

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІБРИДНОГО ПРОЦЕСУ
КОАГУЛЯЦІЯ/МІКРОФІЛЬТРАЦІЯ ПРИ ОЧИЩЕННІ ВОДИ РІЧКИ ДНІПРО
КЕРАМІЧНИМИ МЕМБРАНАМИ ІЗ ПРИРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Мельник Л., Дульнева Т., Деремешко Л.

Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України,

м. Київ, Україна

lumel2903@gmail.com

Як свідчить аналіз сучасної наукової літератури, мікрофільтраційні мембрани широко використовуються у світі для очищення поверхневих та стічних вод від дрібнодисперсних завислих речовин, колоїдних і органічних сполук, різних патогенів з метою отримання питної води, підготовки стічних вод для скиду в навколишнє середовище та створення замкнених систем водоспоживання [1, 2]. Однак, серйозною проблемою при реалізації мікрофільтраційних процесів залишається забруднення мембран, яке призводить до підвищення робочого тиску, зменшення трансмембранного потоку, збільшення частоти необхідного зворотного промивання та хімічного очищення. Це в свою чергу зменшує експлуатаційну ефективність та термін служби мембран і збільшує витрати на обслуговування мембранної фільтрації.

Для зменшення негативного впливу описаних вище явищ та підвищення терміну служби мікрофільтраційних мембран в наш час інтенсивно розробляються гібридні процеси: коагуляція/мікрофільтрація, сорбція порошкоподібним вугіллям (РАС)/мікрофільтрація та їх різновиди [1, 3, 4]. При цьому, додавання низьких доз коагулянту, РАС або їх обох здійснюється безпосередньо в потік води, яку слід очищати, і не вимагає використання контактної ємкості. Крім зменшення забруднення мембран та скорочення частоти їх гідродинамічної чи хімічної регенерації, використання вищезгаданих гібридних процесів сприяє видаленню із води забруднюючих речовин, які не можуть бути вилучені безпосередньо самою мембраною. В [3] відмічається, що в умовах зміни клімату, обмеженості водних ресурсів та жорстких вимог до якості води, гібридні РАС/мікрофільтрація технології починають відігравати все більш важливу роль в питному забезпеченні, оскільки вони гарантують ефективне видалення із води не лише завислих часточок та мікробіологічних об'єктів (включаючи стійкі до дезінфікуючих засобів), але й особливо небезпечних токсикантів, таких як пестициди, фармацевтичні препарати та ціанотоксини.

У зв'язку з інтенсивними дослідженнями та розвитком гібридних методів водоочищення, основаних на використанні процесу мікрофільтрації, найближчим часом очікується зростання світового виробництва та практичного застосування керамічних мікрофільтраційних мембран [3], які, не дивлячись на більш високу вартість у порівнянні з полімерними мембранами, мають над останніми значні переваги. Керамічні мембрани є механічно стабільними, стійкими до хімічного, термічного впливу, а також до дії мікроорганізмів. Вони легко регенеруються зворотним потоком і передбачають можливість більш агресивного фізичного та хімічного очищення, що може суттєво збільшити тривалість їх експлуатації.

Нами досліджено ефективність гібридного процесу коагуляція/мікрофільтрація при очищенні води річки Дніпро розробленими в ІКХВ НАН України керамічними мембранами із природних матеріалів. Вибір води здійснювали у місці водозабору Дніпровської водопровідної станції (м. Вишгород, Київська обл., жовтень 2022 р.). Результати дослідження наведено у таблиці.

Як видно із таблиці, при мікрофільтраційній обробці без додавання коагулянту паралельно зі зниженням вмісту завислих речовин (ЗР) і досягненням їх ГДК для питної води (0,3 мг/дм³) в пермеаті суттєво зменшувався також вміст Fe та Mn, досягаючи практично постійного значення через 2 години обробки.

Таблиця – Зміна складу пермеату в процесі обробки води р. Дніпро мікрофільтраційними мембранами з глинистих мінералів

Тривалість обробки, год	Обробка без додавання коагулянту			Обробка з додаванням 7,5 мг/дм ³ Al ₂ (SO ₄) ₃			Обробка з додаванням 7,5 мг/дм ³ FeCl ₃	
	C _{Fe} , мг/дм ³	C _{Mn} , мг/дм ³	C _{ЗР} , мг/дм ³	C _{Fe} , мг/дм ³	C _{Mn} , мг/дм ³	C _{ЗР} , мг/дм ³	C _{Fe} , мг/дм ³	C _{Mn} , мг/дм ³
0	0,38	0,14	0,49	0,38	0,14	0,49	0,32	0,14
1	0,11	0,07	0,34	0,11	0,11	0,38	0,1	0,05
2	0,1	0,07	0,3	0,1	0,11	0,3	0,1	0,05
4	0,1	0,07	0,3	0,1	0,11	0,3	0,1	0,05
6	0,1	0,07	0,3	0,1	0,11	0,3	0,1	0,05
8	0,1	0,07	0,3	0,1	0,11	0,3	0,1	0,05
10	0,1	0,07	0,3	0,1	0,11	0,3	0,1	0,05

Примітка: P = 0,2 МПа

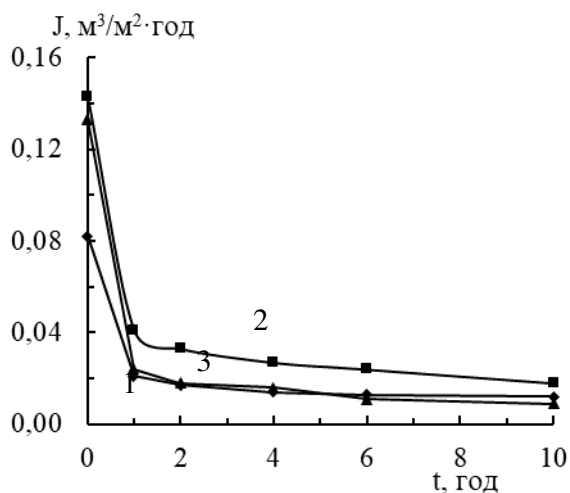
Очевидно, одержані результати свідчать про те, що вода р. Дніпро містить значну кількість малорозчинних форм заліза та мангану, які ефективно затримуються мікрофільтраційними мембранами. При цьому вміст заліза зменшувався з 0,38 мг/дм³ до 0,1 мг/дм³, що є нижче, ніж ГДК феруму у питній воді (0,2 мг/дм³). Концентрація Mn протягом 2 год від початку процесу мікрофільтрації знижувалася з 0,14 до 0,07 мг/дм³ (практично не змінюючись у подальшому), що є вище ГДК цього компоненту в питній воді (0,05 мг/дм³). Недостатній ступінь очищення води р. Дніпро від сполук мангану керамічними мембранами пов'язаний, вірогідно, з порівняно низькою концентрацією у воді сполук Fe(III), яка є недостатньою для формування ефективної динамічної мембрани, здатної забезпечити каталітичне окиснення розчинних сполук Mn (II) до малорозчинних форм з подальшою їх затримкою в процесі мікрофільтрації.

При додаванні невисоких доз коагулянтів ефективність очистки води від завислих речовин та сполук заліза практично не змінилась (таблиця), тоді як видалення сполук Mn у випадку дозування FeCl₃ суттєво покращилося, забезпечуючи зниження концентрації цього елемента у пермеаті до ГДК для питної води. Значно нижча ефективність видалення Mn при дозуванні у воду Al₂(SO₄)₃ (таблиця) може бути спричинена блокуванням поверхні присутніх у воді р. Дніпро малорозчинних форм

заліза сполуками алюмінію, що перешкоджає каталітичному окисненню розчинних сполук Mn (II) та утворенню малорозчинних форм цього елемента.

Встановлено, що одночасно зі зниженням концентрації ЗР, сполук Fe і Mn в процесі мікрофільтрації дніпровської води відбувалося також її очищення від органічних домішок, які контролювали за параметрами ЗОВ (загальний органічний вуглець), UV_{254} , SUVA. Величина SUVA - величина абсорбції при довжині хвилі 254 нм поділена на вміст загального органічного вуглецю. Виявлено, що вміст загального органічного вуглецю в пермеатах знижувався на ~27% (від 13,4 до 9,5 мг С/дм³), однак не досягав рівня, допустимого для питної води систем централізованого водопостачання (8 мг С/дм³). Низька ефективність затримки органічних сполук в процесі мікрофільтрації обумовлена, очевидно, їх низькою молекулярною масою, про що, зокрема, свідчить невисоке значення SUVA необробленої дніпровської води (2,99 дм³/м·мг).

Як видно з рис., крива 2, при мікрофільтрації дніпровської води з дозуванням сульфату алюмінію питома продуктивність мембрани в ~2 рази перевищує аналогічну характеристику процесу при відсутності коагулянту.



$P=0,2$ МПа

Рисунок — Зміна питомої продуктивності мікрофільтраційної керамічної мембрани в процесі обробки води р. Дніпро без додавання коагулянту (1), з додаванням $Al_2(SO_4)_3$ (2), та $FeCl_3$ (3).

Очевидно, у присутності гідроксисполук Al на поверхні керамічної мікрофільтраційної мембрани відбувається формування динамічної мембрани із більшим розміром пор, як стверджується у дослідженні [5]. Продуктивність керамічної мембрани в присутності хлориду заліза (III) була близькою до продуктивності мембрани в умовах відсутності коагулянту, однак, при збільшенні тривалості обробки до 10 годин перевищувала останню на 33%.

Одержані результати підтверджують перспективність використання гібридного процесу коагуляція/мікрофільтрація для одержання питної води із поверхневих вод та

свідчать про необхідність подальших досліджень у даному напрямку, зокрема, з метою підвищення ефективності очистки води від низькомолекулярних органічних сполук.

Література:

1. Malkoske T. A., Berube P.R., Andrews R. C. Coagulation/flocculation prior to low pressure membranes in drinking water treatment: A review. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 2020. V. 6, N 11. P. 2993-3023.
2. Bali M., Farhat S. Removal of Contaminants and Pathogens from Secondary Wastewater Effluents using Hollow Fiber Microfiltration Membranes. *Int J Environ Sci Nat Res*. 2020. V. 23, N 3. P. 78-83
3. Campinas M., Viegas R.M.C., Silva C., Lucas H., Rosa M.J. Operational performance and cost analysis of PAC/ceramic MF for drinking water production: Exploring treatment capacity as a new indicator for performance assessment and optimization. *Sep. Purif. Technol.* 2020. 255, 117443
4. Viegas R. M. C., Campinas M., Coelho Rю, Lucas H., Rosa M. J. Hybrid Process of Adsorption/Coagulation/Ceramic MF for Removing Pesticides in Drinking Water Treatment – Inline vs. Contact Tank PAC Dosing. *Membranes*. 2021. 11(2),72.
5. Matsui Y., Hasegawa H., Ohno K. Matsushita T., Mima S., Kawase Y., Aizawa T. Effects of super-powdered activated carbon pretreatment on coagulation and trans-membrane pressure buildup during microfiltration. *Water Research*. 2009. V.43, N 20. P. 5160-5170.[doi:10.1016/j.watres.2009.08.021](https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.08.021)