

ВІЛЬНОРАДИКАЛЬНА ПОЛІМЕРИЗАЦІЯ ПОЛІМЕТАКРИЛОВОЇ КИСЛОТИ І ПОЛІГІДРОКСИМЕТАКРИЛАТУ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕДОКС СИСТЕМИ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО БІОЗАБРУДНЕННЯ

Лисецький О.К., Корженко С.С., Мурланова Т.В., Горобець А.В., Вакулюк П.В.

Національний університет «Києво-Могилянська академія», o.lysetskyi@ukma.edu.ua

Дефіцит води стає все більшою проблемою на кожному континенті, що спонукає до пошуку нових способів забезпечення людства чистою водою. Одним із таких способів є очищення води за допомогою ультрафільтрації, яка забезпечить захист від бактерій, вірусів, колоїдів і великих органічних молекул. Однак, біозабруднення мембрани негативно впливає на продуктивність, отже підвищується вартість процесу фільтрування, а головне – знижується час роботи мембрани до заміни [1-4]. Тож саме на вирішенні цієї проблеми сфокусовано нашу увагу.

Метою роботи був пошук способу подовження терміну служби мембрани за рахунок підвищення її стійкості до біозабруднення шляхом модифікації поверхні речовинами, які підвищують гідрофільність мембрани і запобігають небажаним взаємодіям (адгезії) між забруднювачами та мембраною, а також речовинами, що мають антибактеріальні властивості.

Для досягнення більшої гідрофільності нами було проведено вільнорадикальну полімеризацію ініційовану окисно-відновною системою $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5/(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ поліметакрилової кислоти (пМАК) та полігидроксиетилметакрилату (пГЕМА) на поверхні поліетилентерфталатних (ПЕТФ) мембран (рис. 1).

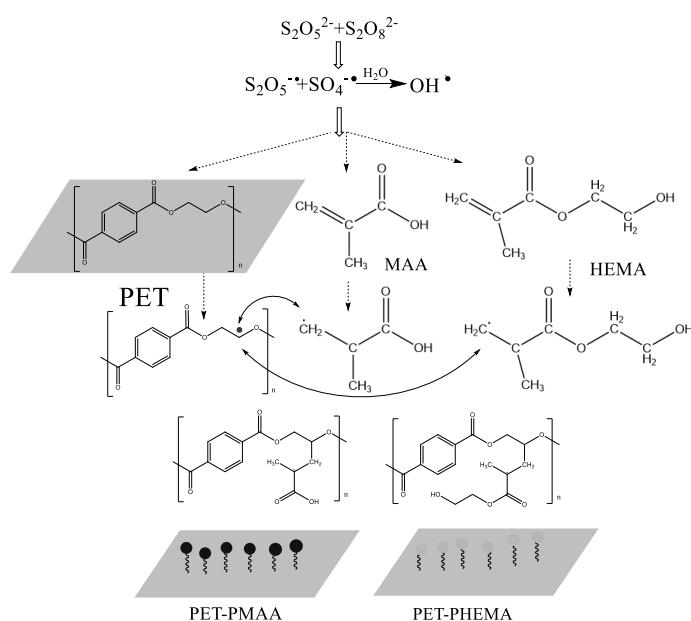


Рис. 1. Схема полімеризації ініційованої окисно-відновною системою $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5/(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ пМАК та пГЕМА на поверхні ПЕТФ мембран.

Для надання мембранам антибіофаулінгових властивостей було проведено додаткову модифікацію їхньої поверхні із застосуванням хітозану та гуанідинвісного олігомеру, зокрема у формі його металокомплексів із іонами Cu^{2+} та Zn^{2+} , які характеризуються вираженою антибактеріальною дією [4].

Аналіз морфології поверхні модифікованих зразків методом скануючої електронної мікроскопії (SEM) дозволив ідентифікувати наявність структурних новоутворень, що є прямим підтвердженням успішної іммобілізації модифікаторів. Результати енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDX) продемонстрували рівномірний

розподіл маркерних елементів (ключових атомів), що верифікує хімічну природу виявлених структур як гуанідинвмісного олігомеру (рис. 2).

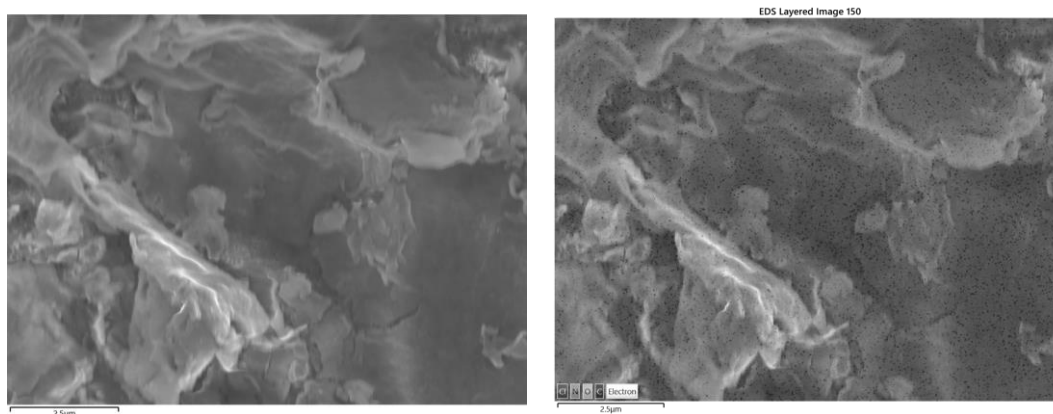


Рис. 2. Знімок SEM та той же знімок з модулем EDX для зразка ПЕТ мембрани з розміром пор 0.1 мкм і іммобілізованим гуанідинвмісним олігомером.

Дослідивши зразки методом інфрачервоної спектроскопії (ATR-FTIR) ми побачили появу характерного піку ($\text{C}=\text{O}$) при 1712 cm^{-1} , що свідчить про успішну іммобілізацію пМАК на поверхні. Відповідно для мембран модифікованих пГЕМА з'явився пік при 3427 cm^{-1} , який відповідає валентним коливанням $\text{O}-\text{H}$ зв'язків. Також було досліджено кут змочування, значення якого знизилося для усіх модифікованих зразків, що свідчить про збільшення гідрофільності модифікованих поверхонь.

Також факт утворення активних центрів та успішності прищеплення мономерів підтверджено комплексом фізико-хімічних методів. Рентгеноструктурний аналіз (XRD) показав, що характерні дифракційні піки ПЕТ при $2\theta \approx 24,5\text{--}25,0^\circ$ зберігаються після всіх етапів модифікації, що свідчить про збереження кристалічної структури матриці. Після прищеплення пГЕМА або пМАК спостерігається незначне зниження інтенсивності та розширення піку внаслідок формування аморфного полімерного шару на поверхні. Зразки з іммобілізованим хітозаном демонструють підвищення аморфного фону в області $2\theta \approx 15\text{--}22^\circ$, а для зразків металовмісних комплексів гуанідинвмісного олігомеру з Cu та Zn відсутні характерні піки кристалічних оксидів CuO або ZnO , що вказує на нанорозміри та низьку кристалічність металовмісних компонентів.

Таким чином, результати XRD, ATR-FTIR, SEM/EDX та вимірювань кута змочування в сукупності підтверджують, що прищеплена вільнорадикальна полімеризація пМАК та пГЕМА на поверхні ПЕТФ мембран є ефективним способом підвищення їхньої гідрофільності та стійкості до біозабруднення. Модифікація відбувається на поверхні мембрани без зміни структурної цілісності полімерної матриці носія, що є важливою умовою збереження механічних характеристик і фільтраційних показників мембран.

1. Maddah, H.; Chogle, A. Biofouling in reverse osmosis: Phenomena, monitoring, controlling and remediation. *Appl. Water Sci.* – 2017. – №7. – С. 2637–2651.

2. Zhang, H.; Zhu, S.; Yang, J.; Ma, A. Advancing Strategies of Biofouling Control in Water-Treated Polymeric Membranes. *Polymers.* – 2022. – №14. – С. 1167.

3. Guo, Y.; Liu, C.; Liu, H.; Zhang, J.; Li, H.; Zhang, C. Contemporary antibiofouling modifications of reverse osmosis membranes: State-of-the-art insights on mechanisms and strategies. *Chem. Eng. J.* – 2022. – №429. – С. 132400.

4. Bogler, A.; Lin, S.; Bar-Zeev, E. Biofouling of membrane distillation, forward osmosis and pressure retarded osmosis: Principles, impacts and future directions. *J. Memb. Sci.* – 2017. – №542. – С. 378–398.