

РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК [66.067.123.3+66.067.17-986/66.083.3]
DOI: 10.25140/2411-5363-2021-2(24)-151-158

Ольга Мовчанюк, Микола Гомеля

ВПЛИВ ТИСКУ НА ПИТОМУ ПРОДУКТИВНІСТЬ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЙНИХ ЦЕЛЮЛОЗНИХ МЕМБРАН

У роботі представлено розроблений авторами новий целюлозний ультрафільтраційний матеріал, ефективність якого була доведена під час очищення води від гуматів. Вивчено вплив постійного тиску на продуктивність нових мембран під час фільтрування дистильованої води. За тиску 0,2–1,0 МПа досліджено три варіанти композиції мембран. Побудовано експериментальні залежності швидкості трансмембранного потоку від загального часу фільтрування. Отримано математичні моделі, адекватність яких підтверджено. Встановлено, що питома продуктивність суттєво залежить від композиції мембрани і значення тиску. Максимальну продуктивність 235 $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ на сталому режимі роботи досягнуто при величині тиску 1 МПа.

Ключові слова: целюлозна мембрана; дистильована вода; ультрафільтрація; тиск; усадка; продуктивність.
Рис.: 1. Табл. 2. Бібл.: 17.

Актуальність теми дослідження. У всьому світі ультрафільтрація знаходить дедалі більше застосування як метод очищення для отримання питної та технічної води, і нині цей метод вже не викликає сумнівів щодо своєї ефективності й конкурентоспроможності [1–7].

Ключовим елементом будь-якої ультрафільтраційної системи очищення води є мембранні апарати, тому від вибору типу мембран, конструкції мембранних модулів і режиму їх роботи буде залежати успіх роботи всієї установки.

Отже, пошук нових, більш дешевих і ефективних матеріалів для ультрафільтраційних мембран та способів їх виготовлення є на сьогодні актуальною задачею [1; 6].

Постановка проблеми. Ультрафільтраційні мембрани, як і мікрофільтраційні, одержувані з полімерів різними методами, мають квазірівноважну структуру, яка є термодинамічно нестійкою на надмолекулярному й макроскопічному рівнях організації, але за певних умов зберігання мембран вона практично не змінюється тривалий час. Однак у робочому стані, коли мембрани піддаються впливу досить високих тисків (у випадку більшості ультрафільтраційних мембран за тисків, що перевищують 0,5 МПа), процес ультрафільтрації супроводжується ефектом «усадки» мембран, у результаті якого їх проникність знижується [8; 9].

Важливими завданнями при розробці та експлуатації мембранних ультрафільтраційних установок є: прогнозування зниження продуктивності мембран із плином часу і вибір оптимальних параметрів роботи для забезпечення максимальної продуктивності.

Проте збіг теоретичних і експериментальних даних щодо проникності мембран у практиці ультрафільтрації є, скоріше, винятком, ніж правилом, оскільки характерний в основному для ультрафільтрації розчинників або досить розбавлених розчинів низькомолекулярних речовин. Однак і в цьому найпростішому випадку може спостерігатися значне відхилення, що обумовлене ущільненням (усадкою) структури мембрани (яке тим більше, чим вище застосовуваний тиск) і взаємодією розчинника з матеріалом мембрани [10–13]. Таких ускладнень можна значною мірою уникнути в результаті підбору відповідних мембран і умов їх експлуатації [14].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині відомо понад 100 різних матеріалів, з яких виготовляються мембрани [2]. Авторами [15] був розроблений новий целюлозний матеріал, призначений для застосування в ультрафільтраційних установках, спосіб виготовлення якого є принципово відмінним від відомих способів виготовлення ультрафільтраційних мембран. Ефективність нового матеріалу була досліджена й доведена в роботах [1; 15; 16] на очищенні води від гуматів. Дослідження показали, що й селективність, і продуктивність нових мембран суттєво залежить від тиску розчину, що подається на фільтрування.

Висвітлення недосліджених частин загальної проблеми. На ефективність роботи мембран впливає не лише тиск як рушійна сила будь-якого баромембранного процесу, а й забрудненість пор мембрани молекулами затримуваної речовини. Крім того, під дією тиску відбувається і зміна структури (усадка) мембрани. Не слід забувати і про взаємодію розчинника з матеріалом мембрани [14].

Зважаючи на вищезазначене, а також на неможливість поширити досвід інших дослідників через принципово відмінні спосіб виготовлення і композицію, а значить, і умови формування структури нових мембран та їхню поведінку під час експлуатації, необхідно вивчити вплив тиску на продуктивність целюлозних мембран при фільтруванні чистого розчинника (дистильованої води), що дозволить оцінити ступінь зміни структури самої мембрани під дією тиску й у подальшому забезпечити оптимальні параметри роботи ультрафільтраційної установки.

У роботі [6] було досліджено вплив змінного робочого тиску в діапазоні від 0,2 до 1,0 МПа у послідовних циклах навантаження-розвантаження на швидкість трансмембранного потоку нових целюлозних ультрафільтраційних мембран під час фільтрування дистильованої води. Було проведено три випробування, кожне з яких відрізнялось максимальним значенням тиску (0,6; 0,8; 1,0 МПа). У межах кожного випробування було проведено три цикли навантаження-розвантаження. Тиск спочатку поступово збільшували (прямий хід), а після досягнення максимального значення тиску знижували (зворотний хід). Досліджені целюлозні мембрани виявилися в'язкоеластичними, а деформації їхньої структури під дією робочого тиску – переважно незворотними (про що свідчили отримані петлі гістерезису, утворені кривими навантаження-розвантаження), у результаті чого знижувалася проникність мембран. Найбільш суттєвий вплив робочого тиску на продуктивність мембран зафіксовано для максимальних його значень. За тиску 1,0 МПа на третьому циклі навантаження швидкість трансмембранного потоку знижувалася на 56,7 % від швидкості на першому циклі за такого ж значення тиску.

Необхідно також дослідити вплив постійного тиску на продуктивність мембран тих самих композицій.

Постановка завдання. Мета роботи – вивчення впливу постійного тиску на продуктивність нових целюлозних ультрафільтраційних мембран під час фільтрування дистильованої води в режимі «cross-flow» для можливості вибору оптимальних параметрів роботи ультрафільтраційної установки з транзитним потоком.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження були виготовлені лабораторні зразки мембран масою 80 г/м² за методикою [15]. Для виготовлення використовували хвойну вибілену сульфатну целюлозу марки ХБ-5, гідрофобізуючу суміш LPM-1.7/2 або LPMS (далі LPM-1.7/2 і LPMS), витрата якої становила 5 або 10 % від абсолютно сухого волокна целюлози (а.с.в.). LPMS відрізняється тим, що використовуваний модифікатор під час приготування клею додається розчинним в етиловому спирті. У випадку LPM-1.7/2 модифікатор додається у чистому вигляді. Концентрація целюлозної суспензії, з якої виготовляли мембрани, становила 4 %, ступінь млива маси – 90 °ШР. Було досліджено три варіанти композиції мембран: № 1 (целюлоза + LPM-1.7/2 з витратою 10 %); № 2 (целюлоза + LPMS з витратою 10 %); № 3 (целюлоза + LPMS з витратою 5 %).

У роботі використовувався метод проникності, що є надзвичайно простим і полягає у вимірюванні потоку води через мембрану, залежно від прикладеного тиску. За деякого мінімального тиску найбільші пори стають проникними, у той час як пори меншого розміру ще залишаються непроникними. Величина мінімального тиску залежить здебільшого від типу досліджуваної мембрани й розміру її пор [17].

Мінімальний робочий тиск, за якого досліджені мембрани стають проникними, становив 0,2 МПа. Дослідження проводили на установці з транзитним потоком за постійного робочого тиску (від 0,2 до 1,0 МПа, з кроком 0,2 МПа) і температури 17 °С. Фільтрування тривало від 110 до 140 хв, до виходу на сталий режим роботи. Через кожні 10 хв фіксували об'єм перміату. Для всіх значень тиску побудовано залежності швидкості трансмембранного потоку γ , $\text{м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$, від загального часу фільтрування, хв (рис. 1). Аналіз результатів фільтрування наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Вплив тиску на швидкість трансмембранного потоку

Варіант композиції мембрани	Тиск, МПа	Початкова продуктивність, $(\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})) \cdot 10^2$	Продуктивність через 10 хв, $(\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})) \cdot 10^2$	Зниження продуктивності Через 10 хв, %	Продуктивність на сталому режимі, $(\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})) \cdot 10^2$	Загальне зниження продуктивності (від початкової), %
1	0,2	2,9	2,7	6,9	1,6	44,8
	0,4	7,9	4,0	49,4	2,5	68,4
	0,6	11,9	8,7	26,9	3,6	69,7
	0,8	11,2	7,6	32,1	3,6	67,9
	1,0	16,2	12,0	25,9	4,0	75,3
2	0,2	13,0	6,1	53,1	2,9	77,7
	0,4	17,3	9,8	43,4	4,0	76,9
	0,6	69,3	36,5	47,3	24,6	64,5
	0,8	52,0	40,1	22,9	11,6	77,7
	1,0	81,2	64,3	20,8	23,5	70,2
3	0,2	7,9	5,2	34,2	2,7	65,8
	0,4	20,8	10,3	50,5	4,7	77,4
	0,6	25,6	13,4	47,7	5,8	77,3
	0,8	16,1	9,8	39,1	4,7	70,8
	1,0	93,2	68,2	26,8	5,8	93,8

Помітно, що за досліджених значень робочого тиску для мембран усіх композицій із часом спостерігається зниження швидкості трансмембранного потоку. У першому періоді фільтрації відбувається найбільш інтенсивне зниження швидкості. Ймовірно, саме в цей початковий період під дією тиску суттєво змінюється структура мембрани і зменшується її пористість. У другому періоді фільтрації зниження швидкості трансмембранного потоку уповільнюється, після чого спостерігається сталий перебіг процесу фільтрації (третій період), коли швидкість трансмембранного потоку практично не змінюється.

Відомо, що целюлоза, яка складає основу досліджених мембран, є капілярно-пористим матеріалом. Пори самих волокон є первинною складовою загальної пористої структури целюлозних мембран. Спосіб же виготовлення досліджених мембран (з волокнистої суспензії шляхом фільтрації на сітці) формує вторинну пористу структуру мембрани – за рахунок вільного простору між волокнами целюлози та іншими складовими композиції мембрани. Саме на цю вторинну структуру і спрямована насамперед дія тиску. Відстань між волокнами скорочується, структура мембрани ущільнюється, загальна пористість, а відповідно і її проникність, знижується.

Як видно з табл. 1, найменші значення загального зниження продуктивності спостерігаються для мембран із варіантом композиції 1 за всіх досліджених значень тиску фільтрування. Для цих зразків зафіксовано і найменші абсолютні значення продуктивності (у всіх періодах фільтрування).

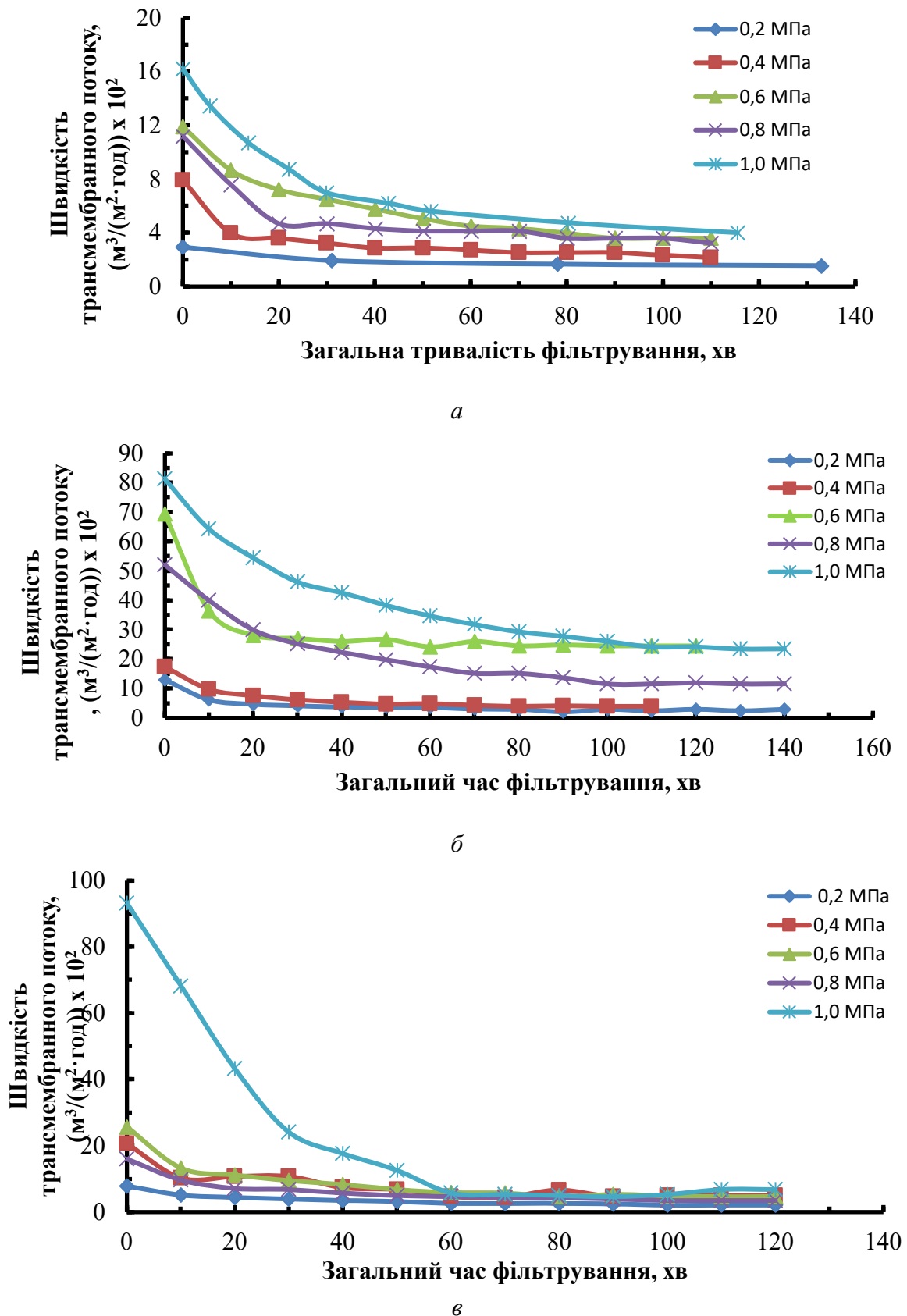


Рис. 1. Залежність продуктивності зразків з варіантами композиції 1 (а), 2 (б), 3 (в) від загального часу фільтрування за різних значень тиску

Найбільші абсолютні значення продуктивності досягнуто для зразків з композицією 2 і 3. Певно, саме вони мають найбільшу пористість. Так, за тиску 1 МПа початкова продуктивність для цих композицій становить 0,812 та 0,932 м³/(м²·год), а після виходу на сталий режим – 0,235 та 0,058 м³/(м²·год) відповідно. Максимальне загальне падіння продуктивності (на 93,8 %) було зафіксоване для мембран композиції 3 за тиску 1 МПа.

Збільшення робочого тиску з 0,2 до 1,0 МПа призводить до збільшення продуктивності за сталого режиму роботи мембрани композиції 1 у 2,5 раза, композиції 2 – у 8,1 раза, композиції 3 – у 2,1 раза.

Апроксимацію експериментальних залежностей виконано за допомогою функції «Лінія тренда» програми MS Excel 2010. У результаті було отримано однофакторні математичні моделі для всіх досліджених композицій нових целюлозних мембран та значень тиску. Усі моделі є поліноміальними функціями, що адекватно описують залежності питомої продуктивності від загального часу процесу ультрафільтрації (таблиця 2). Ступінь апроксимуючого полінома від 3 до 6.

Таблиця 2 – Результати апроксимації

Варіант композиції мембрани	Тиск, МПа	Математична модель	Достовірність апроксимації, (R ²)
1	0,2	$y = -2E-06x^3 + 0,0006x^2 - 0,0472x + 2,9419$	1,0000
	0,4	$y = 3E-10x^6 - 9E-08x^5 + 1E-05x^4 - 0,001x^3 + 0,0358x^2 - 0,6479x + 7,9025$	0,9932
	0,6	$y = 1E-10x^6 - 5E-08x^5 + 7E-06x^4 - 0,0005x^3 + 0,0209x^2 - 0,4869x + 11,912$	0,9993
	0,8	$y = -1E-10x^6 + 4E-08x^5 - 4E-06x^4 + 8E-05x^3 + 0,0087x^2 - 0,4823x + 11,24$	0,9913
	1,0	$y = 3E-07x^4 - 9E-05x^3 + 0,0102x^2 - 0,5285x + 16,187$	0,999
2	0,2	$y = 1E-10x^6 - 5E-08x^5 + 1E-05x^4 - 0,0009x^3 + 0,0426x^2 - 0,9902x + 12,912$	0,9927
	0,4	$y = 3E-10x^6 - 1E-07x^5 + 2E-05x^4 - 0,0012x^3 + 0,0486x^2 - 1,1127x + 17,276$	0,9973
	0,6	$y = 1E-09x^6 - 4E-07x^5 + 7E-05x^4 - 0,0056x^3 + 0,2402x^2 - 5,1244x + 69,171$	0,9972
	0,8	$y = -3E-11x^6 + 9E-09x^5 + 1E-07x^4 - 0,0002x^3 + 0,0283x^2 - 1,5406x + 52,161$	0,9981
	1,0	$y = 6E-11x^6 - 3E-08x^5 + 7E-06x^4 - 0,0008x^3 + 0,0503x^2 - 2,1052x + 81,202$	0,9995
3	0,2	$y = 1E-10x^6 - 5E-08x^5 + 7E-06x^4 - 0,0005x^3 + 0,0203x^2 - 0,4179x + 7,9245$	0,997
	0,4	$y = 2E-10x^6 - 8E-08x^5 + 1E-05x^4 - 0,001x^3 + 0,0432x^2 - 0,9731x + 16,058$	0,9979
	0,6	$y = 9E-10x^6 - 3E-07x^5 + 5E-05x^4 - 0,0034x^3 + 0,1136x^2 - 1,775x + 20,517$	0,9653
	0,8	$y = 5E-10x^6 - 2E-07x^5 + 3E-05x^4 - 0,0025x^3 + 0,0955x^2 - 1,901x + 25,504$	0,9962
	1,0	$y = 1E-08x^5 - 3E-06x^4 + 0,0001x^3 + 0,0294x^2 - 3,1254x + 94,034$	0,9971

Висновки. Таким чином, зміна структури целюлозних ультрафільтраційних мембран, що відбувається під дією постійного тиску, суттєво залежить від композиції мембрани і від значення робочого тиску. Максимальні значення продуктивності після виходу на сталий режим роботи було досягнуто для мембран, що гідрофобізовані сумішшю LPMS, з витратою 10 %. Швидкість трансмембранного потоку для них змінювалася в діапазоні від 0,029 м³/(м²·год) за тиску 0,2 МПа до 0,235 м³/(м²·год) за тиску 1,0 МПа.

Список використаних джерел

1. 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.
2. Kaushik Nath. *Membrane Separation Processes*, Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi, 2008.
3. García C., Rogel-hernández E., Flores-lópez L., Espinoza-gómez H. Effect of the membrane characteristics and operation modes, in the fouling of ultrafiltration membranes by natural organic matter (nom). *Journal of the Chilean Chemical Society*. 2012. Vol. 57, No°2. Pp. 1083–1086.
4. Андрианов А. П., Первов А. Г. Методика определения параметров эксплуатации ультрафильтрационных систем очистки природных вод. *Серия. Критические технологии. Мембраны*. 2003. № 2 (18). С. 3–22.
5. Laine J.-M., Vial D., Moulart P. Status after 10 years of operation – overview of UF technology today : *Proc. of the Conf. on Membranes in Drinking and Industrial Water Production*. 3-6 October 2000. Paris, 2000. Vol. 1. P. 17.
6. Мовчанюк О. М., Гомеля М. Д. Продуктивність целюлозних мембран в умовах зміни тиску ультрафільтрації. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2020. Т. 31 (70), № 3. Ч. 2. С. 13–18.
7. Хванг С. Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения. Москва : Химия, 1981. 463 с.
8. Rezaei N., Zokaee Ashtiani F., Fouladitajar A. Fouling behavior and performance of microfiltration membranes for whey treatment in steady and unsteady-state conditions. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 2014. Vol. 31, № 2. Pp. 503–518.
9. Wang, F., Tarabara, V. V. Pore blocking mechanisms during early stages of membrane fouling by colloids. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2008. Vol. 328. Pp. 464–469.
10. Kurokawa Y., Kurashide M., Yui N. A. A viscoelastic model for initial flux decline through reverse osmosis membrane. *Desalination*. 1984. Vol. 52, No. 1. Pp. 9–14.
11. Nguyen Q. T., Aptel P., Neel J. Characterization of ultrafiltration membranes. Pt 1. Water and organic solvent permeabilities. *J. Membrane Sci.* 1979. Vol. 5, № 2. Pp. 235–251.
12. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. Москва : Химия, 1978. 352 с.
13. Лазарев С. И. Влияние рабочего давления на проницаемые свойства мембраны УАМ-200. *Вестник ТГУ. Серия: Естественные и технические науки*. 2011. Т. 16, № 1. С. 233–235.
14. Брык М. Т., Цапюк Е. А. Ультрафильтрация. Киев : Наукова думка, 1989. 288 с.
15. Мовчанюк О. М., Гомеля М. Д., Рябчук І. В. Вологоміцний фільтрувальний матеріал : пат. 106564 Україна : МПК (2016.01) B01D 39/00, D21H 27/08 (2006/01), D21H 27/28 (2006/01). № u201511620 ; заявл. 24.11.2015 ; опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8.
16. Мовчанюк О. М., Гомеля М. Д. Оценка эффективности мембран на основе модифицированной целлюлозы. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2018. № 3. С. 51–58.
17. Орлов Н. С. Ультра- и микрофильтрация. Теоретические основы. Москва : Издательский центр РХТУ им. Д. И. Менделеева, 1990. 174 с.

References

1. Homelia, M. D, & Movchaniuk, O. M. (2014). Filtruvalnyi material dlia baromembrannoho ochyshchennia vody [Filtering material for baromembrane water purification]. *Visnyk NTUU «KPI». Seriiia «Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia» – Bulletin of NTUU «KPI». Series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation»*, (1(12)), 45–51.
2. Kaushik, Nath. (2008). *Membrane Separation Processes*, Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi.
3. García, C., Rogel-hernández, E., Flores-lópez, L., & Espinoza-gómez, H. (2012). Effect of the membrane characteristics and operation modes, in the fouling of ultrafiltration membranes by natural organic matter (nom). *Journal of the Chilean Chemical Society*, 57(2), 1083–1086.
4. Andrianov, A. P., & Pervov, A. G. (2003). Metodika opredeleniya parametrov ehkspluatatsii ul'trafil'tracionnykh sistem ochistki prirodnykh vod [Method for determining the operating parameters of ultrafiltration systems for natural water purification]. *Seriia. Kriticheskie tekhnologii. Membrany – Series. Critical technologies. Membranes*, 2(18), 3–22.

5. Laine, J.-M., Vial, D., & Moulart, P. (2000). Status after 10 years of operation – overview of UF technology today. *Conference on Membranes in Drinking and Industrial Water Production*. (pp. 17).
6. Movchaniuk, O. M., & Homelia, M. D. (2020). Produktivnist tseliuloznykh membran v umovakh zminy tysku ultrafiltratsii [Performance of cellulose membranes in the conditions of change of ultrafiltration pressure]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky – Scientific notes of TNU named after V. I. Vernadsky. Series: Technical Sciences*, 31(70)(3), 2, 13–18.
7. Khvang, S. T., & Kammermeier, K. (1981). *Membrannye protsessy razdeleniia [Membrane separation processes]*. Khimiia.
8. Rezaei, H., Zokaee Ashtiani, F., & Fouladitajar, A. (2014). Fouling behavior and performance of microfiltration membranes for whey treatment in steady and unsteady-state conditions. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31(2), 503–518.
9. Wang, F., & Tarabara, V. V. (2008). Pore blocking mechanisms during early stages of membrane fouling by colloids. *Journal of Colloid and Interface Science*, 328, 464–469.
10. Kurokawa, Y., Kurashide, M., & Yui, N. A. (1984). A viscoelastic model for initial flux decline through reverse osmosis membrane. *Desalination*, 52(1), 9–14.
11. Nguyen, Q. T., Aptel, P., & Neel, J. (1979). Characterization of ultrafiltration membranes. Pt 1. Water and organic solvent permeabilities. *J. Membrane Sci*, 5(2), 235–251.
12. Dytnerskii, Iu.I. (1978). *Obratnyi osmos i ultrafiltratsiia [Reverse osmosis and ultrafiltration]*. Khimiia.
13. Lazarev, S. I. (2011). Vliianie rabocheho davleniia na pronitcaemye svoistva membrany UAM-200. *Vestnik TGU. Serii: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 16(1), 233–235.
14. Bryk, M. T., & Capyuk, E. A. (1989). *Ultrafiltratsiia [Ultrafiltration]*. Naukova dumka.
15. Movchaniuk, O. M., Homelia, M. D., & Riabchuk, I. V. (2016). *Volohomitsnyi filtruvalnyi material [Moisture-resistant filter material]* (Ukraynskyi patent № 106564). Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti.
16. Movchaniuk, O. M., & Gomelia, M. D. (2018). Otsenka effektivnosti membran na osnove modifitsirovannoi tseliulozy [Efficiency Estimation of Modified Cellulose Based Membranes]. *Energotekhnologii i resursoberezhnie*, (3), 51–58.
17. Orlov, N. S. (1990). *Ultra- i mikrofiltratsiia. Teoreticheskie osnovy [Ultra- and microfiltration. Theoretical basis]*. MKhTI im. D.I. Mendeleeva [in Russian].

UDC [66.067.123.3+66.067.17-986/66.083.3]

Olga Movchaniuk, Mykola Gomelya

EFFECT OF PRESSURE ON SPECIFIC PERFORMANCE OF ULTRAFILTRATION CELLULOSE MEMBRANES

The efficiency of any ultrafiltration plant, so widely used today for water purification around the world, largely depends on the type of membranes and the mode of their operation.

Polymeric ultrafiltration membranes are exposed to high pressures during operation, as a result of which their permeability is reduced. In addition, the solvent interacts with the membrane material. The operation of the membranes is investigated to predict the decrease in membrane performance during operation and to ensure maximum performance.

The authors developed a new cellulosic ultrafiltration material, the effectiveness of which was previously proven during the purification of water from humates. Studies have shown that both the selectivity and performance of new membranes depend significantly on the operating pressure.

The efficiency of the membranes is affected not only by the pressure and shrinkage of the membrane under the action of pressure, but also by the contamination of the membrane pores with molecules of the retained substance. Therefore, there is a need to study the effect of pressure on the performance of cellulose membranes when filtering pure solvent, which will assess the degree of change in the structure of the membrane under pressure and further ensure optimal parameters of the ultrafiltration unit.

The aim of the work is to study the effect of pressure on the performance of new membranes during the filtration of distilled water to be able to select the optimal parameters of the ultrafiltration unit with transit flow.

Three variants of the composition of cellulose membranes weighing 80 g / m² were manufactured and investigated. Coniferous bleached sulphate cellulose and a hydrophobic mixture were used to make the membranes.

The study was performed at a constant operating pressure (from 0.2 to 1.0 MPa, in increments of 0.2 MPa). Filtering continued until steady state. Based on the obtained results, experimental dependences of the transmembrane flow rate on the total filtration time were constructed.

It is established that there is a decrease in the rate of transmembrane flow over time. There are three periods of operation of the membranes: the largest and slowest reduction of speed, as well as a constant period of operation, when the speed does not change.

Approximation of experimental dependences is performed. Adequate mathematical models of the dependence of the specific productivity on the total ultrafiltration time are obtained.

Therefore, the change in the specific productivity of the ultrafiltration process, which occurs under the action of constant pressure, significantly depends on the composition of the membrane and the value of the working pressure. The maximum productivity ($0.235 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$) after entering the steady state operation was achieved at a pressure of 1 MPa for membranes, during the manufacture of which the consumption of the hydrophobic mixture LPMS was 10%.

Keywords: cellulose membrane; distilled water; ultrafiltration; pressure; shrinking; structure; specific productivity.

Fig.: 1. Table: 2. References: 17.

Мовчанюк Ольга Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Movchaniuk Olha – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Ecology and Technology of Plant Polymers, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: movchaniukom@gmail.com

SCOPUS Author ID: 57212314497

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9609-2987>

Researcher iD: J-7637-2017

Гомеля Микола Дмитрович – доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедрою екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056).

Gomelya Mykola – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., Kyiv, 03056, Ukraine).

E-mail: m.gomelya@kpi.ua

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-1165-7545>

SCOPUS Author ID: 6507653734