

О.О. Семінська, к.х.н.,**М.М. Балакіна**, д.х.н.;**Л.О. Мельник**, д.х.н.;**О.В. Хмельницька**, провідний інженер*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ*

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ КОАГУЛЯНТУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТЕГРАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ КОАГУЛЯЦІЯ-УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЯ ПРИ ОЧИЩЕННІ ВОДИ Р. ДНІПРО

Анотація. *В роботі розглядається доцільність використання інтеграційного процесу коагуляція-ультрафільтрація для очищення річкової води до вимог для води питного призначення та вплив мікродоз коагулянту на ефективність процесу.*

Ключові слова: ультрафільтрація, коагуляція, сульфат алюмінію, поверхневі води, концентрація, природні органічні сполуки.

Одним з найбільш використовуваних традиційних методів водоочищення, який і досі широко застосовується в світі, є коагуляція. Водночас, в останні десятиліття широкого розповсюдження набули баромембранні методи очищення води. Обидва типи методів вважаються доволі ефективними для видалення дисперсних речовин та інших видів забруднень при відносно сталому складі води. При цьому вода, яка подається на очищення, в тому числі і річкова, має різний дисперсний склад, а кожен з методів має обмеження застосуванні, що часто не дозволяє отримати очищену воду, якість якої відповідає необхідним вимогам [1, 2].

Для підвищення ефективності видалення забруднюючих речовин в сучасній практиці водоочищення все частіше застосовуються гібридні мембранні процеси, тобто інтеграцію мембранного процесу з іншими методами водоочищення. Одним з прикладів таких процесів є інтеграційний процес коагуляція-ультрафільтрація, що дозволяє підвищити якість очищеної води при зменшенні експлуатаційних та капітальних витрат [3-5]. Додатковою перевагою застосування обраного поєднання процесів є контроль забруднення мембран – одного з основних обмежуючих факторів мембранної фільтрації – в процесі водоочищення, що забезпечує сталість робочих характеристик мембранних модулів [4].

На ефективність процесу водоочищення з використанням вказаного інтегрованого методу впливають: тип коагулянту, параметри проведення процесу (доза коагулянту, рН середовища, температура), умови змішування, конфігурація потоку, властивості мембрани та склад води, що подається на очищення [2, 3, 5], тому важливим і необхідним є забезпечення оптимальних умов проведення процесу.

Дослідження проводили на лабораторній баромембранній установці фронтального типу з магнітною мішалкою при робочому тиску 0,4 МПа та рН = 6. В роботі використовували полісульфонові ультрафільтраційні мембрани з відсіканням за молекулярною масою 20000 Да. В якості коагулянту використовували сульфат алюмінію $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ (концентрація 0,5 – 4 мг Al/дм³). Перед початком роботи зразки мембран опресовували фільтруванням дистильованою водою до досягнення постійних значень питомої продуктивності.

Ефективність очищення визначали за показниками кольоровості, UV_{364} , що відповідає УФ-поглинанню при довжині хвилі 364 нм і концентрацією алюмінію у вихідній воді та пермеаті. Проби води було відібрано з водозабірною ковша Дніпровської водопровідної станції м. Києва в серпні 2025 р.

Дослідження питомої продуктивності в обраному діапазоні концентрацій показало, що вона зменшується зі збільшенням коефіцієнту відбору пермеату (k) для кожного випадку в обраному діапазоні концентрацій. При цьому інтенсивність зменшення зазначеного показника при $k \geq 10$ % відбувається помірно та приблизно однаково, на відміну від характеру зміни показників питомої продуктивності на початковій стадії процесу. Так, при $k \leq 10$ % величина питомої продуктивності мембрани зменшилась на 10,24; 13,92; 6,02; 3,64; 3,69; 13,27 та 14,9 % відповідно при використанні дози коагулянту 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 та 4,0 мг Al/dm^3 , що опосередковано свідчить про механізм забруднення мембрани.

Графічна обробка отриманих експериментальних даних із залученням положень, розроблених на основі аналізу рівнянь Дарсі та Хазена-Пуазеля для фільтрування при постійному тиску дає можливість встановити механізм забруднення мембрани та робити висновки про економічність процесу фільтрування [6]. Згідно з рівняннями, інтенсивність зростання загального опору при збільшенні кількості відібраного фільтрату зменшується з переходом від фільтрування з поступовим закупорюванням кожної пори багатьма частинками (механізм 1) до фільтрування проміжного типу (механізм 2) і потім до фільтрування з утворенням осаду на поверхні мембрани (механізм 3). Тобто, найбільш небажаним є фільтрування з закупорюванням пор, а найкращим – із відкладанням осаду на поверхні мембрани.

Графічна обробка отриманих даних показала, що забруднення мембран відбувається за всіма трьома механізмами в діапазоні обраних доз коагулянту. При цьому при використанні дози коагулянту 2 та 2,5 мг Al/dm^3 значення констант фільтрування є найменшим (0,2854 та 0,3049 відповідно), що свідчить про найнижчу інтенсивність процесу забруднення пор мембрани при очищенні води, тобто найсприятливіші умови експлуатації мембран. Водночас, тривалість механізму 1 є найкоротшою для доз коагулянту 1,0 та 2,0 мг Al/dm^3 і складає відповідно 0,14 та 0,17 год.

Результати очищення води за показником кольоровості показують, що вимоги за кольоровістю в очищеній воді задовольняються при використанні дози коагулянту ≥ 2 мг Al/dm^3 при $k \leq 90$ %, а також при концентрації 1,5 мг Al/dm^3 при $k \leq 80$ %. Отримані дані свідчать про те, що дози менші за наведені є недостатніми для забезпечення необхідного ефекту очищення.

Отримані дані при дослідженні показника UV_{364} корелюють з даними показника кольоровості і показують, що найменша ефективність очищення від природних органічних сполук (ПОС) спостерігається в діапазоні концентрацій 0,5 – 1,5 мг Al/dm^3 (16,9 – 72,5 % при $k \leq 90$ %). Підвищення концентрації в межах 2 – 3 мг Al/dm^3 супроводжувалось підвищенням ефективності вилучення ПОС (74,5 – 87,2 % при $k \leq 90$ %), але подальше підвищення дози коагулянту до 4 мг Al/dm^3 привело до зменшення ефективності процесу (74,4 – 81,7 % при $k \leq 90$ %).

Дослідження залишкового вмісту алюмінію в пермеатах показало, що норми за вмістом алюмінію в них забезпечуються при дозі коагулянту 0,5; 1,0 та 1,5 мг Al/dm^3 при $k \geq 30$; 70 та 80 % відповідно. Отримані дані пояснюються меншою швидкістю

пластівцеутворення через утворення недостатньої кількості заряджених частинок (гідроксиду алюмінію) для нейтралізації колоїдів, що призводить до утворення дрібних, нестійких пластівців [1]. Необхідні вимоги протягом всього процесу, тобто при $k \leq 90\%$, забезпечуються лише при дозі коагулянту 2 мг Al/дм^3 , що свідчить про створення умов, які забезпечують утворення необхідної кількості гідроксиду для утворення щільних та важких пластівців, що здатні швидко осідати. При подальшому підвищенні концентрації коагулянту $\geq 2,5 \text{ мг Al/дм}^3$ при будь-якому коефіцієнті відбору пермеату його якість за залишковим вмістом алюмінію не відповідає регламентованим нормам. Це пояснюється передозуванням коагулянту, через що надлишок іонів алюмінію перезаряджає негативно заряджені частинки забруднень, створюючи стабільно позитивно заряджені колоїди, приводячи до їх стабілізації (відштовхування). Тобто, злипання колоїдних часток з подальшим осадоутворенням не відбувається [1].

Отже, оптимальною дозою коагулянту для подальших досліджень є 2 мг Al/дм^3 , оскільки саме за цих умов досягаються найменші забруднення пор мембрани, тобто кращі умови експлуатації, кольоровість пермеату і залишковий вміст алюмінію в ньому, які відповідають регламентованим нормам.

Список використаної літератури

1. Запольський А.К. Очистка воды коагулированием. Каменец-Подольский: ЧП «Медоборы-2006», 2001. 296 с.
2. Bratby J. Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. Third Edition. London: IWA Publishing. 2016. 524 p.
3. Konieczny K., Rajca M., Bodzek M., Kwiecinska A. Water treatment using hybrid method of coagulation and low-pressing membrane filtration. *Environment protection engineering*. 2009. 35, N1. P. 5-22.
4. Arhin S.G., Banadda N., Komachech A.J., Pronk W., Marks S.J. Application of hybrid coagulation-ultrafiltration for decentralized drinking water treatment: impact on flun, water quality and costs. *Water Supply*. 2019. 19. 7. P. 2163-2171.
5. Wahid Z.A., Ismail A.F., Salim M.R., Munaim S.A., Matsuura T. Application of coagulation-ultrafiltration hybrid process for drinking water treatment^ Optimization of operatinf conditions using experimental design. *Separation and Purification Technology*. 2009. 65(20. P. 193-210.
6. Брык М.Т., Цапюк Е.А. Ультрафилтрация. Киев: Наук. Думка, 1989. 288 с.