманих мембран залишається май-

же незмінною. Проте коефіцієнт затримання модифікованих мембран набуває дещо вищих значень порівняно з початковою мембраною, що можна пояснити збільшенням гідрофобності мембран, яке призводить до збільшення селективності.

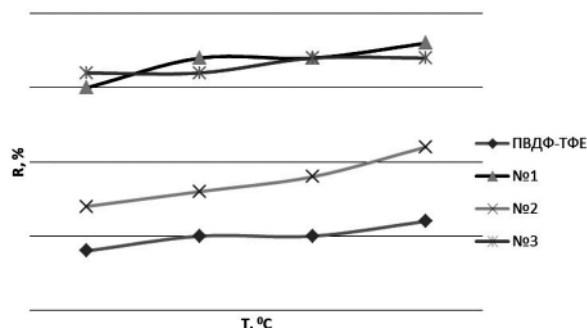


Рис. 8. Залежність селективності мембрани від температури гарячої камери: 1 – ПВДФ-ТФЕ; 2 – модифікатор № 1; 3 – модифікатор № 2; 4 – модифікатор № 3

Наявність у складі сформованих мембран олігомерних силосанів різної природи та молекулярної маси позначається на механічних характеристиках мембран. Так, із даних, наведених у табл. 1, видно, що найбільшою міцністю на розрив (174, 61 КПа) характеризується немодифікована ПВДФ-ТФЕ мембрана, найменшою – мембрана, модифікована силосаном № 3 (99,88 КПа). Мембрани, модифіковані зразками № 1 та № 2, мають проміжний стан і характеризуються міцністю на розрив, що становить 160,52 та 151,52 КПа відповідно.

Таблиця 1. Механічні властивості флуоровмісних мембран

Мембрана	Міцність на розрив, КПа	Відносне подовження при розриві, %
0	174,61	145,73
1	160,52	106,47
2	151,52	95,28
3	99,88	262,45

Водночас слід зазначити, що значення відносного подовження при розриві є найбільшими для мембрани з модифікатором № 3, яке дорівнює 262,45 %. Тоді як мембрани з модифікатором № 1 та № 2 характеризуються дещо нижчими показниками відносного подовження при розриві і становлять 106,47 % та 95,28 % відповідно. Показник немодифікованої мембрани має проміжне значення і становить 145,73 %. Зниження міцності на розрив та збільшення відносного подовження при розриві можна пояснити тим, що модифікатори відіграють роль пластифікуючої речовини.

Наявність у складі сформованих мембран різних модифікаторів впливає на термічні харак-

теристики мембран. Дані щодо впливу модифікаторів на термоокисну деструкцію флуоровмісних мембран наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Термоокисна деструкція мембран

Мембрана	Температура, °C при втраті маси, %					
	10 %	20 %	40 %	50 %	80 %	90 %
0	213	440	470	490	500	520
1	400	438	485	510	530	550
2	470	476	497	520	540	560
3	438	458	484	515	535	555

Уведення модифікаторів підвищує термічну стійкість мембран порівняно з початковою мембраною. Втрата 10 % маси модифікованих олігомерними силосанами різної природи та молекулярної маси ПВДФ-ТФЕ мембран відбувається за температур 400–470 °C, що удвічі вище за значення цих показників для немодифікованої мембрани. Причому при модифікаторі № 2 спостерігаємо більші значення.

Модифікація мембран відбувалась за рахунок введення до полімерної матриці олігомерних силосанів різної природи та молекулярної маси. Отримані зразки мембран проаналізовані за допомогою методу ІЧ-спектроскопії на наявність відповідних функціональних груп (рис. 9).

Смуги поглинання в ділянці 1429  $\text{cm}^{-1}$  відповідають валентним коливанням С-F та деформаційним коливанням С-Н зв'язків немодифікованої мембрани. Крім того, смуги в ділянці 882  $\text{cm}^{-1}$  відповідають валентним коливанням С-С зв'язку, а в ділянці 1154  $\text{cm}^{-1}$  – валентним коливанням С-С та С-F зв'язків для мембрани, що не містить модифікатора.

Для мембран, модифікованих олігомерними силосанами різної природи та молекулярної маси, характерні смуги в ділянці 1015  $\text{cm}^{-1}$ , що відповідають валентним коливанням Si-O-Si зв'язків. Причому за наявності зразка № 1 ця смуга є інтенсивнішою, ніж для мембрани, модифікованої зразком № 2, а у мембрани, змодифікованої зразком № 3 спостерігається розмите плече через його велику молекулярну масу. Крім того, про наявність модифікаторів № 1 та № 2 свідчать смуги валентних і деформаційних коливань в ділянці 1259 та 795  $\text{cm}^{-1}$  відповідно.

Наявність модифікаторів у формувальній суміші флуорополімеру призводить до суттєвих змін селективності отриманих мембран. На рис. 10 показано залежність селективності різних типів мембран щодо знесолення високомінералізованого модельного розчину шахтних вод ( $\text{MgCl}_2 = 3,86 \text{ г/л}$ ;  $\text{CaCl}_2 = 2,52 \text{ г/л}$ ;  $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O} = 1 \text{ г/л}$ ;  $\text{NaNO}_3 = 1 \text{ г/л}$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 1 \text{ г/л}$ ;  $\text{KCl} = 1,300 \text{ г/л}$ ).

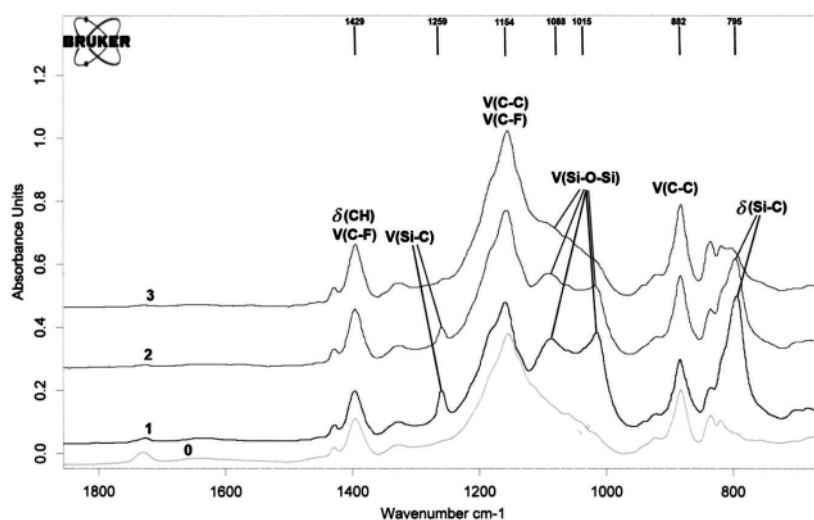


Рис. 9. ІЧ-спектр немодифікованої мембрани та мембрани, модифікованої зразками № 1, № 2 та № 3

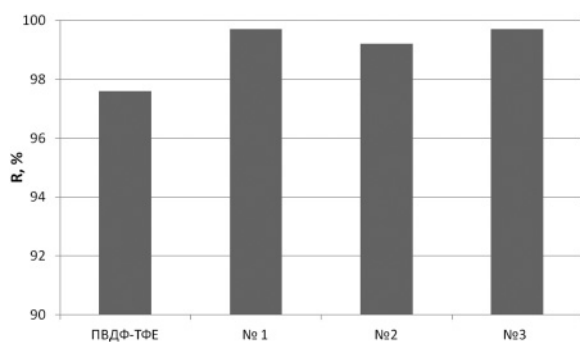


Рис. 10. Залежність селективності різних типів мембран щодо знесолення модельного розчину шахтних вод

Мембрани, модифіковані зразками № 1 та № 3, мають більші значення коефіцієнту затримання модельного розчину шахтних вод порівняно з мембраною, сформованою без модифікатора. Це можна пояснити наявністю великої кількості метильних груп у структурі модифікаторів, що призводить до гідрофобізації мембрани, а отже, і до збільшення її селективності. При пропусканні високомінералізованого модельно-

го розчину шахтних вод коефіцієнт затримання солей мембранами, модифікованими зразками № 1 та № 3 зростає через вищий рівень гідрофобності.

### Висновки

Розроблено методику формування композитних флуорвмісних мембран. Встановлено, що оптимальна концентрація наповнювача дорівнює 3 %, а час витримування 5 хв. Визначено, що модифікування зразками № 1 та № 3 збільшує крайовий кут змочування (на 7–10 %), а введення модифікаторів впливає на механічні й термічні властивості отриманих мембран. Доведено, що температура робочого розчину суттєво впливає на транспортні характеристики отриманих мембран. При зростанні температури на 30 °C продуктивність мембрани збільшується в'ятеро при незмінній селективності. Встановлено, що модифікування мембран підвищує їхню селективність щодо високомінералізованого розчину шахтних вод.

### Література

1. Виговська Д. Д. Шахтні води як природний водний ресурс. Досвід їх використання / Д. Д. Виговська, Е. Н. Хатюшин // Збірник Доповідей VIII Міжнародної наукової конференції аспірантів і студентів. – Донецьк: ДонНТУ. – 2009. – Т. 2. – С. 158.
2. Дорошенко Т. Г. Снижение загрязненности шахтных вод в подземных условиях как фактор повышения экологической безопасности угольного производства / Т. Г. Дорошенко, Е. С. Маглак // Проблемы екології. – 2008. – № 1–2. – С. 17.
3. Брик М. Т. Мембранная дистилляция / М. Т. Брик, Р. Р. Нигматулин // Успехи химии. – 1994. – № 63. – С. 1114–1129.
4. El-Bourawi M. S. A framework for better understanding membrane distillation separation process / M. S. El-Bourawi // Journal of Membrane Science. – 2006. – V. 285 (1–2). – P. 4–29.
5. Ohta K. Experiments on seawater desalination by membrane distillation / K. Ohta, K. Kikuehi, I. Hayano // Desalination. – 1990. – № 78. – С. 1–12.
6. Khayet M. Membranes and theoretical modeling of membrane distillation : A review / M. Khayet // Advances in Colloid and Interface Science. – 2011. – Vol. 164. – P. 56–88.
7. Garsna-Payo M. C. Effects of PVDF-HFP concentration on membran distillation performance and structural morphology of hollow fiber membranes / M. C. Garsna-Payo M. Essalhi, M. Khayet // Journal of Membrane Science. – 2010. – Vol. 347. – P. 209–219.
8. Park H. H. Absorption of SO<sub>2</sub> from flue gas using PVDF hollow fiber membranes in a gas-liquid contactor / H. H. Park, B. R. Deshwal, I. W. Kim // Journal of Membrane Science. – 2008. – Vol. 319. – P. 29–37.
9. Hou D. Fabrication and characterization of hydrophobic PVDF hollow fiber membranes for desalination through direct contact membrane distillation / D. Hou, J. Wang, D. Qu // Separation and Purification Technology. – 2009. – Vol. 69. – P. 78–86.

10. Wu B. Preparation and characterization of poly(vinylidene fluoride) hollow fiber membranes for vacuum membrane distillation / B. Wu, K. Li, W. K. Teo // Journal of Applied Polymer Science. – 2007. – Vol. 106. – P. 1482–95.

11. Формування мембран із флуоровмісних полімерів / А. В. Горобець, П. В. Вакулюк, К. В. Бутенко, А. Ф. Бурбан // Наукові записки НаУКМА. – 2007. – Т. 66. – С. 19–26.

*P. Vakuliuk, V. Petruk, N. Manzhos, M. Vortman, S. Lobok, A. Burban*

## **COMPOSITE MEMBRANES BASED ON FLUORINE-CONTAINING POLYMERS FOR MEMBRANE DISTILLATION**

*The method of composite membranes formation based on copolymer of vinylidene fluoride with tetrafluoroethylene modified by siloxane oligomers of different origin and molecular weight was developed. The physico-chemical properties of the membrane were studied by infrared spectroscopy, differential thermogravimetric analysis, contact angle wetting and mechanical properties (tensile strength, elongation at break). The transport properties (productivity, selectivity) of obtained membranes for a low molecular electrolyte (NaCl) and highly mineralized model solution of mine waters were studied depending on the temperature of the process.*

**Keywords:** composite membranes, fluorine-containing polymers, membrane distillation, siloxane oligomers.

*Матеріал надійшов 20.05.2012*