



ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕГЕНЕРАЦІЇ МЕМБРАН ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ

Маргарита КАРПЕНКО, Вячеслав РАДОВЕНЧИК

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

Берестейський проспект, 37, м.Київ 03056, Україна

e-mail: k.margarita111@gmail.com

Зворотній осмос отримує все більшу популярність і в побутовому використанні завдяки надійності, компактності, зручності в експлуатації і, звичайно ж, стабільно високій якості отриманої води [1]. Дефіцит питної води став однією із найбільших проблем сьогодення. Неєфективна водна політика, нестійке зростання населення та кліматичні зміни є головним фактором дефіциту води [2]. Загалом на сьогодні актуальна гостра нестача питної води у світі, яка спричинена глобальним потеплінням, збільшенням чисельності населення та негативним впливом промисловості на довкілля. І саме технології баромембранного очищення води є найпопулярнішими і найдоступнішими технологіями для вирішення цього питання і створення можливості постачати питну воду у кожен будинок і родину завдяки побутовим установкам зворотного осмосу. Методи обробки води і процеси доочищення водопровідної води можуть допомогти позбутися широкого спектру забруднюючих речовин, що входять до її складу, а саме, сполук солей, патогенних організмів, хлору. Саме мембранна технологія є однією з найбільш широко впроваджених процесів очищення води. Мембранні процеси включають мікрофільтрацію (МФ), ультрафільтрацію (УФ), нанофільтрацію (НФ) і зворотний осмос (ЗО) [3]. Метод очищення стічних вод завдяки високій енергоефективності, високим виробничим потужностям та високим темпам видалення забруднень ростою в даний час вважається найбільш надійною технологією опріснення води [4].

Зворотний осмос є баромембранним процесом, який найбільш часто використовується серед мембранного розділення. Його широко застосовують для обезсолювання (опріснення) всіх типів вод на установках від дрібних побутових до крупних промислових, а особливо – для доочистки питної води на локальному рівні. Проте використання мембран у системах очистки води, зокрема і зворотного осмосу (ЗО), передбачає утворення значної кількості відходів, зокрема, це:

- змінні картриджі механічного очищення;
- мембрани та мембранні блоки;
- постфільтри;
- концентрат, насичений забруднюючими речовинами, які утворились внаслідок очищення води.

Ще одним вектором негативного впливу систем мембранного очищення води на довкілля є співвідношення очищеної води (пермеату) та концентрату (забрудненої води), який скидається у каналізаційну мережу. За усередненими даними, таке співвідношення складає (2-3)/1, тобто, зі 100 дм³ водопровідної води, які заходять у систему зворотного осмосу, очищеної

отримуємо лише 65 - 70 дм³, решта разом з продуктами очистки скидається у каналізаційну мережу. Таке нераціональне використання водних ресурсів ставить під питання безпеку та екологічну доцільність застосування систем ЗО у побуті, хоча з точки зору ефективності та економічної доступності такі системи є одним з найкращих рішень проблеми нестачі якісної питної води у світі.

Можливі шляхи регенерації механічних фільтрів систем зворотного осмосу малої та середньої продуктивності ми уже розглядали у наших попередніх дослідженнях [5 - 6]. А ось очищення і регенерація мембран продовжує бути актуальним і найбільш досліджуваним питанням в системах баромембранних установок. Обростання мембран забруднюючими речовинами має негативний вплив на їх продуктивність, оскільки вона знижує потік фільтрату, підвищує робочий тиск, скорочує термін служби мембрани. Загалом, забруднення мембрани можна розділити на чотири види забруднень:

- колоїдне;
- органічне;
- неорганічне;
- комбіноване.

Полімери служать мембранними фільтрами для установок зворотного осмосу завдяки своїм хорошим хімічним властивостям, механічним і термічним властивостям. Це синтетичні полімери, а саме полівінілхлорид, поліакрилова кислота, полівініліденфторид, поліамід, поліетиленгліколь, поліефірсульфат, поліакрилонітрил, полівініловий спирт, поліметакрилова кислота, наночастинки поліаніліну, полівініліденфторид полісульфон тощо. Ці полімери класифікуються на основі їх морфології, структури, хімії та способів виробництва. Полімерні елементи також поділяються на основі розміру пор, наприклад мікро-, ультра-, нанофільтрату та зворотного осмосу [7].

Звичайна полімерна мембрана має певне обмеження в боротьбі з проблемами біобростання. Загалом, мікробне забруднення спочатку утворює шар біоплівки на полімерній мембрані. брану і утворює колонієподібну структуру шляхом виділення позаклітинних полімерних речовин. Такі забруднення містять велику кількість органічних молекулярних сполук, що включають білки, ліпіди, нуклеїнові кислоти та полісахариди [8]. Отож, мембрана повинна бути стійкою до рН, температури, іонних зарядів, гідрофобності, розміру мембрани, швидкості потоку води, антимікробної активності тощо. Мікроорганізми розмножуються, ростуть, накопичуються в середовищі структури біоплівки і розвиваються в складні конструкції [9]. Біологічне забруднення мембрани має негативний вплив на здоров'я людини. Досліджені раніше профілактичні заходи проти біологічного обростання, утворення накипу та хімічного осадження мембран, наприклад механічна та хімічна обробка, не дуже успішно підвищують довговічність полімерних мембран.

Стандартна обробка мембран зазвичай виконується дезінфікуючими засобами з формування твердої фази на мембранах відбувається при концентруванні неорганічних солей. Ці солі випадають в осад і утворюють суцільну плівку на поверхні мембрани. До основних неорганічних речовин, які сприяють утворенню осаду на мембранах відносяться сульфати, фториди, залізо, карбонати, кальцій, магній і кремнезем [10]. Крім того, мембрана може забруднюватися колоїдними частинками, які завжди присутні у природних та питних водах. Колоїдні забруднення включають неорганічні забруднювачі і органічні молекули [11]. Мул, глина, кремнезем і оксиди металів складають більшість неорганічних колоїдів в природній воді, тоді як білки, олії та гумінові кислоти формують більшість органічних колоїдів [12]. Біобростання, або прикріплення та розмноження мікроорганізмів на поверхні мембрани є ще однією проблемою. Щоб уявити весь широкий спектр забруднюючих речовин, які

видаляються на мембранах, і, відповідно, накопичуються на їх поверхні та у товщі мембранних шарів, розглянемо порівняльний аналіз розмірів часток, які видаляють різні методи очистки. Мембрани зворотного осмосу є найефективнішим інструментом очищення води, так як видаляють 98 % усіх існуючих забруднювачів води на планеті.

Розріз використаної мембрани дозволяє виявити тип і причини обростання, сприяє пошуку найефективніших методів очищення для запобігання швидкого забруднення мембран в майбутньому. Найчастіше використовують такі інструменти для дослідження шару обростання – сканування зображення електронним мікроскопом, яке виконується для вивчення морфології обростання. Для визначення жорсткості забрудненої поверхні та зміни шарів забруднення застосовують спектри атомно-силового мікроскопа.

Енергодисперсійний рентгенівський спектроскоп використовують, щоб визначити хімічний склад обростання [13]. Іншим спектроскопічним інструментом є мікроскоп Фур'є, який використовує інфрачервону спектроскопію. Як показують численні дослідження, мембрани з часом забруднюються, забиваються та обростають плівкою, втрачаючи свої очисні властивості. Тому існує декілька способів продовження терміну експлуатації мембран.

Для захисту мембран від відкладення на них різноманітних речовин, в установках зворотного осмосу середньої та малої продуктивності використовують, здебільшого, спеціальний розчин під назвою антискалант. Дана речовина додається в оброблювану воду в досить невеликій кількості (приблизно 5 г на 1 м³ води). Ця речовина утворює на поверхні мембрани тоненьку плівку, яка має яскраво виражені антиадгезійні властивості. Після чого забруднення потрапляє на цю плівку, ковзає по ній і тим самим не може закріпитися на мембрані. Дана властивість дає можливість застосовувати мембрану з антискалантами досить довгий час без використання хімічної очистки. Антискалант не є отруйним, ця речовина представлена у вигляді суміші з високомолекулярних кислот органічного типу. У пермеат даний розчин не потрапляє. Він не в змозі пройти крізь мембрану зворотного осмосу [14].

Нами проведені дослідження можливості очищення мембран за допомогою розчинів оцтової та яблучної кислот. Звісно, біологічну плівку, якою обростає мембрана, ці речовини розчиняють повністю, але очистити пори і структури мембрани від усіх забруднювачів харчові кислоти не можуть. Тому варто шукати більш ефективні сполуки для регенерації мембран.

Хімічне очищення використаних мембран зворотного осмосу сумішшю триполіфосфату натрію – натрію додецилбензолсульфонової кислоти, додецилсульфатом натрію – гідроксидом натрію або соляною кислотою не може повністю відновити проникність мембрани, що свідчить про необхідність заміни мембрани. Кремнієвісні забруднювачі найменше піддаються впливу всіх оцінених хімічних методів очищення (включаючи гідроксид натрію) і залишаються домінуючою причиною хімічно незворотних забруднень, що зменшують термін служби мембран. Отже, використання різноманітних засобів очистки та регенерації мембран дозволяє збільшити термін її служби на декілька місяців, але відновлює її властивості лише на 30 - 40 % від початкових. Звісно, це вже позитивний результат на фоні кількості використаних мембран, які викидаються у довкілля.

Література:

1. Кравченко, Марина Василівна. Зворотний осмос–як метод доочистки питної води на локальному рівні : Diss. ІТТА, 2022, 246 с.
2. Що таке зворотний осмос? URL: <https://ecosoft.ua/ua/blog/chto-takoe-obratnyy-osmos/> (дата звернення: 14.10.2023)
3. Орестов Є., Мітченко Т. Фізико-хімічні основи дії інгібіторів фоулінгу мембран зворотного осмосу та шляхи їхнього оптимального використання : Water and water purification technologies. scientific and technical news, 2013, 12.2, p. 3-17.
4. Стовбуров С. Розробка заходів з підвищення ефективності системи оберненого осмосу для очищення води. URL: <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/33964> (дата звернення: 18.10.2023)
5. Радовенчик В., Карпенко М. Використання розчинів органічних кислот для очищення мембранних блоків баромембранних установок// Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2021. № 2., с. 86-92.
6. Радовенчик В., Карпенко М. Видалення сполук заліза із механічних фільтрів побутових зворотньоосмотичних систем очищення води.
7. Благополучна А., Парахненко, В., Ляховська, Н. Застосування економічної оцінки мембранних технологій для очищення стічних вод : Економічні горизонти, №2, 2017, с. 33-41.
8. Xiaoyuan Zhang, Yu Liu, Reverse osmosis concentrate: An essential link for closing loop of municipal wastewater reclamation towards urban sustainability : Chemical Engineering Journal, Volume 421, Part 2, 2021, p. 127-133, ISSN 1385-8947,
9. David M. Warsinger, Sudip Chakraborty, Emily W. Tow, Megan H. Plumlee, Christopher Bellona, Savvina Loutatidou, Leila Karimi, Anne M. Mikelonis, Andrea Achilli, Abbas Ghassemi, Lokesh P. Padhye, Shane A. Snyder, Stefano Curcio, Chad D. Vecitis, Hassan A. Arafat, John H. Lienhard, A review of polymeric membranes and processes for potable water reuse, Progress in Polymer Science, Volume 81, 2018, P. 209-237.
10. Brick, M.T., Nihatullin, R.R., & Alpatova, A.L. Drinking water and membrane technologies (review). Scientific notes of NaUKMA. Special issue, 9, 2000 p. 409-411
11. Singh, V., Das, A., Das, C., Pugazhenth G.. Fouling and Cleaning Characteristics of Reverse Osmosis Membranes : Chem. Eng. Proc. Technol., 2015, Vol. 6, No. 4. URL: <https://dx.doi.org/10.4172/2157-7048.1000244> (дата звернення: 18.10.2023)
12. Зворотній осмос. URL: <http://waterton.com.ua/%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D1%81-%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D1%81.html> (дата звернення: 18.10.2023)
13. Ladewig, B. and Al-Shaeli, M. Fundamentals of Membrane Processes: Fundamentals of Membrane Bioreactors. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering. Springer, Singapore, 2017, 234 p.
14. Pena, N., Callego S., del Vigo, F., Chesters S. Evaluating impact of fouling on reverse osmosis membranes performance. Desal : Water Treat., Vol. 51, No. 4-6, 2012. pp. 958-968.