

ПОЗИТИВНО ЗАРЯДЖЕНІ ТРЕКОВІ МЕМБРАНИ НА ОСНОВІ ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ ТА 4-ВІНІЛПІРИДИНУ

Розроблено метод отримання позитивно заряджених трекових поліетилентерефталатних мембран шляхом прищепленої полімеризації 4-вінілпіридину до попередньо озонованої поверхні мембран. Встановлено оптимальні умови процесу озонування та прищепленої полімеризації. Вивчено транспортні та бактерицидні властивості модифікованих мембран.

Ключові слова: трекові мембрани, прищеплена полімеризація, бактерицидні мембрани, позитивно заряджені мембрани.

Вступ

За останні роки в різних галузях науки та техніки, в першу чергу при фракціонуванні та очищенні розчинів високомолекулярних сполук, цитологічних дослідженнях, елементарному аналізі та холодній стерилізації води успішно використовуються поліетилентерефталатні (ПЕТФ) трекові мембранні фільтри. Однак перспектива ширшого їх використання великою мірою обмежена гідрофобністю поверхні. У науковій літературі описано багато способів модифікування трекових ПЕТФ-мембран, серед яких значне місце посідає прищеплена полімеризація різноманітних мономерів [1–5]. У зв'язку з високим ступенем кристалічності поліетилентерефталату та його низькою реакційною здатністю у процесах прищепленої полімеризації часто застосовують високоенергетичні методи ініціювання прищепленої полімеризації мономерів [6–11]. Разом із тим відомо [1, с. 12], що поверхня ПЕТФ при тривалому зберіганні на повітрі містить різноманітні кисневмісні функціональні групи (в тому числі пероксидні). Підвищення температури окиснення ПЕТФ сприяє збільшенню кількості поверхневих функціональних груп, що призводить до зростання гідрофільності поверхні. Наявні на поверхні пероксидні групи за умов термічно ініційованої полімеризації розкладаються з утворенням макрорадикалів, здатних ініціювати прищеплену полімеризацію мономерів. Однак у разі окиснення ПЕТФ на повітрі при невисоких температурах частка пероксидних груп досить низька, що обумовлює невелику кількість прищепленого полімеру до ПЕТФ-поверхні.

У зв'язку з вищевказаним, розробка методу інтенсивного окиснення поверхні ПЕТФ-мембран, в тому числі із застосуванням озону, може бути дуже перспективна для утворення на її поверхні в умовах термічно ініційованої полімеризації значної кількості прищеплених полімерів.

Одним із методів модифікування та функціоналізації мембран і їх властивостей є надання мембрані поверхневого заряду (як негативного, так і позитивного), що має велике значення для регулювання розділювальних характеристик мембран, адсорбційної здатності, зменшення забруднюваності та продовження терміну їхньої експлуатації. Застосування таких мембран відкриває широкі перспективи для іммобілізації на їхній поверхні ферментів, біологічно-активних речовин, мікроорганізмів; створення біореакторів, біосенсорів та функціональних мембран. Крім того, мембрани із зарядженою поверхнею можна ефективно застосовувати для демінералізації слабомінералізованих вод, фільтрації та фракціонування заряджених речовин, білків, поліелектролітів тощо.

Останнім часом велика увага приділяється розробці методів отримання полімерів та мембран із позитивним зарядом їхньої поверхні. Відомо [13], що позитивно заряджена поверхня полімерів проявляє антибактеріальні властивості. Важливість отримання полімерних мембран з антибактеріальними (бактеріостатичними та бактерицидними) властивостями пов'язана із проблемою бактеріального забруднення та біодеструкції мембран у процесі експлуатації, вторинним забрудненням води продуктами метабо-

лізму мікроорганізмів. Серед функціональних груп, що надають полімерам позитивного заряду, досить поширеними є нітрогенвмісні групи, особливо з четвертинним атомом нітрогену, наприклад, на основі піридину. Враховуючи це, ефективним для отримання позитивно заряджених мембран може стати використання трекових мембран, модифікованих прищепленими полівінілпіридинами.

У науковій літературі відомі роботи з прищеплення вінільних мономерів до поліетилентерефталату, в яких, зокрема, показано [14, 15], що ПЕТФ-плівки, попередньо окиснені при нагріванні, можуть ініціювати радикальну полімеризацію вінільних мономерів з утворенням прищепленого полімеру.

Тому метою нашого дослідження була розробка лабораторної технології модифікування попередньо озонованих поліетилентерефталатних мембран шляхом прищепленої полімеризації 4-ВП до їхньої поверхні та дослідження селективних і бактерицидних характеристик отриманих мембран.

Експериментальна частина

Були використані трекові поліетилентерефталатні мембрани (виробництво ОІЯД м. Дубна, Росія) з розміром пор 0,05 та 0,07 мкм завтовшки 8–10 мкм та мембрани, отримані на харківському лінійному прискорювачі важких іонів у Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут» з розміром пор 0,05 та 0,06 мкм [16, 17].

Розділювальні характеристики мембран оцінювали з допомогою неіоногенної речовини поліетиленгліколю (ПЕГ) з молекулярною масою 20 kD (Fluka) та водних розчинів електроліту типу 2–1 CaCl₂ концентрацією 0,2·10⁻³ моль/л.

4-вінілпіридин (4-ВП) (Aldrich) двічі переганяли вакуумною перегонкою над КОН та CaH₂. Трекові мембрани екстрагували метанолом та ацетоном від домішок в апараті Сокслета і висушували до постійної маси за кімнатної температури.

Кількість озону в повітряно-озонової суміші контролювали йодометричним методом, відповідно до [18].

Вимірювання поверхневого заряду мембран (ξ - потенціалу) проводили на електрокінетичному аналізаторі (ЕКА, Anton Paar GmbH).

Для вивчення транспортних характеристик (водопроникність) сформованих мембран використовували стандартну циліндричну комірку непроточного типу Amicon 8200 (Millipore Corporation, USA). Гідрофільність поверхні мембран оцінювали шляхом вимірювання крайових кутів змочування поверхні мембрани бідисти-

льованою водою методом сидячої краплі. Значення контактних кутів усереднювали вибіркою із 10 вимірювань; похибка вимірювання становила $\pm 3^\circ$.

Бактерицидну активність отриманих мембран визначали фільтруванням суспензії грам-негативної бактерії *Escherichia coli* НВ 101 та грампозитивної бактерії *Staphylococcus aureus* ССМ 209 у стерильному фізіологічному розчині NaCl крізь досліджувану мембрану. Контролем слугувала немодифікована мембрана. Бактерицидну активність визначали як відсоток колонієтвірних одиниць на модифікованій мембрані порівняно з такими самими на немодифікованій.

Прищеплення поліелектроліту полі-4-вінілпіридину (полі-4-ВП) проводили двома способами: 1) термічно-індуктованої прищепленої полімеризації 4-ВП на попередньо озонованих мембранах; 2) прищепленої полімеризації 4-ВП на попередньо озонованих мембранах за допомогою окиснювально-відновної системи Fe²⁺ – H₂O₂ (Реактив Фентона).

Термічно-індуктована прищеплена полімеризація

ПЕТФ-трекові мембрани перед обробкою озоном промивали протягом 2 год метанолом та ацетоном, поміщали на певний час в атмосферу озону (повітря з домішкою озону в кількості 4,5·10⁻² моль/л) і витримували за певної температури. Температуру озонувальної суміші регулювали пропусканням її через трубчастий керамічний нагрівальний елемент. Для проведення прищепленої полімеризації зразки озонованих трекових мембран поміщали в 15 %-вий розчин 4-ВП в N-метил-2-піролідоні за температури 20 °C. Розчин продували інертним газом (гелієм) протягом 60 хв для видалення розчиненого кисню. Після цього температуру розчину 4-ВП в термостаті доводили до заданих умов полімеризації (45–85 °C) і витримували визначений час. Трекові мембрани після прищепленої полімеризації промивали в апараті Сокслета N-метил-2-піролідонем та висушували до постійної маси за кімнатної температури. Досліджували кількість прищепленого полі-4-вінілпіридину (полі-4-ВП) ваговим методом.

Прищеплена полімеризація за допомогою окиснювально-відновної системи Fe²⁺ – H₂O₂

ПЕТФ-трекові мембрани поміщали в розчин солі Fe²⁺ (5,0 · 10⁻³ моль/л розчин солі Мора) на 15 хв. Після цього мембрани промивали дистильованою водою та вносили в 5 % розчин H₂O₂ на 25–30 хв і промивали у дистильованій воді за температури не більше 5 °C протягом 3–4 хв. Попередні експерименти свідчили, що промивання мембрани після обробки Fe²⁺ не повинно бути тривалим, розчин H₂O₂ при зануренні в нього

мембрани після витримання в Fe^{2+} повинен набувати коричневого забарвлення.

Оскільки 4-ВП в нейтральному середовищі погано розчиняється у воді для отримання його водорозчинної форми хлоридну сіль підкислювали хлоридною кислотою. Для цього до суміші 4-ВП з водою при перемішуванні додавали кілька крапель конц. HCl , що призводило до повного розчинення 4-ВП, при цьому у момент його повного розчинення реакція середовища була практично нейтральною ($\text{pH} = 6,5-7,0$).

Модифіковані мембрани відмивали від мономера та гомополімера протягом 6 год N -метил-2-піроліденом в апараті Сокслета.

Результати та їх обговорення

Термічно ініційована прищеплена полімеризація 4-ВП до поверхні озонованих ПЕТФ-мембран

При контакті кисню та озону з поверхнею ПЕТФ (особливо за підвищених температур) у ній накопичується кисневмісні функціональні групи різної природи, в тому числі, пероксидні. Водночас відбуваються реакції зшивання і деструкції поверхневого шару зі зміною його адгезійних характеристик [19]. Пероксидні групи на поверхні ПЕТФ-мембран в умовах термічно ініційованої полімеризації здатні розпадатися з утворенням макрорадикалів, які ініціюють прищеплення полімеру до мембрани (рис. 1).

Задля встановлення оптимальних умов прищепленої полімеризації ефективний час озонування поверхні ПЕТФ-мембран визначали експериментально, досліджуючи зміну кута змочування мембран, величину об'ємного потоку води крізь мембрану та зміну коефіцієнта затримки PEG_{20000} (рис. 2).

Як видно із рис. 2, найвище значення коефіцієнта затримки PEG_{20000} спостерігається на мембранах, озонованих протягом 10 та 60 хв. Дослідження залежності крайового кута змочування озонованих мембран водою від тривалості озонування свідчать (табл. 1), що найбільш суттєве зменшення кута змочування озонованих мембран порівняно з початковими спостерігається при озонуванні протягом 10 та 40 хв.

Ймовірно, мінімум на кривих (рис. 2) пояснюється процесом розпаду пероксидних груп, що утворюються на поверхні ПЕТФ при тривалому впливі озону (20–40 хв) та високої температури, що призводить до зменшення кількості макрорадикалів в умовах реакції прищепленої полімеризації 4-ВП і, відповідно, кількості прищепленого полімеру. Подальше озонування, очевидно, призводить до зростання кількості пероксидних груп, що проявляється у збільшенні кількості прищепленого полімеру та його впливові

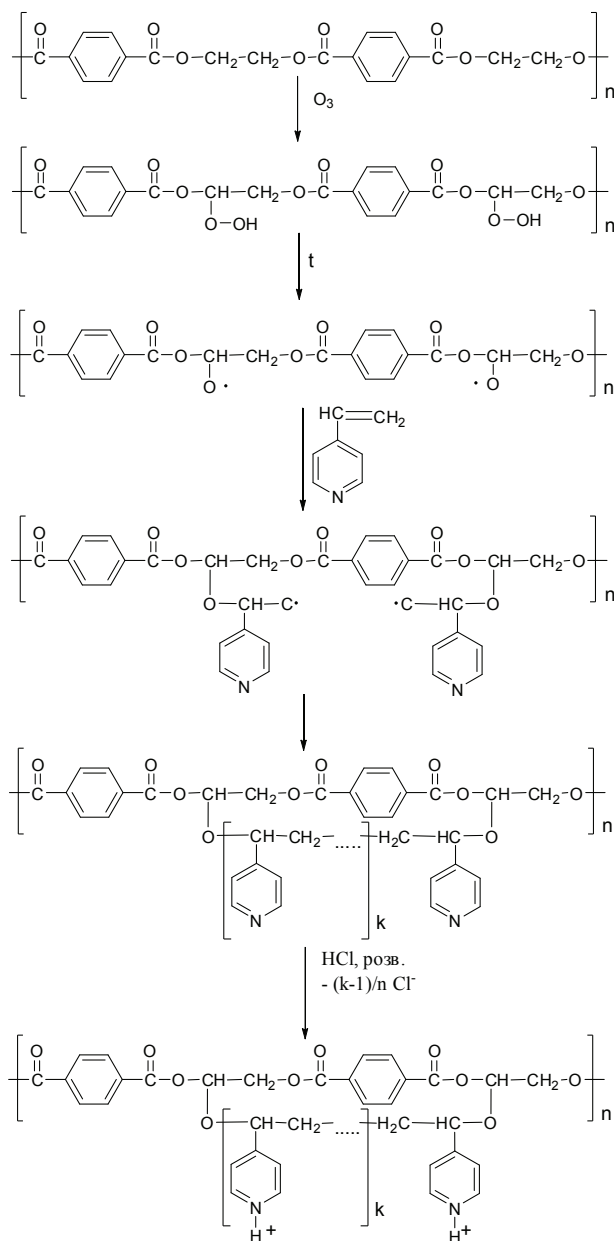


Рис. 1. Схема процесу поверхневого модифікування ПЕТФ-мембран 4-вінілпіридином з попередньою обробкою сумішшю повітря з озоном

на водопроникність модифікованих мембран. Тому озонування поверхні мембран в умовах експерименту проводили протягом 10 хв.

Встановлено, що із підвищенням температури озонування суттєво зростає коефіцієнт затримки PEG_{20000} мембранами із прищепленим полі-4-ВП і становить 40 % на мембрані, озонованій при 80°C . Необхідно зазначити, що при температурі озонування нижче 60°C , коефіцієнт затримки PEG_{20000} модифікованої мембрани дорівнює 7–8 %, не суттєво відрізняючись від такого немодифікованої ПЕТФ-мембрани. Це може свідчити про незначну кількість пероксидних груп, які утворюються в результаті озонування.

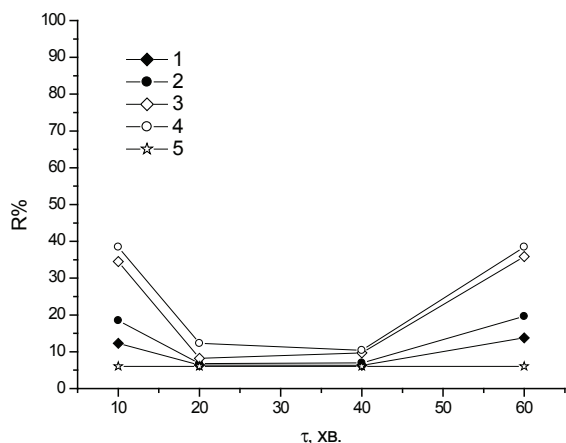


Рис. 2. Залежність коефіцієнта затримки ПЕГ₂₀₀₀₀ від тривалості озонування (хв) ПЕТФ мембрани (0,05 мкм) та умов полімеризації 4-ВП

- 1 – температура озонування 60 °С, час полімеризації 2 год, температура 55 °С;
 2 – температура озонування 60 °С, час полімеризації 2 год, температура 65 °С;
 3 – температура озонування 60 °С, час полімеризації 10 год, температура 55 °С;
 4 – температура озонування 70 °С, час полімеризації 10 год, температура 65 °С;
 5 – немодифікована мембрана

Таблиця 1. Залежність величини кута змочування поверхні мембран від часу озонування (мембрани озоновані при 80 °С)

Час озонування, хв	0	10	20	30	40
Кут змочування, °	60	38	54	39	53

Таблиця 2. Залежність водопро проникності ПЕТФ-мембран, модифікованих прищепленим полі-4-ВП, від температури озонування. Тривалість озонування – 10 хв

Показник	Не модифікована мембрана	Температура озонування				
		55 °С	65 °С	75 °С	80 °С	85 °С
Водопро проникність (л/м ² -год)	22,5	18,5	14,8	9,3	4,2	3,7

Як видно з табл. 2, збільшення температури озонування мембран призводить до значного падіння їх водопро проникності після реакції прищепленої полімеризації 4-ВП порівняно з немодифікованими. Це може свідчити про зростання кількості прищепленого полі-4-ВП, обумовлене збільшенням кількості пероксидних груп на поверхні ПЕТФ-мембран при зростанні температури озонування. Термічний розклад пероксидних груп призводить до появи макрорадикалів на поверхні мембран, що ініціюють прищеплення полі-4-ВП, і відповідного зменшення ефективного розміру пор мембрани.

Найбільш суттєвий вплив на прищеплення 4-ВП та зміну розділювальних характеристик

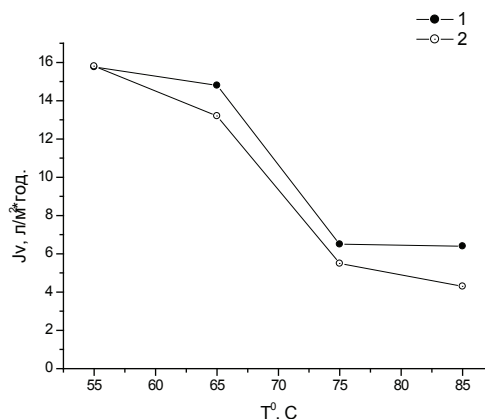


Рис. 3. Залежність величини об'ємного потоку води крізь мембрану (P = 0,2 МПа) із прищепленим полі-4-ВП на її поверхні від температури полімеризації: 1 – тривалість полімеризації 2 год; 2 – тривалість полімеризації 5 год

мембран має температура та тривалість полімеризації.

Як видно з рис. 3, із підвищенням температури полімеризації 4-ВП на попередньо озонованих при 60 °С ПЕТФ-мембранах спостерігається значне падіння їхньої водопро проникності, що може опосередковано свідчити про зростання кількості прищепленого полі-4-ВП. Водночас із підвищенням температури полімеризації також спостерігається падіння водопро проникності ПЕТФ-мембран.

Прищеплення до поверхні мембрани полі-4-ВП повинно призводити до отримання позитивно зарядженої мембрани, що має суттєво вплинути на зростання коефіцієнта затримки дво зарядних катіонів за зарядним механізмом селективності.

Як видно із табл. 3, збільшення тривалості прищепленої полімеризації 4-ВП призводить до падіння водопро проникності модифікованих мембран. Водночас спостерігається значне зростання коефіцієнта затримки ПЕГ₂₀₀₀₀. Вказані зміни можна пояснити зменшенням ефективного діаметра пор мембрани за рахунок прищеплення до її поверхні полі-4-ВП. Прищеплення позитивно зарядженого іоногенного полімеру до поверхні ПЕТФ-мембран призводить до зміни її заряду із слабонегативного (немодифікована ПЕТФ-мембрана) до позитивного, величина якого (ξ -потенціал) корелює із кількістю прищепленого полімеру. Це, своєю чергою, призводить до появи затримувальної здатності модифікованих мембран стосовно низькомолекулярного електроліту типу 2-1 CaCl₂.

Прищеплена полімеризація 4-ВП за допомогою окиснювально-відновної системи Fe²⁺ – H₂O₂

Встановлено, що при однакових концентраціях реакційної суміші та температури збільшення

Таблиця 3. Характеристики ПЕТФ-мембран з прищепленим полі-4-ВП, отримані методом термічно ініційованої полімеризації. Розмір пор – 0,05 мкм, Р = 0,01 МПа, $C_{4-ВП} = 15\%$, моль/л, $C_{CaCl_2} = 0,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л

Показник	Мембрани					Немодифікована мембрана
	1	2	3	4	5	
Тривалість прищепленої полімеризації 4-ВП, хв	10	20	30	60	120	–
Водопроникність J_v , л/м ² ·год	12,2	10,6	8,2	5,4	5,0	17,2
$R_{ПЕГ\ 20\ 000}$, %	11,3	16,5	32,0	44,0	49,2	4,0
R_{CaCl_2} , %	9,6	14,4	23,7	33,5	42,4	0
ξ -потенціал, мВ	+12,5	+17,2	+21,0	+24,5	+26,8	–5,4

Вимірювання ξ -потенціалу проводили відносно розчину КСІ концентрацією $1 \cdot 10^{-3}$.

тривалості полімеризації призводить до зростання маси мембрани, що, ймовірно, відбувається як за рахунок певного зростання кількості прищепленого полі-4-ВП, так і кількості зв'язаної води із гідрофільними групами на поверхні мембрани. Як видно з рис. 4, зростання часу процесу полімеризації з 1 до 30 хвилин призводить до зростання маси мембран з 0,5 до 7,8 % мас.

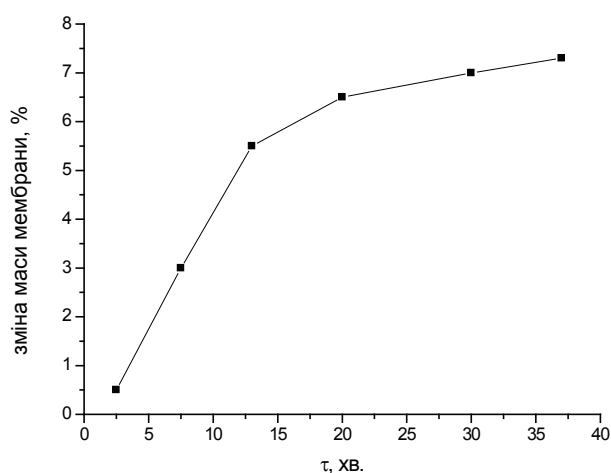


Рис. 4. Залежність зміни маси ПЕТФ-мембрани (% мас.) від тривалості процесу полімеризації (концентрація 4-ВП – 0,07 моль/л, концентрація H_2O_2 – 2,8 % мас., конц. солі Мора – $2,6 \cdot 10^{-3}$ моль/л)

Як видно із рис. 4, збільшення тривалості процесу полімеризації понад 40 хв не призводить до зростання маси мембрани при однаковій концентрації 4-ВП. Разом із тим при збільшенні концентрації 4-ВП в розчині спостерігається помітне зростання маси мембрани.

Як видно з табл. 4, підвищення концентрації 4-ВП у розчині призводить до суттєвого збільшення маси модифікованої мембрани, що, своєю чергою, зменшує її ефективний радіус пор. Для підтвердження сказаного проводили дослідження коефіцієнта затримки ПЕГ_{20 000} на модифікованих мембранах. Затримання неіоногенного

ПЕГ полімерними мембранами здійснюється за молекулярно-ситовим механізмом. Зменшення ефективного діаметра пор мембрани зазвичай призводить до зростання величини коефіцієнта затримки речовини мембраною. Як видно з табл. 4, із зростанням маси мембрани в результаті прищепленої полімеризації 4-ВП спостерігається суттєве збільшення коефіцієнта затримки ПЕГ, що підтверджує припущення про зменшення розміру пор мембрани. Як було встановлено, дзета-потенціал поверхні немодифікованої трекової ПЕТФ-мембрани має негативний заряд (для мембран з розміром пор 0,05 мкм дзета-потенціал становить –5,4 мВ). Вимірювання дзета-потенціалу модифікованих мембран із прищепленим полі-4-ВП свідчить, що поверхня мембрани набуває позитивного заряду і тим більшого, чим більше зростає маса мембрани в результаті прищеплення полі-4-ВП до поверхні мембрани (табл. 4).

Відомо [20], що заряд поверхні мембрани сприяє затриманню відповідних іоногенних речовин за електростатичним механізмом затримання. Коефіцієнт затримки $CaCl_2$ зростає від 0 (немодифікована мембрана) до 35,8 % (мембрана з максимально прищепленою кількістю полі-4-ВП), що яскраво свідчить про вплив зарядного механізму на коефіцієнт затримки двозарядних іонів Ca^{2+} . Дослідження селективності отриманих заряджених мембран за $CaCl_2$ проводили при робочому тиску (0,01 МПа) через те, що підвищення тиску призводить до стискання подвійного електричного шару на поверхні мембрани і падіння коефіцієнта затримки.

Описано [21], що позитивно заряджені полімери та полімерні мембрани характеризуються антибактеріальною активністю. У зв'язку з цим вивчали бактерицидність модифікованих ПЕТФ-мембран, отриманих двома описаними вище методами. Результати представлено у табл. 5.

Таблиця 4. Характеристики трекових мембран, модифікованих прищепленим полі-4-ВП з використанням окисно-відновної системи $\text{Fe}^{2+} - \text{H}_2\text{O}_2$. Розмір пор – 0,05 мкм, $P = 0,01$ МПа, $C_{\text{H}_2\text{O}_2} = 2,8$ % масових, $C_{\text{С.Мора}} = 2,6 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $C_{\text{CaCl}_2} = 0,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л

Показник	Мембрани					Немодифікована мембрана
	1	2	3	4	5	
С4-ВП, моль/л	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	–
Зростання маси мембрани (мас. %)	2,5	4,2	6,4	7,8	8,2	–
Водопроникність J_v , л/м ² -год	8,2	7,7	7,2	6,5	5,8	17,2
$R_{\text{ПЕГ } 20\,000}$, %	9,6	13,4	29,5	40,0	48,4	4,0
R_{CaCl_2} , %	6,7	12,6	21,8	29,5	35,8	0
ξ -потенціал, мВ	+12,0	+18,4	+22,0	+25,0	+27,7	–5,4

Вимірювання ξ -потенціалу проводили відносно розчину КСІ концентрацією $1 \cdot 10^{-3}$.

Таблиця 5. Залежність бактерицидності модифікованих ПЕТФ-мембран від методу модифікування та зміни маси мембрани (% мас.) за рахунок прищепленого полі-4-ВП

Мембрана	Бактерицидність мембран, %	
	<i>Escherichia coli</i> HB 101	<i>Staphylococcus aureus</i> ССМ 209
Немодифікована ПЕТФ мембрана	0	0
Модифіковані термічно ініційованим методом (зміна % мас.)		
1) 3,5	55	48
2) 6,6	78	72
3) 8,7	100	95
Модифіковані з допомогою реактиву Фентона (зміна % мас.)		
1) 4,2	61	58
2) 6,4	75	70
3) 8,2	100	92

Як бачимо з табл. 5, всі мембрани із прищепленим полі-4-ВП проявляють значно вищу бактерицидну активність як щодо грам-негативних, так і грам-позитивних мікроорганізмів порівняно із немодифікованою мембраною. Збільшення маси мембран в результаті прищепленої полімеризації 4-ВП до поверхні мембран призводить до суттєвого зростання бактерицидності мембран.

Висновки

Отже, в результаті виконаних досліджень отримано позитивно заряджені ПЕТФ трекові мембрани з прищепленим до їхньої поверхні полі-4-ВП. Показано, що окиснення мембран повітряно-озоною сумішшю сприяє утворенню на поверхні мембран пероксидних груп, які в умовах полімеризації 4-ВП призводять до утворення прищепленого полі-4-ВП. Встановлено, що для модифікованих мембран характерне зростання коефіцієнта затримки як неіоногенних речовин, так і низькомолекулярних електролітів. Отримані модифіковані мембрани проявляють високу антибактеріальну активність до грам-негативних і грам-позитивних мікроорганізмів.

Отримані результати досліджень можуть слугувати основою для створення заряджених мембран для систем водопідготовки.

1. Жданов Г. С. Основные подходы к модифицированию трековых мембран из полиэтилентерефталата / Г. С. Жданов, Н. К. Китаева, Е. А. Баннова, Л. В. Миняйло // Серия. Кристические технологии. Мембраны. – 2004. – № 2. – С. 3–8.
2. Коршак В. В. Получение привитых сополимеров. Прививка винильных мономеров к полиэтилентерефталату / В. В. Коршак, К. К. Мозгова, М. А. Школина // Высокомолекул. соед. – 1959. – Т. 1. – № 11. – С. 1604–1609.
3. Adwait K. Pradhan. Grafting vinyl monomers onto polyester fibers. VI. Graft copolymerization of methyl methacrylate onto PET fibers using tetraiva initiator / Adwait K. Pradhan, Nrusingha C. Pati, Padma L. Nayak // Journal of Applied Polymer Science. – 1982. – V. 27. – № 6. – P. 1873–1881.
4. Liu Y. Grafting of Methyl Acrylate onto PET Initiated by Diperoxidocuprate (III) / Y. Liu, S. Li, J. Zhang, W. Zhou, R. Zhang // Journal of Macromolecular Science, Part A : Pure and Applied Chemistry. – 2006. – V. 43. – № 8. – P. 1255–1263.
5. Кочкодан В. М. Привитая полимеризация стирола на поверхности полиэтилентерефталатных ядерных фильтров / В. М. Кочкодан, М. Т. Брык, Б. В. Мчедлишвили, Н. И. Житарюк // Укр. хим. журн. – 1987. – Т. 53. – № 1. – С. 100–103.
6. Трофимов Д. А. Плазменная модификация трековых мембран N-изопропилакриламидом / Д. А. Трофимов, Т. В. Данилова, В. М. Шкинев, Б. Я. Спиваков, Б. В. Мчедлишвили // Мембраны. – 2009. – № 3. – С. 9–15.

7. Гильман А. Б. Воздействие низкотемпературной плазмы как эффективный метод модификации поверхности полимерных материалов // Химия высоких энергий. – 2003. – Т. 37. – № 1. – С. 20–26.
8. Сергеев А. В. Модификация трековых мембран дифторидом ксенона : дис. на соискание учен. степени канд. хим. наук, РФ 02.00.11 – Коллоидная химия и физико-химическая механика. – М., 2002. – 226 с.
9. Кабанов В. Я. Модифицирование полимеров путем радиационной прививочной полимеризации (современное состояние, тенденция развития) / В. Я. Кабанов, В. Н. Кудряцев // Химия высоких энергий. – 2003. – Т. 37. – № 1. – С. 3–7.
10. Житарюк Н. И. Радиационно-химическая прививочная полимеризация на полиэтилентерефталатных ядерных мембранах. Свойства привитых полимеров : дис. канд. хим. наук. – Дубна, 1988. – 224 с.
11. Штанько Н. И. Получение и свойства полимерных трековых мембран, модифицированных радиационной прививочной полимеризацией. Дис... канд. хим. наук. – М., 1998. – 136 с.
12. Кестинг Р. Е. Синтетические полимерные мембраны / Р. Е. Кестинг ; [ред. Ежова В. К.]. – М. : Химия, 1991. – 336 с.
13. Gottenbos B. Antimicrobials effects of positively charged surfaces on adhering Gram-positive and Gram-negative bacteria / B. Gottenbos, D. W. Grijpma, H. C. van der Mei, J. Feijen, H. J. Busscher // Journal of Antimicrobial Chemotherapy. – 2001. – V. 48. – P. 7–13.
14. Shalaby S. E. Graft copolymerization of 2-methyl-5-vinylpyridine onto poly(ethylene terephthalate) fibers / E. Shalaby, E. Allam, N. Y. Abou-Zeid, A. M. Bayzeed // Journal of Applied Polymer Science. – 1976. – V. 20. – № 9. – P. 2565–2568.
15. Dokolas P. III. Methyl Methacrylate onto Polypropylene and Polyethylene Terephthalate / P. Dokolas, G. Guanghua Qiao, D. H. Solomon // Journal of Applied Polymer Science. – 2002. – V. 83. – № 9. – P. 2565–2568.
16. Бомко В. О. Одержання трекових мембран з ультрамалими порами на харківському лінійному прискорювачі важких іонів ЛУМЗІ / В. О. Бомко, А. Ф. Бурбан, І. В. Воробьова, А. Ф. Дьяченко, С. М. Дубнюк та ін. // Problems of atomic science and technology. – 2008. – № 5. Series : Nuclear Physics Investigations (50) – P. 179–183.
17. Bomko V. A. Production of nano-pore track membranes based on PET films irradiated by Ar ions / V. A. Bomko, A. F. Burban, A. F. Kobets, A. Kryshchal, I. V. Vorobyova, B. V. Zaitsev // Functional Materials. – 2007. – V. 14. – № 4. – P. 562–568.
18. Лунин В. В. Физическая химия озона / В. В. Лунин, М. П. Попович, С. П. Ткаченко. – М. : Изд-во МГУ, 1998. – 480 с.
19. Keiji Fujimoto K. Ozone-induced graft polymerization onto polymer surface / K. Keiji Fujimoto, Y. Takebayashi, H. Inoue, Y. Ikada // Journal of Polymer Science Part A : Polymer Chemistry. – 1993. – V. 31. – № 4. – P. 1035–1043.
20. Духин С. С. Электрохимия мембран и обратный осмос / С. С. Духин, М. П. Сидорова, А. Э. Ярошук. – Л., 1991. – 191 с.
21. Gottenbos B. Antimicrobial effects of positively charge surfaces on adhering Gram-positive and Gram-negative bacteria / B. Gottenbos, D. W. Grijpma, H. C. van der Mei, J. Feijen, H. J. Busscher // Journal of Antimicrobial Chemotherapy. – 2001. – V. 48. – P. 7–13.

A. Burban, M. Bagatsky

POSITIVELY CHARGE MEMBRANES BASED ON TRACK POLYETHYLENETEREPHTALATE AND 4-VINYLPYRIDINE

A method for positively charged membranes polyethyleneterephthalate graft polymerization of 4-vinylpyridine on the surface of the membrane pre-ozonation. The optimum conditions of ozone treatment and graft polymerization. Studied the separation and antibacterial properties of modified membranes.

Keywords: track membranes, grafted polymerization, bactericidal membrane, positively charged membranes.