



УДК [66.067.123.3+66.067.17-986/66.083.3]

ПРОДУКТИВНІСТЬ БАРОМЕМБРАННОГО ПРОЦЕСУ В УМОВАХ ЗМІННОГО РОБОЧОГО ТИСКУ

О.М. Мовчанюк

Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського
пр. Перемоги, 37, Київ-56, 03056, Україна
e-mail: movchaniukom@gmail.com

Роль мембранних методів у сучасному світі важко переоцінити. Їх практичне значення пов'язано насамперед із вирішенням глобальних проблем, що стоять перед людством у ХХІ столітті: створенням високих технологій, виробництвом екологічно чистих продуктів харчування, високоякісної питної води, а також формуванням належного балансу між вирішенням соціально-економічних проблем і збереженням навколишнього середовища [1].

За допомогою мембранних процесів вдається охопити практично весь діапазон розділових завдань. В даний час їх використовують в хімічній, нафтохімічній, газовій, фармацевтичній, мікробіологічній, атомній, електронній, харчовій промисловості, медицині, водопідготовці з різним цільовим призначенням, в аналітичному приладобудуванні, в пристроях для перетворення та зберігання інформації та в інших областях. Воду, пропущену через ультрафільтри, можна пити навіть тоді, коли вихідна вода біологічно заражена.

Сучасні мембранні процеси відрізняються високою селективністю, низькими енерговитратами, простотою апаратурного оформлення, є основою створення безвідходних технологій. Вони здатні «навести міст через прірву, що розділяє промисловість і чистоту навколишнього середовища, не мають негативних наслідків, оскільки є безреагентними [1].

Серед мембранних методів найбільш затребуваними є баромембранні процеси, у яких перенесення речовини через мембрану відбувається під дією різниці тисків [2].

На даний час, коли поширення набули синтетичні полімерні матеріали, основою багатьох технологічних процесів є саме полімерні мембрани. Великий прогрес був досягнутий фактично в кожній області мембранної технології: застосуванні, методах дослідження, способах формування мембран, вивченні хімічної будови, молекулярної та надмолекулярної структури, розробленні різних типів мембран. Однак, незважаючи на те, що основні принципи і методи вже встановлені, виготовлення мембран з заданими властивостями для ряду специфічних областей застосування лише розпочато і в перспективі буде широко розвиватися.

На цьому етапі розвитку мембранних технологій стає актуальним пошук нових способів виготовлення мембран. Традиційні методи їх отримання різноманітні: сухий (спонтанний), мокрий (коагуляційний), сухо-мокрый, термальний, ядерний та ін. Проте всі вони складні і багатостадійні, вимагають застосування дорогих і токсичних органічних розчинників або складного обладнання [1].

Теоретично об'ємний потік, що проходить крізь мікро- та ультрафільтраційні мембрани, підкоряється закону Дарсі: потік через мембрану прямо пропорційно залежить від тиску, що прикладається [2, 3].

Однак реальні показники процесу відрізняються від теоретичних. В робочому стані, коли мембрани піддаються впливу тиску, процес фільтрації супроводжується ефектом «усадки» мембран, в результаті якого їх проникність знижується. [3].



Експериментальні дані [3] показали, що із підвищенням тиску коефіцієнт гідравлічної проникності води для ультрафільтраційної мембрани УАМ-150 різко знижується, що свідчить про усадку структури мембрани. За максимального тиску (5 МПа) протягом 6 год коефіцієнт фільтрації практично не змінювався (тобто встановилося деяке квазістаціонарне його значення). Подальше зниження тиску свідчить, в першу чергу, про незворотність деформації пористої структури мембрани, оскільки за низьких тисків даний показник практично в два рази менше, ніж у вихідній (що необроблена тиском) мембрані.

Результати досліджень [3] інших ацетатцелюлозних мембран (табл. 1) показують, що після фільтрації води під тиском їх загальна пористість і товщина, як і коефіцієнт фільтрації води, різко знижуються. Враховуючи, що товщина активного (тонкопористого) шару ультрафільтраційних мембран не перевищує 5 % їх загальної товщини, можна вважати, що істотне зменшення загальної пористості і товщини мембран обумовлено ущільненням крупнопористого підтримувального шару. Природно тому, що за рівного середнього радіуса пор, мембрана, що має більшу пористість, характеризується відповідно більшим коефіцієнтом гідравлічної проникності. Малоімовірно, щоб довжина пор при цьому зменшувалася, тому можна вважати, що під час усадки мембрани пори стають більш звивистими.

Таблиця 1

Характеристика ультрафільтраційних ацетатцелюлозних мембран – вихідних (чисельник) і після оброблення тиском 3 МПа під час виготовлення (знаменник)

Мембрана	Товщина, мкм	Пористість, %	Коефіцієнт гідравлічної проникності води $lp \cdot 10^4$, м/(с·МПа)	Середній гідравлічний радіус пор, нм
УАМ 100	105/38	81,6/50,1	0,24/0,12	5,0/2,6
УАМ 150	105/42	79,5/55,9	0,54/0,32	7,5/3,9
УАМ 200	130/57	80,0/57,0	0,67/0,40	9,3/5,1
УАМ 300	105/45	80,4/59,6	1,26/0,65	11,5/8,6
УАМ 500	125/49	83,1/58,4	2,70/1,30	23,6/15,4

Автор [3] зазначає, що у випадку найбільш тонкопористих мембран коефіцієнт гідравлічної проникності води зменшується приблизно в стільки ж разів, у скільки разів зменшується загальна пористість, в той час як у більш крупнопористих мембран зниження даного коефіцієнта є більшим. Це обумовлено, ймовірно, тим, що така структура мембрани є більш нерівноважною і «чутливою» до ущільнювального впливу тиску.

Аналіз проведених досліджень демонструє суттєвий вплив робочого тиску на структуру полімерних мембран і, як результат, - на їх продуктивність. Але залежно від матеріалу і способу виготовлення мембран, ступінь цього впливу може бути різним. Отже оцінювання ступеню зміни структури мембрани під дією тиску є актуальним питанням, і в подальшому дозволить забезпечити оптимальні параметри роботи баромембранної установки.

Метою роботи було проведення аналогічних досліджень для нових целюлозних мембран, що були виготовлені в лабораторних умовах за методикою [4]. Композиція маси складалася з немодифікованої хвойної вибіленої сульфатної целюлози та гідрофобізуючої суміші LPM-1.7/4, витрата якої становила 5 % від абсолютно сухого волокна. Маса 1 м² становила 80 г/м².



Дослідження проводили на установці з транзитним потоком. Зміна тиску відбувалася в діапазоні від 0,2 до 1,0 МПа, причому тиск спочатку збільшували (прямий хід), а після досягнення максимального значення відбувалося зниження тиску (зворотний хід). Через кожні 0,2 МПа вимірювали швидкість трансмембранного потоку. Результати досліджень представлено на рис. 1.

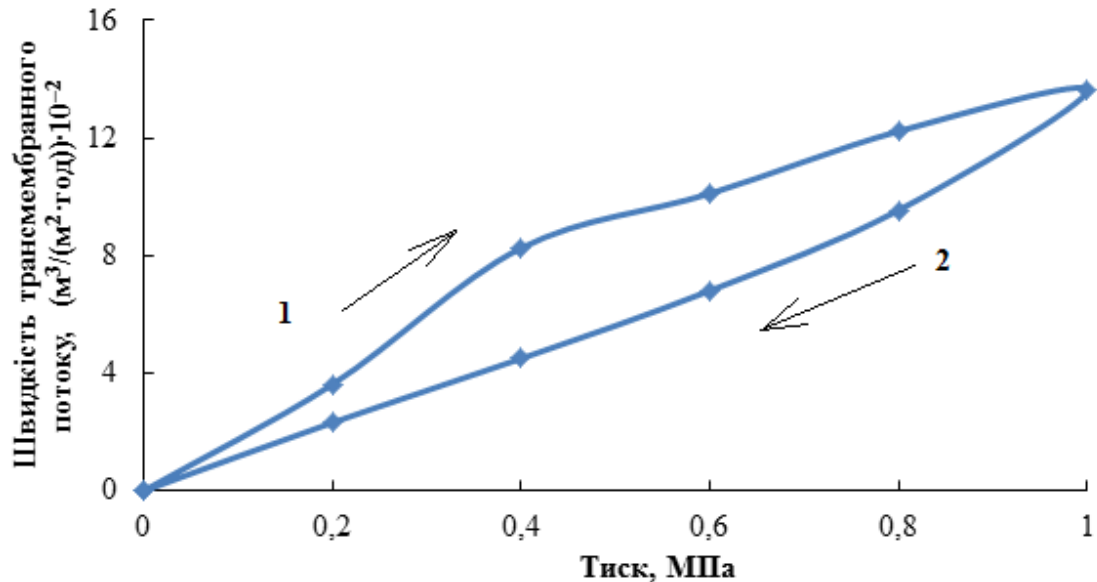


Рис. 1. Залежність швидкості трансмембранного потоку від тиску фільтрації:
1 – підвищення тиску (прямий хід); 2 – зниження тиску (зворотний хід)

Тиск води над мембраною істотно впливає на швидкість трансмембранного потоку. З підвищенням тиску питома продуктивність мембран збільшується, оскільки зростає рушійна сила процесу. Під час прямого ходу підвищення тиску від 0,2 до 1,0 МПа призвело до збільшення питомої продуктивності у 3,8 рази. На зворотному ходу для кожного значення тиску питома продуктивність була меншою, ніж на прямому. Так за тиску 0,8 МПа на зворотному ходу швидкість трансмембранного потоку була нижчою на 22 %, а за 0,4 МПа – на 45,5 % (див. рис. 1). Це свідчить про те, що під дією зростаючого тиску, мембрана ущільнюється і деформується, а при знятті тиску вона не повертається у вихідне положення, тобто відбуваються незворотні зміни у структурі мембрани.

Таким чином, під дією тиску відбуваються незворотні зміни у структурі целюлозних мембран (ущільнення), що є свідченням їх в'язкоеластичних властивостей. Це призводить до зміни їх пористості, а відповідно і продуктивності. Оцінювання впливу тиску на продуктивність мембран під час проходження крізь неї чистої води є необхідним і інформативним з точки зору майбутнього вибору оптимальних умов експлуатації баромембранної установки.

Література:

1. Колзунова Л.Г. Баромембранные процессы разделения: задачи и проблемы // Вестник ДВО РАН. 2006. № 5. С. 65—76.
2. Мулдер М. Введение в мембранную технологию. Москва: Мир. 1999. 513 с.
3. Брык М.Т., Цапюк Е.А. Ультрафильтрация. Киев: Наукова думка, 1989. 288 с.
4. Гомеля М.Д., Мовчанюк О.М., Фільтрувальний матеріал для баромембранного очищення води. Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження". 2014. № 1(12). С. 45—51.