

Горобець А. В., Вакулюк П. В., Ранський А. П., Бурбан А. Ф.

## ОДЕРЖАННЯ КОМПОЗИТНИХ ФЛУОРОВМІСНИХ МЕМБРАН, НАПОВНЕНИХ СОЛЯМИ ЦИРКОНІЮ

*Розроблено методику отримання композитних, наповнених солями цирконію ( $ZrOCl_2$ ,  $Zr(HPO_4)_2$ ), флуоровмісних мембран методом інверсії фаз і досліджено їхні фізико-хімічні, механічні, транспортні та експлуатаційні характеристики. Встановлено, що транспортні характеристики сформованих мембран залежать від концентрації та природи солей. Показано, що введення в розчин полімеру солей призводить до підвищення гідрофільності поверхні мембран, зростання продуктивності, термостійкості, а також механічної міцності порівняно із мембранами, що не містять наповнювач.*

**Ключові слова:** флуоровмісні мембрани, інверсія фаз, наповнення, солі цирконію, гідрофілізація.

### Вступ

В останні роки інтенсивно розвиваються дослідження, спрямовані на отримання полімерних мембран із додатковими функціями, або багатофункціональних мембран. Особливо цікавими та перспективними є дослідження з отримання наповнених композитних мембран, що, як очікується, характеризуватимуться додатковою функціональністю і покращеними фізико-хімічними властивостями. Як відомо, полімерні функціональні мембрани можуть бути синтезовані кількома основними методами: поверхневим модифікуванням сформованих мембран функціональними речовинами або введенням до формувального розчину функціональних модифікаторів та наповнювачів, що призводить до отримання композитних мембран. Прикладами таких методів є функціоналізація поверхні промислових мембран та використання блок-кополімерів та змішаних полімерів як мембранних матеріалів [1]. Іншим придатним методом виготовлення нових змішаних мембранних матеріалів є введення у полімерну матрицю функціональних наночастинок сполук металів або вуглецю.

Так, для створення багатофункціональних мембран були спроби об'єднати фотокаталіз та мембранне розділення, поєднуючи частинки  $TiO_2$  з полімерними (поліамідною [2] пористою сульфваною поліетерсульфоною [3], полі(фталазінонетересульфону кетонною) та полісульфоною [4]) мембранами. В цих дослідженнях наночастинки оксиду титану були або нашаровані на полімерну поверхню

мембрани [2,3], або введені в мембрани в ході мембранного формування [3,4]. В усіх випадках зафіксоване збільшення протидії мембрани до забруднення.

Було описано [5] одержання Fe/Ni наночастинок у пористих ацетатцелюлозних мембранах шляхом in-situ відновлення, де відновлювальним агентом ( $NaBH_4$ ) слугував компонент осаджувальної ванни. Також було синтезовано нанорозмірні Fe/Pd біметалічні частинки в порах мікрофільтраційних мембран, виготовлених з полівініліденфлуориду шляхом використання різних двоступінчастих методів, що включають в себе: 1) хімічне відновлення йонів феруму, зв'язаних із поверхнею мембранних пор, якому передувало 2) часткове відновлення  $Pd^{2+}$  із наночастинками  $Fe^0$  [6].

Шляхом перенесення наночастинок із водної суспензії до органічного розчинника в ацетатцелюлозні мембрани було введено Fe/Ni наночастинки [7], створений таким чином організолі додавали до формувальної суміші перед інверсією фаз. В ході іншого дослідження нуль-валентні наночастинки феруму було введено в пористі ацетатцелюлозні мембрани шляхом диспергування наночастинок у вода/масло емульсії при змішуванні з ацетатцелюлозним ацетоновим розчином, з наступним створенням мембрани методом інверсії фаз [8].

Наночастинки можуть бути введені, як компоненти поліелектролітних багатошарових плівок. Ці плівки створюються на поверхні мембрани шляхом багатошарової (layer-by-layer) адсорбції протилежно заряджених елек-

тролітів [9]. Каталітичні та інші функціональні наночастинки можуть бути введенні у ці плівки методом конасадження або *in-situ* (місцевого) синтезу в межах плівки. Такі плівки придатні лише для покриття робочої поверхні мембран або внутрішньої поверхні пористої матриці. Можливість контролю складу плівок, виходячи з їх полімерних компонентів і наночастинкових наповнювачів, а також регулювання роздільних властивостей цих плівок, надають унікальні можливості для створення мембран, наповнених наночастинками [10].

Металополімерні нанокомпозитні мембрани можна створити шляхом місцевого відновлення неприєднаних йонних попередників у процесі інверсії фаз. Наприклад, Ag-полімерні мембрани були синтезовані в процесі хімічного відновлення йонів срібла [11] шляхом УФ-опромінення або із застосуванням високих температур. Відомо [12] використання методу *jet-wet* прядіння для виготовлення срібловмісних ацетатцелюлозних та поліакрилонітрильних порожнисто-волоконних ультрафільтраційних мембран. Наночастинки були створені шляхом відновлення йона срібла диметилформамідом, компонентом розчину для прядіння.

Методи, базовані на приєднанні або *in-situ* синтезі наночастинок у порах поверхні виготовлених мембран, мають такі переваги: покращується відтворюваність приготування нанокомпозитів, можливе повторне використання мембранної матриці або регенованих наночастинок, збільшується доступність іммобілізованих наночастинок для реагентів фільтрувальних розчинів [10]. Для порівняння, введення наночастинок під час формування мембрани дозволить створити структури нанокомпозитів з покращеними механічними та роздільними характеристиками, які поєднуються з властивими наночастинкам функціями. Структура отриманих мембран, зазвичай, залежить від фізичних та механічних властивостей полімерної матриці та наночастинок, так само як і від методу введення наночастинок [5].

Попередні дослідження показують, що властивості поверхневого шару (пористість, товщина) та морфологію макропорожнин роздільного шару (підкладки) можна змінити шляхом введення наночастинок. Обидві ці частини мембрани є важливими, оскільки поверхневий шар визначає проникність, затримувальну здатність та селективність мембран, в той час як структура роздільного шару впливає на її поведінку при стисканні [10]. Хоча спричинені наночастинками зміни в структурі

мембрани є специфічними, для певної комбінації наповнювач/матриця можна встановити загальні тенденції. Підвищення кількості введення наночастинок призводить до збільшення товщини поверхневого шару [13], пригнічення формування макропорожнин [14, 15] та зростання проникності мембрани [13, 16-18].

Так, наприклад, при збільшенні кількості введених наночастинок кремнезему у полісульфонові мембрани зростали пористість та розгалуженість каналів пор, їхній розмір та зменшувалася товщина селективного шару. У випадку глинисто-полісульфонових композитних мембран також спостерігалася зменшення товщини селективного шару зі збільшенням кількості введеного наповнювача [2]. Крім того, в гібридних  $\text{TiO}_2$ -полісульфонових ультрафільтраційних мембранах зі збільшенням концентрації наповнювача пригнічувалося утворення макропустот, підвищувались пористість та товщина селективного шару мембрани [19]. У результаті досліджень дійшли висновку, що мікроструктурні зміни, індуковані введенням наночастинок, потенційно можуть бути використані для виготовлення мембран із бажаними властивостями [2]. При розробці пористих нанокомпозитних мембран слід враховувати роль таких важливих факторів, як розмір частинок наповнювача (вони мають бути співрозмірними з діаметром пор матриці), спорідненість поверхні наповнювача до компонентів формувальної суміші та вплив пор матриці.

При розробці функціональних мембран перспективним є одержання нових мембран на основі флуоровмісних полімерів завдяки їх фізичній стійкості та хімічній інертності. Застосування неорганічних наночастинок в якості наповнювачів при формуванні мембран дає можливість отримання полімернеорганічних нанокомпозитних мембран, що ймовірно сприятиме одержанню мембран з вищою продуктивністю, селективністю та стійкістю до забруднювачів.

Метою пропонованої роботи було розробити методику формування композитних мембран та дослідити вплив введення до формувального розчину солей цирконію ( $\text{ZrOCl}_2$ ,  $\text{Zr}(\text{HPO}_4)_2$ ) на структуру та експлуатаційні характеристики флуоровмісних мембран.

### Матеріали та методи

Мембрани формували із флуоровмісного полімеру методом інверсії фаз [20]. З цієї метою використовували кополімер полівініліденфлуориду з тетрафлуоретиленом марки Ф-42Л  $[-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CH}_2-\text{CF}_2-]_m$  (НПО „Пластпо-

лімер”, Росія), котрий розчиняли в ацетоні та диметилформаміді (Aldrich), які перед застосуванням очищували перегонкою. Одержані розчини відфільтровували на вакуумному фільтрі та наносили тонким шаром на скло за допомогою формувального ножа. Нанесений розчин витримували на повітрі для часткового випаровування розчинника з поверхні полімерного розчину протягом 10–15 хв, занурювали у коагуляційну ванну ( $22 \pm 2^\circ\text{C}$ ), де нерозчинний у воді флуорополімер осаджувався з утворенням мембрани.

Для об’ємного модифікування використовували  $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  – порошок білого кольору, розчинний у воді та органічних розчинниках. Необхідну кількість  $\text{ZrOCl}_2$  змішували з 5 мл розчинника (суміш ДМФА/А у співвідношенні 1/1) та поміщали в ультразвукову баню на 30 хв. Після цього суспензію поступово при перемішуванні виливали у 14%-ий розчин флуорополімеру, розмішували та знову поміщали в ультразвукову баню на 30 хв. Одержану гомогенну суміш наносили тонким шаром на скло, витримували протягом 2 хв на повітрі та осаджували у коагуляційній ванні з утворенням мембрани.

Для дослідження водопроникності та селективності отриманих мембран використовували стандартну циліндричну комірку непроточного типу Amicon 8200 (виробництво Millipore Corporation, USA). Для зниження впливу концентраційної поляризації на процеси розділення комірка обладнана магнітною мішалкою. Досліди з фільтрації проводили при  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Робочий тиск у комірці задавали за допомогою стисненого азоту.

Об’ємний потік крізь мембрану - питому продуктивність мембрани,  $J_v$  л/(м<sup>2</sup>•год) розраховували за формулою:

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

де  $\Delta V$  – об’єм фільтрату, що пройшов крізь мембрану площею  $S$  за час  $\Delta \tau$ .

Для визначення коефіцієнта затримання речовини мембраною використовували водний розчин (2,5 кг/м<sup>3</sup>) поліетиленгліколю (ПЕГ) з молекулярною масою 35000 (Fluka). Концентрації калібранту в початковому розчині та фільтраті визначали на інтерферометрі марки ЛІР-2-УХЛ 4.2.

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

$$R = \left(1 - \frac{C_\phi}{C_0}\right) \cdot 100,$$

де  $C_\phi$  – концентрація речовини у фільтраті, г/дм<sup>3</sup>;  $C_0$  – концентрація речовини у початковому розчині, г/дм<sup>3</sup>.

Величину відносного спаду водопроникності ( $m$ , %) мембран вивчали шляхом дослідження залежності зміни водопроникності мембран від тривалості їх експлуатації при постійному тиску. Пропускання води крізь досліджувану мембрану призводить до поступового зниження її продуктивності, яка з часом досягає певного сталого значення. Ступінь ущільнення розраховували як відношення різниці зміни продуктивності ( $\Delta J_v^t$ ) мембран до початкового його значення ( $\Delta J_v^0$ ):

$$m = \frac{\Delta J_v^t}{J_v^0} \cdot 100\%.$$

Гідрофільність мембран оцінювали шляхом вимірювання крайових кутів змочування за методом сидячої краплі.

За допомогою дериватографа Q-1500 (системи Ф.Паулік, І.Паулік, І.Ердеї) визначили термоокисну деструкцію вихідних та ненаповнених солями цирконію флуоровмісних мембран. Зразки перед дослідженням на дериватографі були прогріті в термошафі при температурі приблизно  $110^\circ\text{C}$  протягом двох годин.

Фізико-механічні показники (міцність при розриві) визначали на розривній машині РМ-0,5 за ГОСТ 11262–76.

### Результати та їх обговорення

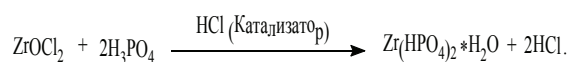
Було досліджено транспортні характеристики мембран, отриманих з формувального розчину, який містив від 0,1 до 5 %  $\text{ZrOCl}_2$ . При цьому  $\text{ZrOCl}_2$  вводили безпосередньо у формувальний розчин.

Як відомо, введення наночастинок металів до полімерного розчину при формуванні мембран методом інверсії фаз у багатьох випадках призводить до зростання загальної пористості мембран, а отже, сприяє збільшенню продуктивності. При додаванні невеликої кількості  $\text{ZrOCl}_2$  (0,1–1 %) спостерігається незначне ущільнення мембран, що певною мірою призводить до зменшення продуктивності та зростання селективності мембран. При подальшому збільшенні концентрації  $\text{ZrOCl}_2$  у формувальному розчині зростає загальна пористість полімерних плівок, що призводить до збільшення продуктивності та зменшення селективності. Отже, аналізуючи характеристики одержаних мембран (табл. 1) можна ствер-

джувати, що введення  $ZrOCl_2$  призводить до зростання водопроникності мембран та зменшення їхньої селективності, оскільки розчинний оксихлорид цирконію легко виводиться водою з полімерної матриці при формуванні мембран методом інверсії фаз, залишаючи велику кількість порожнин (пор).

Також досліджували характеристики мембран, що містять нерозчинний гідрофосфат цирконію ( $Zr(HPO_4)_2$ ), який отримували переведенням розчинної солі ( $ZrOCl_2$ ) у нерозчинну  $Zr(HPO_4)_2$ , що показано на схемі:

Введення частинок  $Zr(HPO_4)_2$  також призводить до зростання водопроникності, проте не такою мірою, як у випадку із  $ZrOCl_2$ , до того ж при невеликих концентраціях (0,1–5%) відбувається зростання селективності мембран щодо використаного калібранта (ПЕГ<sub>35000</sub>).



Одночасне зростання продуктивності та селективності можна пов'язати з ущільненням мембран, при якому відбувається зменшення розміру пор, проте продуктивність мембран в цьому випадку не зменшується через зростан-

ня їх гідрофільності за рахунок вмісту солі  $Zr(HPO_4)_2$ . Говорячи про гідрофільність композитних мембран, можна помітити значне зменшення крайового кута змочування водою поверхні мембран, що містять  $Zr(HPO_4)_2$  (72°). У мембран, при формуванні яких додавали  $ZrOCl_2$ , спостерігається невелике зменшення крайового кута змочування (94°), оскільки  $ZrOCl_2$  значною мірою вимивається з матриці полімерних мембран.

Встановлено, що введення  $Zr(HPO_4)_2$  (табл. 1, мембрана № 9) сприяє зростанню міцності та термостійкості мембран, про що свідчать вимірювання міцності мембран при розриві та термоокисній деструкції (табл. 2). Крім того, відбувається падіння величини відносного зменшення водопроникності (m, %) мембран, що позитивно впливає на їхні експлуатаційні характеристики (табл. 2).

Отже, введення наночастинок  $ZrOCl_2$  в поливальний розчин при формуванні мембран сприяє зростанню їхньої водопроникності та гідрофільності. Зокрема, введення  $Zr(HPO_4)_2$  призводить до незначного ущільнення мембран, що сприяє зростанню селективності, міцності та термостабільності одержаних мембран.

Таблиця 1. Вплив природи та кількості наповнювача на характеристики ФВм мембран

№ мембрани	Наповнювач	$C_{\text{наповн.}}^{\text{, \%}}$ (мас)	$J_v$ , л/м <sup>2</sup> год	$R$ , % ПЕГ <sub>35000</sub>	$\phi$ , °	m, %	Міцність при розриві, МПа
0	-		160	40	105	22,1	8,0
1	$ZrOCl_2$	0,1	160	40	104	22,0	8,0
2		1	178	43	101	19,1	8,9
3		5	274	29	97	18,3	8,1
4		10	382	0	95	17,3	7,2
5		20	505	0	94	16,5	5,9
6	$Zr(HPO_4)_2$	0,1	153	47	99	22,0	8,6
7		1	186	68	90	18,6	11,2
8		5	192	54	74	14,8	13,8
9		10	315	25	73	11,7	15,5
10		20	397	0	72	9,1	15,0

Таблиця 2. Дані термоокисної деструкції ФВм мембран

Зразок	Температура, °C при втраті маси, %						Коксовий залишок, %	Характерні піки, °C	
	Початок процесу	10	20	50	80	100		ДТГ	ДТА
Ф-42	290	370	400	450	490	520	0	480	550
Ф-42+ $ZrOCl_2$	280	390	450	480	510	540	1	480	555
Ф-42+ $Zr(HPO_4)_2$	380	450	490	545	590	615	4	520	575

### Висновки

Досліджено особливості формування флуорорівмісних мембран, наповнених солями цирконію методом інверсії фаз. Показано, що розділювальні характеристики сформованих мембран залежать від вмісту та природи солей. Встановлено, що введення в розчин полімеру солей цирконію призводить до значної гідрофілізації поверхні мембран, а також до підвищення їх механічної міцності порівняно із мембранами, що не містять наповнювач. Визначено, що найкращим для одержання ульт

трафільтраційних флуоро-вмісних мембран з гідрофілізованою поверхнею є вміст  $Zr(HPO_4)_2$  в діапазоні 0,1–2 мас. %. Більш високі концентрації наповнювача у формувальній суміші призводять до утворення мікрофільтраційних високопродуктивних мембран з низькою селективністю. Розроблений метод формування наповнених солями цирконію флуорорівмісних мембран можна використати як основу при створенні нанокompatитних мембран з новими функціональними властивостями.

### Список літератури

- Ulbricht M. Advanced functional polymer membranes / M. Ulbricht // *Polymer*. – 2006. – Vol. 47. – P. 2217-2302.
- Kwak S. Y. Hybrid Organic/Inorganic Reverse Osmosis (RO) Membrane for Bactericidal Anti-Fouling. I. Preparation and Characterization of  $TiO_2$  Nanoparticle Self-Assembled Aromatic Polyamide Thin-Film-Composite (TFC) Membrane / S.Y.Kwak, S.H.Kim, S.S.Kim // *Environ. Sci. Technol.* – 2001. – Vol. 35. – P. 2388-2394.
- Bae T.H. Preparation and characterization of fouling-resistant  $TiO_2$  self-assembled nanocomposite membranes // T.H. Bae, I.C. Kim, T.M. Tak // *J. Membr. Sci.* – 2006. – Vol. 275. – P. 11-19.
- Molinari R. Studies on various reactor configurations for coupling photocatalysis and membrane processes in water purification / R.Molinari, L.Palmisano, E.Drioli, M.Schiavello // *J. Membr. Sci.* – 2002. – Vol. 206. – P. 399.
- Taurozzi J.S. Effect of filler incorporation route on the properties of polysulfone silver nanocomposite membranes of different porosities / J.S.Taurozzi, T.C. Voice, V.V.Tarabara et al. // *J. Membr. Sci.* – 2008. – Vol. 325. – P. 58-68.
- Xu J. Fe/Pd nanoparticle immobilization in microfiltration membrane pores: Synthesis, characterization, and application in the dechlorination of polychlorinated biphenyls / J. Xu, D. Bhattacharyya // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2007. – Vol. 46. – P. 2348-2359.
- Wu L. Removal of trichloroethylene from water by cellulose acetate supported bimetallic Ni/Fe nanoparticles / L. Wu, S. M. C. Ritchie // *Chemosphere*. – 2006. – Vol. 63. – P. 285-294.
- Wu L.F. Preparation of cellulose acetate supported zero-valent iron nanoparticles for the dechlorination of trichloroethylene in water / L.F. Wu, M. Shamsuzzoha, S.M.C. Ritchie // *J. Nanopart. Res.* – 2005. – Vol. 7. – P. 469-476.
- Lee D. Antibacterial properties of Ag nanoparticle loaded multilayers and formation of magnetically directed antibacterial microparticles / D.Lee, R.E.Cohen, M.F.Rubner // *Langmuir*. – 2005. – Vol. 21. – P. 9651-9659.
- Tarabara V.V. Multifunctional nanomaterial-enabled membranes for water treatment / V.V. Tarabara // *J. Membr. Sci.* – 2010. – Vol. 330. – P. 61-75.
- Yu D.G. Characterization and inhibitory effect of antibacterial PAN-based hollow fiber loaded with silver nitrate / D.G.Yu, M.Y.Teng, W.L.Chou, M.C.Yang // *J. Membr. Sci.* – 2003. – Vol. 225. – P. 115-124.
- Kurokawa Y. Surface-enhanced Raman scattering (SERS) using polymer (cellulose acetate and Nafion) membranes impregnated with fine silver particles / Y.Kurokawa, Y.Imai // *J. Membr. Sci.* – 1991. – Vol. 55. – P. 227-233.
- Yang Y. The influence of nano-sized  $TiO_2$  fillers on the morphologies and properties of PSF UF membrane / Y.Yang, H.Zhang, P.Wang, et al // *J. Membr. Sci.* – 2007. – Vol. 288. – P. 231-238.
- Wara N. M. Addition of alumina to cellulose acetate membranes / N.M.Wara, L.F.Francis, B.V.Velamakanni // *J. Membr. Sci.* – 1995. – Vol. 104. – P. 43-49.
- Aerts P. Polysulfone-aerosil composite membranes: Part 2. The influence of the addition of aerosil on the skin characteristics and membrane properties / P.Aerts, I.Genne, S.Kuypers et al. // *J. Membr. Sci.* – 2000. – Vol. 178. – P. 1-11.
- Bottino A. Preparation and characterization of novel porous PVDF- $ZrO_2$  composite membranes / A.Bottino, G.Capannelli, A.Comite // *Desalination*. – 2002. – Vol. 146. – P. 35-40.
- He X. In situ composite of nano  $SiO_2$  P(VDF-HFP) porous polymer electrolytes for Li-ion batteries / X.He, Q.Shi, X.Zhou et al. // *Electrochim. Acta*. – 2005. – Vol. 51. – P. 1069-1075.
- Genne I. Effect of the addition of  $ZrO_2$  to polysulfone based UF membranes / I. Genne, S.Kuypers, R.Leysen // *J. Membr. Sci.* – 1996. – Vol. 113. – P. 343-350.
- Li J.B. Morphologies and properties of poly(phthalazinone ether sulfone ketone) matrix ultrafiltration membranes with entrapped  $TiO_2$  nanoparticles / J.B.Li, J.W.Zhu, M.S.Zheng // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2006. – Vol. 103. – P. 3623-3629.
- Горобець А.В. Формування мембран із флуорорівмісних полімерів / А.В. Горобець, П.В. Вакулук, К.В. Бутенко, А.Ф. Бурбан // *Наукові записки НАУКМА, сер. хім. науки і техн.* – 2007. – Т. 66. – С. 19-26.

A. Gorobets, P. Vakuliuk, A. Ranskiy, A. Burban

## COMPOSITE FLUORINE-CONTAINING MEMBRANES FILLED WITH ZIRCONIUM SALTS

*The technique of preparation composite fluorine-containing membranes filled with zirconium salts ( $ZrOCl_2$ ,  $Zr(HPO_4)_2$ ) were realized by phase inversion method and investigated their physical and chemical, mechanical, transport and operational characteristics. It was established that transport characteristics of formed membranes depend on the concentration and nature of salts. Shown that the introduction of the salts to polymer solution results to a change in the contact angle of the membrane surface, increase productivity, thermal resistance and increasing of their mechanical strength as compared with membranes that do not contain filler.*

**Key words:** fluorine-containing membranes, phase inversion, filling, zirconium salts, hydrophilization.

*Матеріал надійшов 24.01.2013*

УДК 541.64

Гуменюк Л. М., Михальюк Я. С., Момот Л. М., Вретік Л. О., Бурбан А. Ф.

## КОПОЛІМЕР БУТИЛМЕТАКРИЛАТУ З МЕТИЛ-(4-МЕТАКРИЛОКСИ)-БЕНЗОАТОМ ЯК ОСНОВА КОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ФОТОЧУТЛИВИХ МЕМБРАН

*Радикальною полімеризацією синтезовано ряд зразків полі(бутилметакрилату) з різною молекулярною масою та кополімер бутилметакрилату з метил-(4-метакрилокси)-бензоатом. Методом ІЧ-спектроскопії доведено наявність фотоактивних ланок метил-(4-метакрилокси)-бензоату в одержаному кополімері та показано, що під дією УФ-опромінення змінюється його хімічна будова завдяки фотоперегрупуванню Фріса.*

**Ключові слова:** кополімер бутилметакрилату, фотохімічна модифікація, перегрупування Фріса.

### Вступ

Синтетичні мембрани широко використовуються в різних сферах діяльності людини, тому часто потребують модифікації для покращення хімічних та фізико-хімічних властивостей з метою збільшення продуктивності та селективності [1]. Модифікація поверхні мембран шляхом полімераналогічних перетворень є досить складним хімічним процесом і потребує значних економічних затрат [2]. Синтез фоточутливих матеріалів нового покоління відкриває перспективу модифікації сформованих мембран за допомогою УФ-опромінення, яке не тільки не призводить до деструкції полімеру, а й покращує експлуатаційні характе-

ристики мембран.

Більшість полімерів можуть бути використані як бар'єрні або мембранні матеріали, але їх хімічні та фізичні властивості настільки різні, що лише обмежене число відомих високомолекулярних сполук застосовується на практиці. Так, поліакрилати та їх кополімери використовуються у мембранній технології для формування газороздільних та первапораційних мембран, а також для виробництва клеїв, плівкових лакофарбових матеріалів та емалей [1,3]. Полібутилметакрилат виділяється серед відомих метакрилових полімерів не тільки тим, що його давно і успішно застосовують в реставраційній практиці (живопис, консервація та реставрація пам'ятників культури