

# ВСТАНОВЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯМ МЕМБРАННОГО БІОРЕАКТОРА

Кириченко К.С., Саблій Л.А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, [kyrychenko.kyryll@iit.kpi.ua](mailto:kyrychenko.kyryll@iit.kpi.ua)

## Abstract

*This study used GPS-X to optimize membrane bioreactor settings for municipal wastewater treatment. 36 scenarios tested filtration and washing durations. The best result—30 min filtration, 180 s washing — minimized transmembrane pressure (1.586 kPa) and reduced ammonium and nitrate levels to 0.13 and 11.36 mg/dm<sup>3</sup>, respectively.*

**Keywords:** *biotechnology, wastewater, biological wastewater treatment, MBR, optimization*

**Вступ.** Проблема очищення міських і промислових стічних вод (СВ) від сполук азоту на більшості очисних станцій залишається невирішеною, що призводить до зростання вмісту цих забруднень у природних водоймах. Сполуки азоту є токсичними для гідробіоценозу, зокрема амонійний азот, який є однією з причин евтрофікації, знижує концентрацію розчиненого кисню у водоймах, окиснюючись до не менш токсичного та канцерогенного нітрату. Тож, є необхідність в обмеженні та/або лімітуванні викидів цих сполук у природні водойми. Регламентом встановлено гранично допустимі концентрації амонію та нітрату на рівні 0,5 та 40 мг/дм<sup>3</sup>, відповідно, у природних водоймах рибогосподарського призначення [1].

Погіршення стану водних об'єктів призвело до необхідності удосконалення та впровадження інноваційних методів очищення стічних вод. Наразі біологічне видалення азоту в основному ґрунтується на процесах нітрифікації (амонійний азот окиснюється до нітратів) та денітрифікації (нітрати відновлюються до газоподібного азоту, який виділяється з води). Однак повільний ріст нітрифікуючих бактерій робить нітрифікацію лімітуючим етапом, тож важливим є ретельний контроль їхньої концентрації в аеротенках.

Останнім часом біореактори з мембранною фільтрацією (МБР) привертають дедалі більшу увагу як перспективна альтернатива, що поєднує біореактори з мембранним фільтруванням. МБР мають численні переваги, включаючи компактну конструкцію, можливість ефективнішого сепарування активного мулу, осаду та, навіть, бактерій (тим самим забезпечуючи дезінфекцію), утримання вищої концентрації біомаси. Цей підхід є новим для України, але може стати рішенням для об'єктів сезонної роботи, де традиційні методи очищення можуть виявитися неефективними через нерівномірне надходження забруднень та, відповідно, навантаження на очисні споруди. Як наслідок, забезпечується недостатнє видалення біогенних сполук, через що необхідне додаткове доочищення.

Метою роботи було визначення оптимальних параметрів технології біологічного очищення міських СВ із застосуванням МБР для забезпечення ефективного видалення сполук азоту.

**Матеріали та методи.** Програмне забезпечення GPS-X (версія 8.0.1, Hydromantis Environmental Software Solutions, Inc., Гамільтон, Онтаріо, Канада)

було використано в цьому дослідженні. Для обчислення технологічних параметрів у GPS-X застосовано метод Рунге-Кутта-Фельберга — алгоритм чисельного розв'язання диференціальних рівнянь. У цьому дослідженні було обрано період тривалістю 10 днів, протягом якого за допомогою програмного забезпечення було розраховано концентрації забруднювальних речовин на виході (БСК<sub>5</sub>, амонійний та нітратний азот), а також гідродинамічні параметри мембран МБР (трансмембранний тиск, гідравлічна проникність, гідравлічне навантаження).

Технологія біологічного очищення стічних вод, що була обрана для даної роботи, представлена наступним чином. Біологічне очищення відбувається у денітрифікаторі та аеротенку-нітрифікаторі. У денітрифікаторі за анаеробних умов відбувається денітрифікація, а у нітрифікаторі — окиснення органічних речовин і нітрифікація, що потребує подачі кисню. З нітрифікатора повертається від 100 до 300 % (іноді до 500 %) потоку води з нітратами в денітрифікатор для забезпечення денітрифікації, у результаті якої нітратами відновлюються до газоподібного азоту (N<sub>2</sub>) і видаляються в атмосферу.

Після анаеробної обробки у денітрифікаторі вода надходить до аеротенка, де відбувається окиснення органіки та амонійного азоту до нітратів. Далі очищена вода потрапляє у мембранний біореактор (МБР), де доводиться до нормативних показників за БСК<sub>5</sub>, амонієм і нітратами. Вода відокремлюється від мулової суміші через мембрани, затримуючи частину патогенів, а залишкові мікроорганізми знищуються УФ-опроміненням.

Вхідні показники міських СВ, використані для розрахунків, а також нормативні значення у воді водойми як цільові, наведено в таблиці 1.

**Таблиця 1. Характеристика СВ, що надходять на очисні споруди (середньодобова витрата — 2000 м<sup>3</sup>/добу).**

Показник	Вхідне значення	ГДК* у воді водойми, не більше [1]
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	250	15
БСК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	220	3
Амоній, мг/дм <sup>3</sup>	30	0,5
Нітрат, мг/дм <sup>3</sup>	0	40

\*Примітка: ГДК – гранично-допустима концентрація забруднювальної речовини у воді водойми. Було прийнято для водойми рибогосподарського призначення.

Після розрахунку конструктивних параметрів очисних споруд та внесення їх разом із параметрами процесу до програми було розпочато моделювання та оптимізацію цільових показників.

Було задано вхідні дані процесу для параметрів, що підлягали оптимізації, а саме: тривалість промивання (ТП) та фільтрації (ТФ) у МБР. Для оптимізації було обрано значення ТП та ТФ, наведені в таблиці 2 [2–4].

**Таблиця 2. Вхідні дані для ТП та ТФ.**

ТП, с	ТФ, хв
30	10
60	20
90	30
120	40
150	50
180	60

Далі було сформовано 36 пар значень ТП та ТФ, і проведено 36 симуляцій.

**Результати та обговорення.** Було встановлено, що серед проаналізованих варіантів оптимальним є режим роботи МБР з ТФ – 30 хвилин та ТП – 180 секунд, оскільки він забезпечує відмінні показники ефективності: найнижчий трансмембранний тиск – 1,586 кПа, що відповідає зниженню експлуатаційних витрат; високу гідравлічну проникність – 0,3635 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·кПа·доба), що дає змогу подовжити термін служби мембран без необхідності частого промивання; значне гідравлічне навантаження – 24,0 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год), що забезпечує високу продуктивність за пермеатом; концентрації амонійного та нітратного азоту в очищеній воді – 0,13 мг/дм<sup>3</sup> та 11,36 мг/дм<sup>3</sup>, відповідно, – обидва показники не перевищують допустимі норми (0,5 та 40 мг/дм<sup>3</sup>); низьку витрату води на промивку мембран – 130,91 м<sup>3</sup> за 10 діб.

**Висновки.** Моделювання та аналіз режимів роботи мембранного біореактора показали, що фільтрація протягом 30 хвилин з подальшим промиванням упродовж 180 секунд забезпечує оптимальні показники технології очищення СВ. Ці умови гарантують мінімальний трансмембранний тиск, високі показники гідравлічної проникності та ефективності мембран, ефективно видалення амонійного та нітратного азоту, а також зменшення витрат води на промивання. Таким чином, цей режим є високоефективним рішенням для очищення міських стічних вод із застосуванням технології МБР.

### **Список використаної літератури:**

1. Про затвердження Методичних рекомендацій з розроблення нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти із зворотними водами: Постанова Каб. Міністрів України від 11.09.1996 № 1100: станом на 5 берез. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0173926-21#Text>
2. R. Alnaizy, N. Abdel-Jabbar, A. Aidan, N. Abachi, Modeling and dynamic analysis of a membrane bioreactor with backwash scheduling, *Desalin. Water Treat.* 41 (2012) 186–194
3. T. Jiang, M.D. Kennedy, B.F. Guinzbourg, P.A. Vanrolleghem, J.C. Schippers, Optimising the operation of a MBR pilot plant by quantitative analysis of the membrane fouling mechanism, *Water Sci. Technol.* 51 (2005) 19–25
4. N.O. Yigit, G. Civelekoglu, I. Harman, H. Koseoglu, M. Kitis, Effects of various backwash scenarios on membrane fouling in a membrane bioreactor, *Desalination* 237 (2009) 346–356.