

ПОЛІМЕРНІ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ СПОЛУКИ – ЯК ОСНОВА ДЛЯ СТВОРЕННЯ КОМПОЗИТНИХ БАГАТОШАРОВИХ МЕМБРАН

Марина Кравченко¹, Леся Василенко²

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, пр. Повітрофлотський, м. Київ, Україна, 03037

¹канд. техн. наук, marina-diek@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0428-6440

²канд. техн. наук, lesya.kiev@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4201-5481

DOI: 10.32347/2524-0021.2023.42.19-28

Анотація. Розглянуто проблему підготовки питної води, яка включає вивчення системи «розбавлений водний розчин – мембрана – скоригований розбавлений водний розчин», де мембрана, як основний елемент і зовнішній чинник баромембранних процесів, повинна відповідати певним фізико-хімічним параметрам та вимогам. Показано, що для ефективного використання баромембранних процесів у вирішенні проблеми коригування складу розбавлених водних розчинів, необхідно створення типорозмірного ряду мембран з вибірковою селективністю, що базується на основі принципу синтезу і створення полімеру та його структурних факторів. Наведено методику синтезу високомолекулярного полімеру, який за рахунок коригування співвідношення компонентів його складу та умов отримання нових належних структур, визначає поряд з основними хімічними та фізико-хімічними властивостями такі параметри, як гідрофільність, селективність та проникність. Визначено ряд полімерних матеріалів, які відрізняються хімічною і термічною стійкістю, а також нові підходи до створення тонкого бар'єрного шару як для асиметричних, так і для композитних мембран. Представлено мікрорізомки структури мікрофільтраційних полісульфонових мембран. Наведені результати експериментальних досліджень отриманих зразків багатошарових композитних мембран. Показані криві залежності селективності багатошарових полімерних мембран від таких робочих параметрів процесу зворотного осмосу, як час та робочий тиск.

Ключові слова: технологія, синтез, структурування, мембрана, полімер, полімерні композитні мембрани, селективність, баромембранні процеси, поліамід, полісульфон, водний розчин, питна вода.

ВСТУП

Аналіз джерел наукової літератури показав, що сучасна реалізація ряду пріоритетних напрямків пов'язана з необхідністю вирішення, в першу чергу, проблеми якості питної води, як основи екобезпеки життєдіяльності і здоров'я людини. Другою екологічною проблемою є проблема стічних вод, які містять суміші речовин, що є складними багатокомпонентними системами [1].

Вирішення цих задач на сучасному етапі розвитку науки повинно базуватися на створенні нових гіпотез, технологій і обладнання для коригування фізико-хімічного складу таких систем.

Одними із основних методів, що були створені, в першу чергу, для розділення речовин, сумішей та вирішення проблем знесолоння води, є баромембранні процеси, для яких характерні певні недоліки в технологічному і апаратурному оформленні, а також для яких не існує закінчених теоретичних засад цих процесів, не дивлячись на значну кількість моделей і окремих механізмів.

Основною проблемою при використанні баромембранних процесів є відсутність типорозмірного ряду мембран, які б володіли селективністю до окремих компонентів або групи компонентів при вирішенні задач коригування якісного і кількісного складу розчинів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Мембрани, які представлені сьогодні на ринку, не відповідають вище названим умовам і володіють універсальною, а не вибірковою селективністю, до недоліків яких відносять їх вплив на зміну мінералізації, концентрації і співвідношення фундаментальних компонентів та рН води.

Крім того, з наявних мембран, у більшості випадків, вимиваються органічні речовини, що потрапляють в оброблюваний розчин, погіршуючи тим самим протікання процесів в системі «мембрана – вода».

Складність і суттєва невизначеність багатofакторних процесів в системах «мембрана – вода» вимагають створення типорозмірного ряду основної складової цих процесів – мембран, основними властивостями і параметрами яких повинні бути, в першу чергу, селективність і продуктивність. Саме селективність мембран і технологічні параметри при застосуванні баромембранних методів змінюють вміст і співвідношення фундаментальних компонентів питної води.

З точки зору технології, поділ баромембранних процесів на чотири стадії (мікро-, ультра-, нанофільтрація і зворотний осмос) не дозволить вирішити цю задачу. Вирішення цієї проблеми необхідно шукати в теоретично-експериментальному дослідженні баромембранних процесів для модельних розчинів і окремих компонентів, враховуючи механізми їх протікання на всіх етапах з визначеними параметрами для поетапного розділення баромембранних методів і, особливо, процесів ультрафільтрації, нанофільтрації і зворотного осмосу.

Такі особливості баромембранних процесів пов'язані з використанням мембран, властивості яких задаються на етапі розробки і синтезу нових полімерів. Наприклад, селективність мембран задається за рахунок створення нових полімерів заданої молекулярної маси, в'язкості, механічних властивостей, будови полімерного матеріалу [2, 3] і саме це дає можливість їх використання для вирішення проблеми коригування як органічного, так і неорганічного

складу води і, взагалі, вирішення проблеми підготовки питної води.

Багаточисельні джерела наукової літератури показують, що для вирішення проблеми підготовки питної води в сучасному її розумінні, необхідна технологічна схема зі стадіями і функціональними етапами для вирішення наступних основних проблем і задач:

- видалення із води джерел водопостачання завислих частинок та частинок колоїдного ступеню дисперсності, мікроорганізмів (мікрофільтрація);
- коригування складу органічних речовин, які наявні у водах джерел водопостачання (ультрафільтрація) [4 – 6];
- коригування неорганічного складу води, де важливе збереження якісного і кількісного складу, а також співвідношення основних компонентів питної води, таких як Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , значення рН (нанофільтрація, зворотний осмос) [7].

Концепція цих умов передбачає необхідність цілеспрямованого функціонального призначення мембран для кожного етапу, або їх груп і основа в цьому питанні – це вибір полімеру, як мембранного матеріалу, що базується на специфічних властивостях, основаних на структурних факторах, які визначають термічні, хімічні та механічні властивості полімерів, а також селективність та проникність, що є основними характерними властивостями мембран [8].

При створенні мембран типорозмірного ряду враховується принцип будови самого полімеру та його структурні фактори.

Багато синтетичних полімерів використовуються для створення мембранних матеріалів, але їх хімічні та фізичні властивості сильно відрізняються і лише обмежене число полімерів застосовуються на практиці.

Причиною цього є вимоги як до властивостей полімеру, так і до мембран, особливо для процесів нанофільтрації та зворотного осмосу, де вибір полімеру напряму визначає транспортні характеристики мембран, тобто, селективність і проникність.

Не дивлячись на значні успіхи у створенні мембран із синтетичних полімерів, на сьогодні недостатньо розроблені уявлення

про вплив хімічної структури полімеру і процесів, які протікають при синтезі, його конформаційного і конфігураційного стану в умовах формування мембрани, упакування макромолекул та їх асоціатів на поверхні та інших макромолекулярних характеристик на розподіл речовин в умовах мембранних технологій. Зведені відомості про існуючі синтетичні матеріали і використання їх як окремо, так і сумісно з синтезованими новими полімерами і їх модифікаціями, можуть бути використані при створенні типорозмірного ряду мембран для визначення характеристик баромембранних процесів.

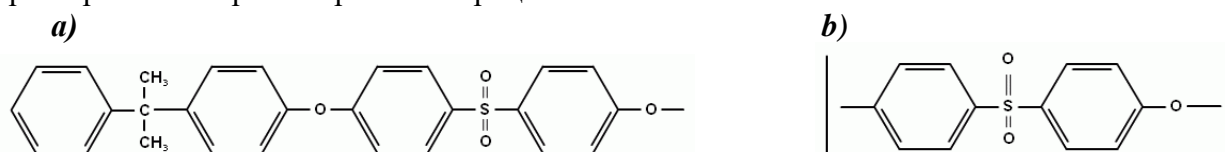


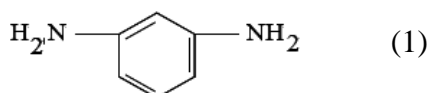
Рис.1. Структурні формули полімерів: **a)** ароматичний полісульфон; **b)** поліамід
Fig. 1. Structural formulas of polymers: **a)** aromatic polysulfone; **b)** polyamide

Ароматичні полісульфони (рис. 1, *a*) за своєю хімічною стійкістю переважають поліаміди (рис. 1, *b*), так як зв'язок більш стійкий, ніж амідний зв'язок, але термостабільність цих матеріалів дещо нижча.

Найбільш перспективними полімерами для мембранних матеріалів є ароматичні поліаміди [10].

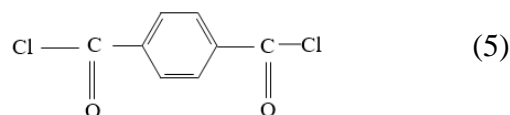
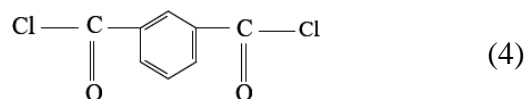
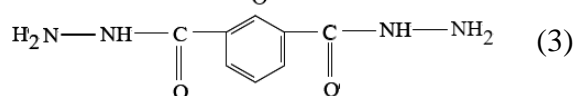
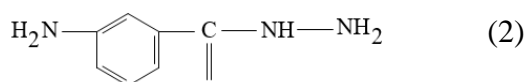
Було визначено ряд полімерних матеріалів [11], які відрізняються хімічною і термічною стійкістю, а також нові підходи до створення тонкого бар'єрного шару як для асиметричних, так і для композитних мембран. Останні відрізняються тим, що в них бар'єрний шар складається з полімерного матеріалу, відмінного від матеріалу крупнопористої основи (підложки).

Синтез полімерів для асиметричних мембран може здійснюватися шляхом поліконденсації в розчиннику – метилпіролідоні, ароматичних діамінів (1) з гідразидами ізофталевої (2) чи амінобензойної кислот (3), а також суміші ізофталоїлхлориду (4) з терефталоїлхлоридом (5) у співвідношенні 7:3 м.ч. [12].



Таким чином, для асиметричних (мікро- і ультрафільтраційних) мембран було визначено використання ароматичного полісульфону чи поліефірсульфону [9].

Полісульфони мають високу хімічну і термічну стабільність. Вибрані шляхом розрахунку та експериментальних даних композиційні співвідношення компонентів дозволяють створювати полімерні мембрани для використання їх в баромембранних процесах мікро- і ультрафільтрації, а також їх використання як підложки при створенні композитних мембран.



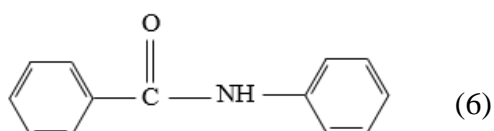
Авторами роботи [13] було проведено ряд досліджень, які свідчать про те, що структура полімеру впливає на проникність мембрани для води, тоді як селективність залишається однаково високою, що показано в таблиці 1. Умовами випробувань були: температура – 30 °С; модельний розчин – 3,5% NaCl; робочий тиск – 10,3 МПа.

Проте при тривалій експлуатації мембран з ароматичних поліамідів, які створювались методом поліконденсації, виявилась їх чутливість до розчиненого у воді хлору. Авторами [9] в якості модельної сполуки було обрано бензанлід, який має всі основні групи, що і в полімері.

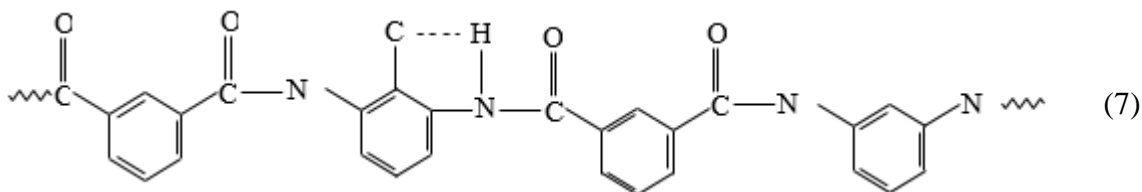
Табл. 1. Залежність потоку води (P) та селективності (ϕ) поліамідних мембран від складу вихідної суміші сополімерів

Table 1. Dependence of water flow (P) and selectivity (ϕ) of polyamide membranes on the composition of the initial mixture of copolymers

Склад вихідної суміші сополімерів		P , $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$	ϕ , %
1 компонент	2 компонент		
(1)	(4)/(5) (7:3)	8,5	99,8
(2)	(4)/(5) (7:3)	22	99,3
(3)	(4)/(5) (7:3)	28	99,5



По мірі дії хлору на сполуку (6) відбувалося поступове заміщення ним водню в бензольному кільці амінокомпонента. З цього



зроблено висновки, що при обробці хлором полімеру заміщення проходило в орто-положенні бензольного кільця діаміну (7) і замість водневих міжмолекулярних зв'язків – $\text{C}=\text{O} \dots \text{H}-\text{N}-$ виникли внутрішньомолекулярні водневі зв'язки між атомом галогена з групою $\text{H}-\text{N}-$ в утвореній сполучці.

Такі хімічні зміни викликають структурні порушення поліамідних ланцюгів і субмікроскопічної структури полімеру, що приводить до збільшення потоку рідини і зниження селективності мембран. Це підтверджує існування глибокого зв'язку між вихідною структурою полімера, конформаційним станом макромолекул в агрегатах і упакуванням макромолекул бар'єрного шару, з однієї сторони, та проникністю мембрани для води і її селективністю в процесі зворотного осмосу, з іншої.

В основному композитні мембрани створюють методом міжфазної поліконденсації, який надає можливість створювати зворотноосмотичні мембрани «універсального» типу, але є дуже енергоємним, і потребує чітких розрахунків співвідношень компонентів, які у розчинах можуть поводитись дуже непередбачливо.

При певному співвідношенні компонентів композиції та умов синтезу можливо отримати полімерні матеріали рівноважної структури, яка розподілена по всьому об'єму, що, в свою чергу, буде сприяти відповідній якості нових композитів. Вирішення

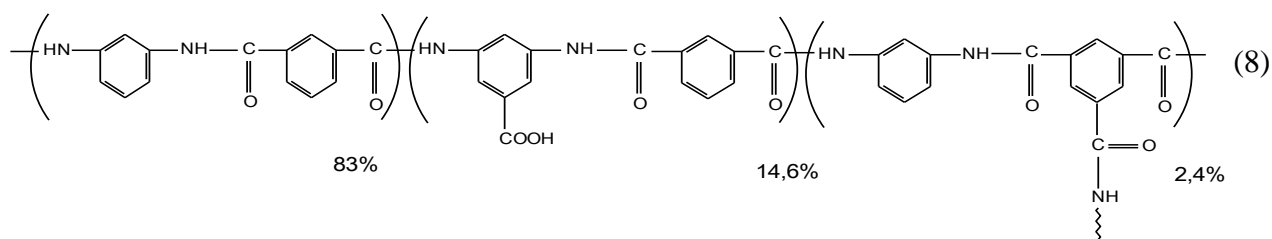
вибору полімерного матеріалу, який має комплекс нових хімічних властивостей, дає можливість за рахунок модифікації створювати багатошарові структури з тонким бар'єрним шаром по всій поверхні композитного матеріалу.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Було синтезовано ароматичний поліамід з певною структурою, який характеризується високою міцністю, об'ємним модулем пружності, термостабільністю, гідролітичною стійкістю. На його основі створено композитні мембрани на мікропористій полісульфоновій підложці.

Ароматичний поліамід для композитних мембран було синтезовано з ароматичного діаміну з хлорангідридом ароматичних трикарбонових кислот. В процесі реакції полімеризації виникають лінійні ділянки ланцюгу, ділянки розгалужених і області сшитих макромолекул.

Отриманий полімер має хімічну формулу (8):



Було проведено ряд експериментальних досліджень по синтезу полімеру. Методом зміни співвідношення компонентів, які присутні в композиції для синтезу, підбирали варіанти складу суміші сомономерних співвідношень в мол. % діамінобензойної кислоти (ДАБК) і варіюючи складом компонентів ізофталолхлориду (ІФХ), трифталолхлориду (ТФХ) та тримезилхлориду (ТМХ), як основних компонентів. Додаючи розрахункову кількість бензолтрикарбонової кислоти, отримали волокнистий полімер без вмісту іонів Cl^- з приведеною в'язкістю, яка відповідає величині молекулярної маси плівкоутворюючого полімеру з вмістом іоногенних груп.

Будова полімеру підтверджена даними ІЧ-спектроскопії: смуги при 1667 cm^{-1} (амід 1) і при 1725 cm^{-1} (COOH – група). Вміст лінійних ділянок з карбоксильною групою 14,6 мол. %, вміст розгалужених і зшитих форм містить 85,4%. Питома в'язкість – 1,2 (0,5%-ний розчин в диметилформаміді при $25 \text{ }^\circ\text{C}$). Середньовагова молекулярна маса близько 25000–30000.

Унікальною властивістю цього полімеру являється гідрофільність, обумовлена наявністю амідних груп в аморфних областях, які (на тих ділянках, де вони не викликають утворення міжмолекулярних водневих зв'язків) доступні для взаємодії з водою.

Аналізуючи зразки плівок, отриманих експериментальним шляхом з синтезованого полімеру (8), зупинились на співвідношенні компонентів для синтезу, яке відповідає потребам властивостей полімеру. Розміри внутрішньо мембранних динамічно змінюваних каналів, які утворюються флуктуацією структурних ланок полімерів, складають від 0,3 до 1,0 нм і містять фрагменти іоногенних груп.

На основі синтезованого полімеру було розроблено рецептуру, визначені основні параметри для створення матеріалів та виготовлено перші зразки мембран, що можуть використовуватися для коригування складу водних розчинів (рис. 2, 3).

Розглядаючи мембрани за структурними властивостями, в якості визначених параметрів є радіус пор мембран, щільність каркасу мембран і незмінність характеристик по товщині. Для пористих мембран (мікро- і ультрафільтраційних) характерна система наскрізних пор різного радіусу, які забезпечують фільтрацію рідини. При цьому пори утворюють рихлу структуру і лабіринтну систему пов'язаних між собою каналів, на відміну від нанофільтраційних і зворотноосмотичних мембран.

На рис. 2 (а, с) добре видно просочування розчину полімеру по всій товщі полісульфонової основи і асиметричність структури, що характерна для способу отримання мембран методом поливу.

Робочі параметри отриманих зразків мікрофільтраційних і ультрафільтраційних мембран підтверджуються експериментальними даними. Цей тип мембран, які в подальшому використовуються як підложка, відносяться до першої стадії формування при одержанні композитної мембрани в цілому.

В мембранах з відсутніми порами постійного розміру проникність забезпечується системою "дірок" флуктуаційної природи. У випадку використання нових полімерних матеріалів і створення на їх основі композитних полімерних мембран, функції пор виконують флуктуації ланцюжків полімерів, які і створюють їх структуру. Тому пор, в класичному їх розумінні, в мембранах такого типу не існує (рис. 3).

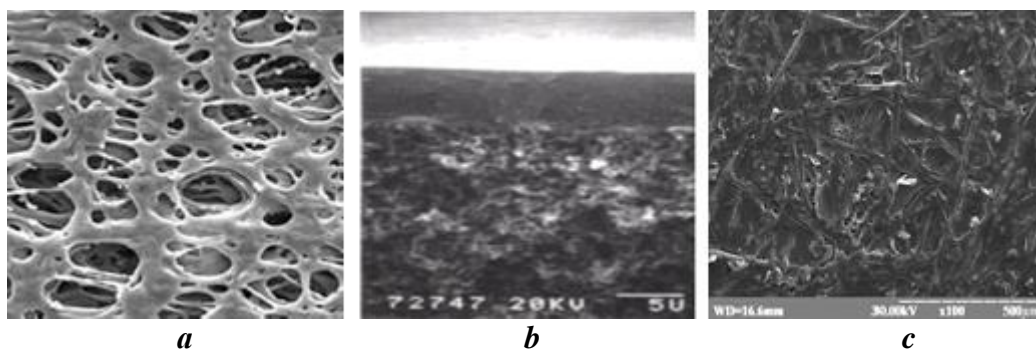


Рис. 2. Мікрозйомка структури мікрофільтраційних полісульфонових мембран: *a* – верх мембрани; *b* – ребро мембрани; *c* – низ мембрани

Fig. 2. Micrograph of the structure of microfiltration polysulfone membranes: *a* – the top of the membrane; *b* – edge of the membrane; *c* – the bottom of the membrane

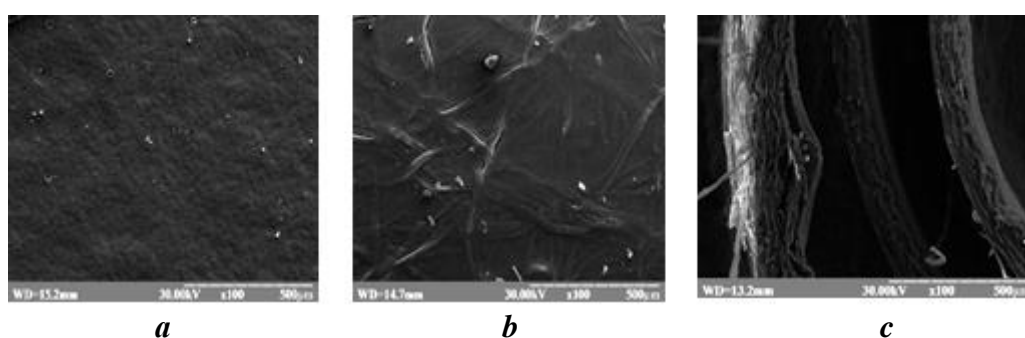


Рис. 3. Мікрозйомка структури композитних мембран: *a* – верх мембрани; *b* – низ мембрани; *c* – ребро мембрани

Fig. 3. Micrograph of the structure of composite membranes: *a* – the top of the membrane; *b* – the bottom of the membrane; *c* – edge of the membrane

Підвищення проникності композитних мембран при збереженні високої селективності залежить від селективного шару, на який відводиться основна частина гідродинамічного опору при баромембранних процесах. З цього випливає, що асиметричні мембрани для цих процесів створені за рахунок зміни технологічних параметрів.

Основним елементом бар'єрного шару мембран є іоногенні карбоксильні групи, які відповідають за властивість селективності мембран та інші фізико-хімічні їх властивості.

Доведено [14], що поліамідний бар'єрний шар в багатошаровій композитній мембрані ефективно працює при строго обмежених значеннях його товщини в рамках 3-5 мкм. Технічно, створення більш тонких шарів бар'єрних структур ускладнюється на сьогоднішній день із-за умов отримання та специфіки обладнання.

Необхідно зазначити, що ряд вітчизняних синтетичних матеріалів, які використовуються в якості підложки при виготовленні багатошарових полімерних мембран, не в повній мірі відповідає вимогам, які пред'являються до таких матеріалів. Це стосується, в першу чергу, поверхні матеріалу, яка має високу ворсистість. При нанесенні на підложку полімер не покриває окремі ворсинки, розташовані вертикально, що призводить до дефекту мембрани в цьому місці. Відзначимо, що підложки мембран зарубіжних виробників позбавлені цих недоліків – поверхня підложки рівна і не має виступаючих ворсинок, що добре видно в оптичний мікроскоп. Покращення якості поверхні підложки можна досягти з допомогою такої процедури: підложку з нанесеним шаром полімеру пропустити через пристрій для формування товщини шару полімеру з «нульовим»

зазором. При цьому ворсинки пригладжуються і утримуються в товщі полімерної плівки, не утворюючи дефектів на поверхні мембрани при подальшому нанесенні робочого шару полімеру.

З використанням розроблених багатошарових композитних полімерних мембран

були проведені системні експериментальні дослідження основних фізико-хімічних їх властивостей.

В табл. 2 представлені результати експериментальних досліджень параметрів трьох зразків мембран в різних умовах.

Табл. 2. Зміна параметрів багатошарових композитних полімерних мембран в залежності від робочого тиску

Table 2. Changing the parameters of multilayer composite polymer membranes depending on the working pressure

Зразок мембрани	Робочий тиск, МПа	Концентрація Ca^{2+} у розчині після мембрани, мг/дм^3	Селективність мембрани по відношенню до Ca^{2+} , φ , %
1	0,3	11,45	85,7
	0,8	40,64	49,3
	1,2	48,27	39,9
	1,6	52,42	34,6
	2,0	55,56	30,7
2	0,4	46,1	42,5
	0,8	59,71	25,5
	1,2	63,57	20,7
	1,6	65,57	18,2
	2,0	65,81	17,9
3	0,4	80,16	0
	0,8	80,16	0
	1,2	80,16	1,20
	1,6	64,13	20,0
	2,0	57,8	27,9

Одними із основних характеристик протікання процесів в таких багатофакторних системах можуть бути тільки вихідні криві, які характеризують параметральні залежності процесу ($C - P$, $\varphi - \tau$, $K_{зк} - \tau$) і дають можливість встановлювати їх механізми.

На рис. 4 представлені залежності зміни селективності (φ , %) мембран трьох зразків, отриманих методом пошарової полімеризації, від таких робочих параметрів процесу,

як зміна часу (τ , год) та зміна робочого тиску (P , МПа).

Характерними ознаками кривих є наявність параболічної залежності селективності мембран від робочих параметрів процесу на етапі робочої зони і лінійної залежності від цих параметрів – на етапі зони завершення процесу.

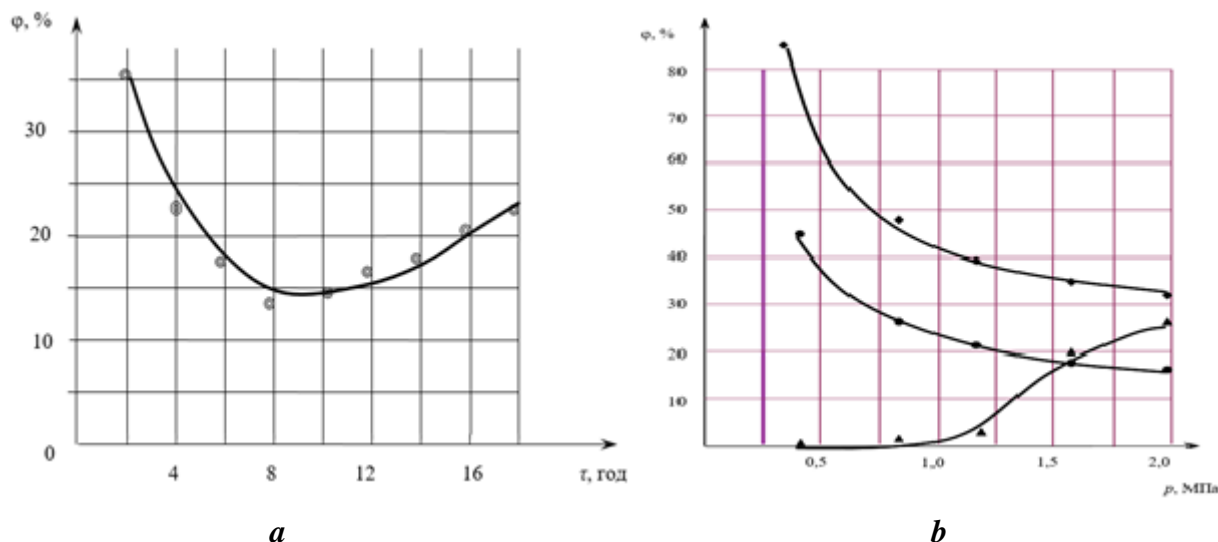


Рис. 4. Залежність селективності багатшарових полімерних мембран від робочих параметрів процесу зворотного осмосу: *a)* зміна селективності мембрани 2 з часом (τ) при постійному робочому тиску ($P = 1,0$ МПа); *b)* зміна селективності мембрани 1, 2, 3 з робочим тиском P , МПа

Fig. 4. Dependence of the selectivity of multilayer polymer membranes on the operating parameters of the reverse osmosis process: *a)* change in the selectivity of membrane 2 with time (τ) at a constant operating pressure ($P = 1.0$ MPa); *b)* change in selectivity of membrane 1, 2, 3 with working pressure P , MPa

ВИСНОВКИ

Опираючись на дані літератури та результати експериментальних досліджень було зроблено висновок, що для досягнення заданих властивостей мембран необхідно збільшити склад карбоксильних груп, а також збільшити мольну долю зшитих і розгалужених ланцюгів полімеру.

Дослідження процесів синтезу, структури полімерів, їх фізико-хімічних властивостей дозволило підійти до розуміння механізмів створення та синтезу полімерних мембранних структур, поперечні розміри яких і ступінь "розгалуженості" можуть змінюватись при виборі вихідних мономерів, умов синтезу і формування мембран.

Одержані наявні результати з вирішення всіх перерахованих проблем дають основу стадійності і функціональних етапів для обґрунтування такої технологічної схеми, яка повинна включати:

- функціональний етап з видалення зважених і колоїдного ступеню дисперсності частинок;

- функціональні етапи коригування органічного складу систем баромембранними методами;
- функціональні етапи коригування неорганічного складу.

Реалізація такої технологічної схеми можлива на основі:

- розробки нових полімерних матеріалів, які повинні володіти високою хімічною стійкістю до розчинення в розбавлених водних розчинах при їх використанні в баромембранних процесах;
- розробки типорозмірного ряду мембран з вирішенням однорідності їх структури і забезпеченням рівномірності фізико-хімічних властивостей по всій поверхні полотна;
- встановлення механізмів баромембранних методів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кравченко М. В., Василенко Л. О. Дослідження основних властивостей зворотноосмотичних мембран та їх вплив на зміну фізико-хімічного складу водних розчинів // Екологічна

безпека та природокористування. 2022. № 3 (43). С. 43 - 55.

2. Мельник Л. І. Хімія і фізика полімерів. Київ: НТУУ "КПІ". 2016. 161 с.

3. Бессонов М. И. Котон М. М., Кудрявцев В. В., Лайус Л. А. Полиамиды – класс термостойких полимеров. Л.: Наука. 1983. 328 с.

4. Кульский Л.А., Гороновский И. Т., Когановский А. М., Шевченко М. А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды: в 2-х ч. Киев: Наукова думка. 1980. 1206 с.

5. Шевченко М. А. Органические вещества в природной воде и методы их удаления. Киев: Наукова думка. 1966. 204 с.

6. Эршлер Б. Э. Применение ультрафильтрации для разделения коллоидов и кристаллоидов // Журн. Физ. Химии. 1934. № 5 (10). С. 1353 – 1365.

7. Kravchenko M. Preparation of quality drinking water as a basis of the environmental safety and human health // Environmental problems: Scientific journal. 2016. Volume 1, number 1. P. 57–60.

8. Кравченко М. В., Андрищенко І. М. Підготовка екобезпечної питної води на основі використання полімерних мембран, створених методом пошарової полімеризації // Екологічна безпека держави: тези доповідей Другого всеукраїнського круглого столу. 2021. С. 65-71.

9. Hoehn H. Materials Science of Synthetic Membranes: Ed. Lloyd D. R. ACS Symposium Series. 1985. V. 269. P. 81.

10. Kazuma Y., Yukiko E., Tadahisa I. Synthesis of fully divanillic acid-based aromatic polyamides and their thermal and mechanical properties // Polymer. 2022. Volume 256. 125222. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2022.125222>

11. Suzana P. Nunes, P. Zeynep Culfaz-Emecen, Guy Z. Ramon, Tymen Visser, Geert Henk Koops, Wanqin Jin, Mathias. Ulbricht Thinking the future of membranes: Perspectives for advanced and new membrane materials and manufacturing processes // Journal of Membrane Science. 2020. Volume 598. 117761. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.117761>

12. Progyateg Chakma. Dynamic Covalent Bonds in Polymeric Materials // Angewandte Chemie. 2019. Volume 58, Issue 29. P. 9682-9695. <https://doi.org/10.1002/anie.201813525>

13. Bassyouni M., M.H. Abdel-Aziz, M. Sh. Zoromba, S.M.S. Abdel-Hamid, Enrico Drioli. A review of polymeric nanocomposite membranes for water purification // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2019. Volume 73. P. 19-46. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.01.045>

14. Lingfeng Gao, Chao Li, Weichun Huang, Shan Mei, Han Lin. Polymer Membranes: Synthesis, Properties, and Emerging Applications // Chem. Mater. 2020. Volume 32 (5). P. 1703–1747. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.9b04408>

REFERENCES

1. Kravchenko, M. V., & Vasylenko, L. O. (2022). Investigation of the main properties of reverse osmosis membranes and their influence on changes in the physico-chemical composition of aqueous solutions. *Ecological safety and nature management*, 3(43), 43-55. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.3.43-55>

2. Melnyk, L. I. (2016). *Chemistry and physics of polymers*. Kyiv: NTUU "KPI". [in Ukrainian]

3. Bessonov, M. I., Koton, M. M., Kudryavtsev, V. V., & Laius, L. A. (1983). *Polyamides are a class of heat-resistant polymers*. Lvov: Science. [in Russian]

4. Kulsky, L. A., Goronovsky, I. T., Koganovsky, A. M., & Shevchenko, M. A. (1980). *Reference book on the properties, methods of analysis and purification of water*: in 2 parts. Kyiv: Naukova dumka. [in Russian]

5. Shevchenko, M. A. (1966). *Organic substances in natural water and methods of their removal*. Kyiv: Scientific opinion. [in Russian]

6. Ershler, B. E. (1934). Application of ultrafiltration for the separation of colloids and crystalloids. *Journal. Phys. Chemistry*, 5(10). 1353 - 1365.

7. Kravchenko, M. (2016). Preparation of quality drinking water as a basis of environmental safety and human health. *Environmental problems: Scientific journal*, 1(1). 57–60.

8. Kravchenko, M. V., & Andryushchenko, I. M. (2021). Preparation of environmentally safe drinking water based on the use of polymer membranes created by the method of layer-by-layer polymerization. *Environmental security of the state*. 65-71.

9. Hoehn, H. (1985). *Materials Science of Synthetic Membranes*: Ed. Lloyd D. R. ACS Symposium Series, 269. 81.

10. Kazuma, Y., Yukiko, E., & Tadahisa, I. (2022). Synthesis of fully divanillic acid-based aromatic polyamides and their thermal and mechanical

properties. *Polymer*, 256. 125222. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2022.125222>

11. Nunes, S. P., Culfaz-Emecen, P. Z., Ramon, G. Z., Visser, T., Koops, G. H., Jin, W., & Ulbricht, M. (2020). Thinking the future of membranes: Perspectives for advanced and new membrane materials and manufacturing processes. *Journal of Membrane Science*, 598. 117761. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.117761>

12. Chakma, P., & Konkolewicz, D. (2019). Dynamic Covalent Bonds in Polymeric Materials. *Angewandte Chemie*, 58(29). 9682-9695. <https://doi.org/10.1002/anie.201813525>

13. Bassyouni, M., Abdel-Aziz, M. H., Zoromba, M. Sh., Abdel-Hamid, S. M. S., & Drioli, E. (2019). A review of polymeric nanocomposite membranes for water purification. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 73. 19-46. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.01.045>

14. Gao, L., Li, C., Huang, W., Mei, S., & Lin, H. (2020). Polymer Membranes: Synthesis, Properties, and Emerging Applications. *Chem. Mater.*, 32(5). 1703–1747. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.9b04408>

Polymeric high-molecular compounds as a basis for creating composite multilayer membranes

Marina Kravchenko, Lesya Vasylenko

Abstract. The problem of preparation of drinking water is considered, which includes the study of the system "diluted aqueous solution - membrane - corrected diluted aqueous solution", where the membrane, as the main element and external factor of baromembrane processes, must meet certain physicochemical parameters and requirements. It is shown that for the effective use of baromembrane processes in solving the problem of adjusting the composition of diluted aqueous solutions, it is necessary to create a series of membranes with selective selectivity based on the principle of synthesis and creation of the polymer and its structural factors. The methodology for the synthesis of a high-molecular polymer, which by adjusting the ratio of the components of its composition and the conditions for obtaining new proper structures, determines such parameters as hydrophilicity, selectivity and permeability, along with the main chemical and physicochemical properties. A number of polymer materials that differ in chemical and thermal resistance have been determined, as well as new approaches to creating a thin barrier layer for both asymmetric and composite membranes. Micrographs of the structure of microfiltration polysulfone membranes are presented. The results of experimental studies of the obtained samples of multilayer composite membranes are given. The curves of the dependence of the selectivity of multilayer polymer membranes on such operating parameters of the reverse osmosis process as time and operating pressure are shown.

Key words: technology, synthesis, structuring, membrane, polymer, polymer composite membranes, selectivity, baro membrane processes, polyamide, polysulfone, aqueous solution, drinking water.

Стаття надійшла до редакції 09.02.2023