

**Сербов Валерій Олександрович**

*студент*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Мотроненко Валентина Василівна**

*асистент кафедри біотехніки та інженерії*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Сербов Валерий Александрович**

*студент*

*Национальный технический университет Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Мотроненко Валентина Васильевна**

*асистент кафедры биотехники та инженерии*

*Национальный технический университет Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Serbov Valeriy**

*student*

*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Motronenko Valentyna**

*associate department of bioengineering and biotechnics*

*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

## ОЧИСТКА ПРОМЫСЛОВИХ СТИЧНЫХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯМ МЕМБРАННИХ БІОРЕАКТОРІВ

**Анотація.** За існуючими літературними даними досліджено доцільність використання мембранного біореакторів (МБР) для очистки промислових стічних вод та визначити переваги та недоліки цього методу, у порівнянні з традиційними. Також, у роботі, проведено аналіз існуючих способів боротьби із закупорюванням пор мембран у МБР, та виділено найефективніший із них з зазначенням переваг та недоліків останнього.

**Ключові слова:** закупорювання пор, мембранний біореактор, стічні води.

**Аннотация.** По существующим литературным данным исследовано целесообразность использования мембранного биореакторов (МБР) для очистки промышленных сточных вод и определить преимущества и недостатки этого метода, по сравнению с традиционными. Также, в работе, проведен анализ существующих способов борьбы с закупориванием пор мембран в МБР, и выделено эффективный из них с указанием преимуществ и недостатков последнего.

**Ключевые слова:** закупоривание пор, мембранный биореактор, сточные воды.

**Summary.** According to available literature data investigated the feasibility of using membrane bioreactors (MBR) for the treatment of industrial waste water and to determine the advantages and disadvantages of this method compared to traditional. Also, work, analysis of existing ways of dealing with clogging pores in the membranes MBR and selected the most effective of them showing the advantages and disadvantages of the latter.

**Key words:** clogging pores, membrane bioreactor, wastewater.

### 1. Постановка задачі

**В**ажко переоцінити значення води в житті людини. Дефіцит прісної води вже зараз є світовою

проблемою, а потреби промисловості і сільського господарства у воді змушують вчених з багатьох країн світу шукати різноманітні засоби для вирішення цієї

проблеми. Одним із способів, що дасть змогу частково її вирішити, є повторне використання води для промислових і сільськогосподарських цілей.

Але існуючі очисні споруди мають низку недоліків, до яких відносяться великі об'єми останніх і ступінь очищення, який не задовольняє сучасним вимогам до стоків, що зливаються у водні об'єкти, не говорячи уже про їх повторне використання. Тому, застосування традиційних процесів біологічного очищення стічних вод є малоефективним і економічно недоцільним.

Вдосконалення характеристик біотехнологічних процесів очищення можливе лише шляхом запровадження принципово нових рішень. У наш час, все більшим попитом користуються альтернативні варіанти очищення стічних вод, з яких найбільш дієвим і ефективним є технологія з використанням мембранного біореактора (МБР).

### 2. Мета роботи

Провести аналіз існуючих технологій очищення стічних вод (за літературними даними) з використанням МБР та порівняти їх з традиційними способами біологічного очищення. Виявити та обґрунтувати переваги та недоліки кожної з розглянутих технологій.

Детально розглянути будову та принцип дії МБР в цілому, і приділити особливу увагу конструкції мембранних модулів, які в них використовуються та існуючим технологіям запобігання закупорювання пор в мембранах останніх.

### 3. Аналіз літературних джерел

Останнім часом, технологія очищення стічних вод з використанням МБР швидко розвивається та застосовується на багатьох підприємствах стічні води яких містять, у своєму складі, високу концентрацію відходів. У свій час, цим питанням займалися учені з багатьох країн світу, серед яких S. Judd, O. Stephenson, П. В. Трунов, М. Н. Видякін, В. Р. Ногих та інші. Подібні системи очищення знаходять застосування в масштабних проектах і в малотоннажних виробництвах. Проте технологія очищення з використанням МБР не є досконалою і має ряд недоліків, найсуттєвіший з них — закупорювання пор мембрани.

В основу роботи МБР покладено сукупне використання біотехнологічного синтезу (очищення з використанням активного мулу) і технології поділу водних суспензій на ультрафільтраційних полімерних мембранах (рис. 1). Мембранний модуль використовується для поділу мулової суміші і представляє собою альтернативу методів, що широко застосовується, а саме осадження активного мулу у вторинних відстійниках, що притаманна традиційним системам біологічного очищення в аеротенках. Стічні води, очищені з використанням такої технології, можна використовувати в системі зрошення, призначеної для поливу міських зелених насаджень.

Існує два типи МБР: з внутрішнім розташуванням мембрани (занурені в воду, що очищається, мембрани є невід'ємною частиною біологічного реактора) та зовнішнім розташуванням мембран (мембрани відділені

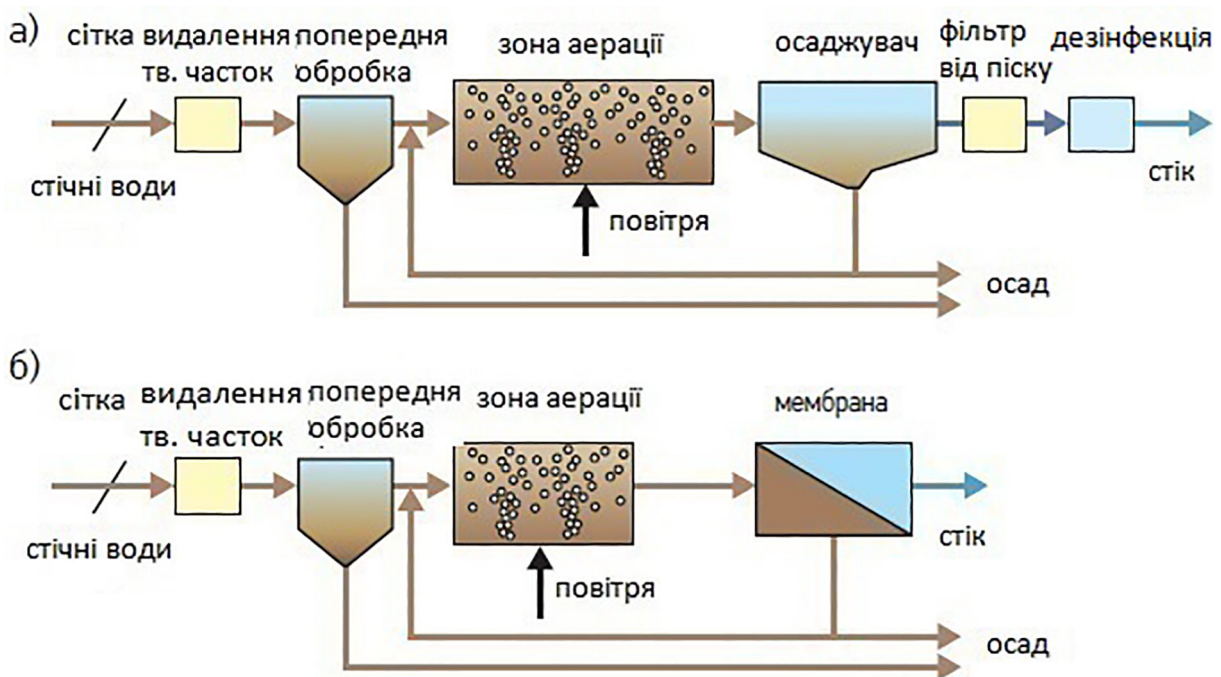


Рис. 1. Схема очищення стічних вод: а) з використанням традиційного очищення активним мулом; б) з використанням МБР

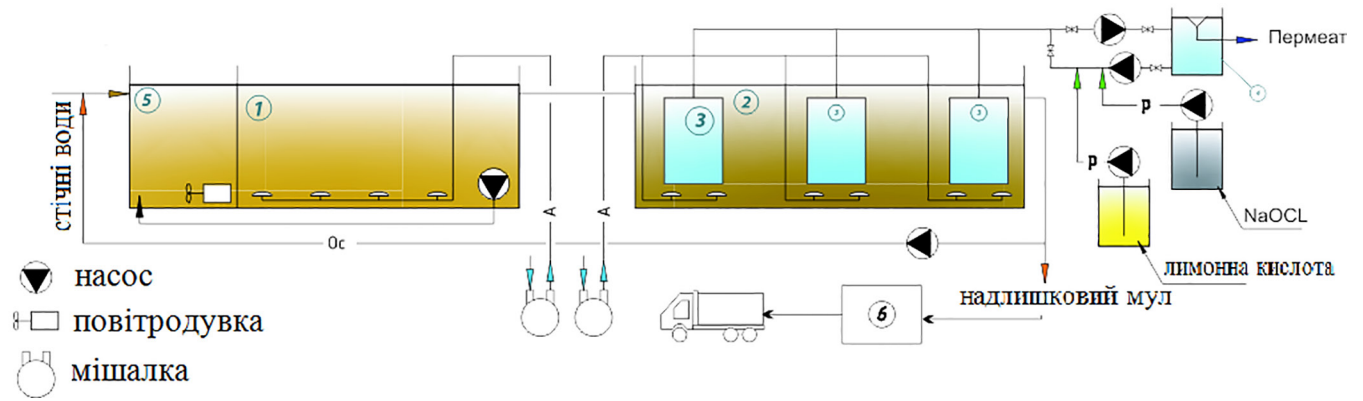


Рис. 2. Схема очищення стічних вод за допомогою мембранного біореактора: 1 – аеротенк; 2 – мембранний біореактор; 3 – мембранна біокасета; 4 – резервуар чистої води; 5 – денітрифікатор; 6 – станція зневоднення осаду; А – повітропровід; Р – трубопровід подачі реагенту; Ос – трубопровід циркулюючого мулу; Об – відвід зневодненого осаду

від технологічних ємностей і вимагають установки проміжних перекачувальних насосів).

Технологія з використанням МБР, у порівнянні з класичною технологією очистки стічних вод має низку переваг серед яких: можливість, без включення в технологічну схему додаткових блоків, глибокого очищення стічних вод від забруднюючих речовин до показників, які відповідають вимогам щодо скидання стічних вод у природні водойми всіх категорій, а також коригування продуктивності без зміни технологічного процесу; зниження маси і габаритів ємнісних споруд на 20–40%, так як активний мул займає менший об’єм при більш високій концентрації, та скорочення площі, що займає обладнання, у 2–3 рази шляхом заміни вторинних відстійників, блоків доочистки, мулових майданчиків на мембранну доочистку; забезпечення високої якості очищеної води, що дозволяє відмовитись від подальшого освітлення та дезінфекції; отримання малої кількості надлишкового активного мулу, що значно впливає на вартість його механічного зневоднення та утилізацію [4].

Система МБР (рис. 2) складається з аеротенку і мембранного модуля, обладнаного поліволоконною ультрафільтраційною або мікрофільтраційною мембранами. Стічні води надходять в аеротенк, де очищаються активним мулом, що циркулює через мембранний модуль. Ультрафільтраційні мембрани служать для підвищення концентрації активного мулу в аеротенках та глибокого очищення стічних вод. Аеротенк в системі МБР працює з високою концентрацією активного мулу, тому його розміри в 2–3 рази менше розмірів класичного проточного аеротенку.

Мембранний модуль (рис. 3) складається з 10–20 касет з мембранами. У кожній касеті розташовуються від 5 до 15 пучків мембранних волокон. Кожен пучок складається з 100–1000 мембранних волокон і обладнаний загальним патрубком відведення філь-

трату. Завдяки малому розміру пор, мікроорганізми активного мулу розміром більше 0,5 мкм, не можуть проникнути через них, що дозволяє повністю відокремити активний мул від стічної води і знизити концентрацію завислих речовин в очищеній воді до 1 мг/л і менше.[2]

Фільтрація відбувається під вакуумом, що створюється на внутрішній поверхні мембранного волокна самовсмоктувальним насосом. Для організації фільтрації між внутрішньою порожниною мембран і простором мембранного блоку створюється різниця тисків. При цьому суміш стічних вод і активного мулу фільтрується через поверхню мембран ззовні всередину. В результаті відділення твердих і колоїдних частинок на поліволоконних мембранах концентрація активного мулу в блоці МБР і в аеротенках підвищується, що сприяє глибокому біологічному очищенню стоків і забезпечує зменшення об’єму аеротенків в 2–3 рази.

Очищена вода надходить по напірним трубопроводами на знезараження, а активний мул залишається в мембранному резервуарі і підтримується в життєздатному стані за допомогою системи аерації, вбудованої в мембранний модуль. Аерація здійснюється стисненим повітрям за допомогою аераційних систем (повітродувок).

Залежно від необхідної продуктивності, мембранні модулі об’єднуються в мембранний блок. Число мембранних модулів в блоці можна збільшити, при необхідності, для підвищення продуктивності системи. [3]

В останні роки, була розроблена процедура більш чіткого контролю робочих параметрів, а також впроваджено технологію зворотного промивання мембрани, яка дозволяє МБР функціонувати впродовж тривалого часу і при цьому, витрачається незначна кількість енергії (близько 0,3 кВт·год/м<sup>3</sup>). Проте, не зважаючи на використання зворотного промивання



Рис. 3. Ультрафільтраційний мембранний модуль

мембрани, продуктивність фільтрації МБР знижується в процесі експлуатації. Це відбувається внаслідок відкладення твердих частинок в порах мембрани, що пов'язано з взаємодією між компонентами активного мулу і мембрани [5,6]. Закупорювання пор мембрани призводить до збільшення технологічних операцій і експлуатаційних витрат, які можуть серйозно погіршити продуктивність МБР, що обмежує кількість стічних вод, яку можна очистити за один цикл роботи, та негативно позначається на якості очищеної води.

Цю проблему вдалося вирішити після винаходу мембранних модулів зануреного типу в кінці 80-х років минулого століття, але закупорювання пор мембран і досі залишається істотною та невирішеною проблемою. Науковці, в усьому світі, запропонували ряд підходів з метою зменшення закупорювання мембран, серед яких: періодичне всмоктування, очищення протитечією, удосконалення конструкції модуля, оптимізація аерації, збільшення кількості хімічної очистки за один цикл.

Комбінації цих методів очищення пор зменшили вартість експлуатації МБР, але додаткове значне скорочення витрат може бути досягнуто тільки за рахунок подальшого зменшення закупорювання мембран. При боротьбі з закупорюванням пор періодичність очищення мембранної системи, як правило, збільшується, і, при необхідності, швидкість фільтрації потрібно знижувати. Під час сильного закупорювання, великі об'єми рідини, що проходять через мембрану не можуть бути оброблені належним чином, що може істотно вплинути на продуктивність системи, особливо під

час максимального потоку. Але не доцільно встановлювати додаткові мембрани і допоміжне обладнання щоб обробляти ці потоки, на долю яких, припадає менше ніж у 20% щорічного часу роботи МБР.

Одна, з найбільш ефективних технологій, для боротьби із явищем закупорювання мембран, була запропонована компанією «Nalco». Ця технологія представляє собою, підсилення продуктивності мембран шляхом використання полімерів (МРЕ), її легко реалізувати і сумістити з МБР, якщо додати полімер, безпосередньо, у ємність апарату. Технологія МРЕ використовується успішно на більш ніж 100 заводах стічні води яких очищаються з використанням МБР. Ця інноваційна технологія призначена для взаємодії з розчинними продуктами життєдіяльності мікроорганізмів і здатна зменшити частоту хімічної очистки.

Застосування технології МРЕ показало, що закупорювання мембран значно знижується навіть при максимальному об'ємі стічних вод і більш низькому трансмембранному тиску. Крім того, хімічне споживання кисню знижується приблизно на 30% без будь-якого негативного впливу на активність мікроорганізмів мулу [7].

Конструкція МБР розроблена таким чином, щоб запобігати обростанню мембрани мікроорганізмами активного мулу завдяки значним швидкостям потоку. Крім того, робочі умови змінюються, в зв'язку із якісною та кількісною зміною стічних вод. Це впливає на МБР і може привести до нестабільної роботи та змінної ефективності. Проте, з використанням технології МРЕ можна досягти високих результатів і при

максимальних потоках без механічного втручання. Застосування передових технологій МРЕ забезпечує підвищену продуктивність існуючої системи МБР, та забезпечуючи значну економію експлуатаційних витрат, а також уникнути будь-яких впливів на навколишнє середовище. Крім того, використання МРЕ зумовило підвищення якості очищення стічних вод, забезпечило підвищення рентабельності виробництва.

#### 4. Висновки

Аналізуючи вище сказане, можна стверджувати, що використання мембранних біореакторів ефективніше за традиційні методи очищення стічних вод у 2–3 рази. Основними перевагами їх використання є зменшення габаритних розмірів очисних споруд, внаслідок зменшення об'єму аеротенку та заміни тра-

диційних способів доочистки на МБР. А продуктивність останніх можна регулювати, змінюючи кількість мембранних модулів в апараті.

Але при використанні МБР виникає суттєва проблема, а саме закупорювання пор мембран, що пов'язано з взаємодією активного мулу матеріалом мембран. Це ускладнює технологічний процес та підвищує його собівартість. Частково, цю проблему можна вирішити шляхом використання мембранних модулів зануреного типу. Проте, найбільш ефективним способом боротьби з закупорюванням пор мембран є технологія з використанням спеціально створених полімерів, які додають, безпосередньо, в ємність апарату. Використання цієї технології дозволило знизити економічні витрати та підвищити якість очищених стічних вод.

#### Література

1. Трунов П. В. Особенности процесса очистки сточных вод в погружных мембранных биореакторах // Коммунальное хозяйство городов. № 93. — 2010.
2. Поляков А. М., Соловьев С. А., Видякин М. Н. Технология мембранного биореактора (МБР) для очистки природных и сточных вод [I] // Критические технологии. Мембраны. № 3. — 2008.
3. S. Judd. The MBR book. Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment, Elsevier, Oxford. — 2006.
4. Ногих, В. Р. Мембранный биореактор в очистке сточных вод / В. Р. Ногих, Ю. В. Бессонов // Экология производства. — 2012. — № 10. — С. 52–55.
5. Stephenson O., Judd S., Jefferson B. and Brindle K. Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment. — London. U.K.: IWA Publishing. — 2000.
6. Анциферов, А. В. Повышение эффективности очистки сточных вод промышленных предприятий на биологических очистных сооружениях / А. В. Анциферов, В. М. Филенков // Водоочистка. — 2013. — № 3. — С. 29–35.
7. MBR Plant Delivers Superior Effluent and Savings // Nalco Company Wallisellen, Switzerland — 2006.