

- dochnyx-skvazhin/sooruzhenie-skvazhin-kanalov-dlya-truboprovodov-i-inzhenernyx-kommunikacij.html.
4. Общие сведения о бестраншейной прокладке труб [электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: [электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: http://sbh.ru/articles/art1_6.htm#6.
 5. Бестраншейная прокладка: методы [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://setstroygnb.ru/services/bez-transhey>.
 6. Технология строительного производства. Под общей ред. Литвинова О.О. - К.: Вища школа, 1977. - 456 с.
 7. Орлов В.О. Водопостачання та водовідведення: підручник. – К.: Знання, 2011. – 359с.
 8. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говоруха Ж.И. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. Т. 3. Системы распределения и подачи воды – изд. 3-е, перераб. и доп.: учебное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 408 с.

УДК 628.35

Нагорна О.К.

Державний вищий навчальний заклад

«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ МЕМБРАННИХ БІОРЕАКТОРІВ ДЛЯ БІОЛОГІЧНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД

Вступ. В теперішній час гостро стоїть питання використання водних ресурсів у різних країнах світу, в тому числі і в Україні. Це пов'язано з різними чинниками - зміною погодних умов, виснаженням водоносних горизонтів, зміною якості води в джерелах водопостачання, зниженням запасів прісної води. Все частіше і частіше питанням економії води задаються окремі споживачі. Працюючі очисні споруди стикаються зі зниженням загальної витрати стічних вод і підвищенням концентрації забруднень за основними показниками, а очищення стічних вод, як і раніше, здійснюється на діючих спорудах. Якість стоків на виході - майстерність досвідченого технолога станції, але навіть вона не рятує нас від незадовільної якості стічних вод перед випуском у водойму - відбувається порушення екосистеми водойми, видозмінюються склад і властивості води, що забирається з джерела на потреби водоспоживання.

Більшість станцій очищення стічних вод в Україні побудовані ще за радянських часів, за період експлуатації деякі з них жодного разу не піддавалися капітальному ремонту, заміні елементів систем аерації і

вимагають термінової реконструкції. При цьому працюючі споруди не справляються з проектними задачами і не забезпечують необхідної якості очищення стічних вод.

Мета і завдання. Метою даної роботи є пошук нових більш досконалих, ефективних методів очищення стічних вод, що дозволяють отримати максимально можливий ефект очищення за лімітуючими показниками, затримувати та утилізувати корисні компоненти, запобігають забрудненню водойм і зводять до мінімуму споживання свіжої води.

Одним з таких методів є мембранні технології мікро- і ультрафільтрації, які застосовуються у поєднанні з класичною технологією біологічної очистки - мембранні біореактори.

Результати дослідження. Стандартна технологія очистки міських стічних вод передбачає використання методів механічної, біологічної, фізико-хімічної очистки, знезараження. Споруди механічної очистки видаляють до 60-70 % мінеральних забруднень та до 30 % органічних забруднень за показником БПК₅. Крім того, застосування споруд механічної очистки

сприяє створенню рівномірного руху рідини та дозволяє запобігти коливанням витрат стоків на спорудах біологічної очистки. Біологічна очистка стічних вод у штучно-створених умовах забезпечує деструкцію органічних забруднень за рахунок життєдіяльності спеціально культивованих мікроорганізмів як в аеробних, так і в анаеробних умовах. Найбільш поширеними спорудами біологічної очистки є біофільтри, аеротенки, біореактори, які передбачають застосування після них споруд для розділення мулової суміші. Фізико-хімічна очистка стічних вод застосовується, якщо необхідний ступінь очистки стічних вод не був або не може бути досягнутий на спорудах механічної та біологічної очистки. Вибір того чи іншого методу фізико-хімічної очистки визначається залишковими забрудненнями та подальшим використанням стічних вод. Для забезпечення необхідного рівня безпеки стічних вод у бактеріологічному відношенні після очистки обов'язково здійснюється їх знезараження.

Традиційна технологічна схема очистки міських стічних вод потребує величезних займаних площ, експлуатаційних витрат на електроенергію та реагенти. Робота очисних споруд знаходиться під постійним контролем та не може бути здійснена без великої кількості обслуговуючого персоналу.

Тому, сьогодні на перше місце виходять питання пов'язані з підвищенням ефективності очистки стічних вод, зменшенням забруднення джерел водопостачання, скороченням ступенів технологічної схеми очистки, займаної площі споруд, автоматизацією процесу очистки, отриманням оптимального показника собівартості очистки стічних вод, можливістю використання очищеної води після станції аерації без скиду у водойму.

Досягнення необхідних параметрів може бути здійснено за рахунок використання баромембранних установок, які поєднують процеси біохімічного окислення та мембранної фільтрації. Окислення органічних забруднень в установках здійснюється за рахунок мікроорганізмів активного мулу, а для розподілу мулової суміші застосовують мембранний модуль.

Мембранні біореактори використовують для очищення побутових стічних вод та стічних вод різних галузей промисловості [4, 6, 13-15].

Застосовуються як аеробні [3, 6, 7, 10-15] так і анаеробні [8, 9] мембранні біореактори в двох основних модифікаціях - з внутрішнім і зовнішнім розташуванням мембран:

- зануреного типу (з внутрішнім розташуванням мембрани у стічній воді, що очищується, - MBR);

- окремо розташованого типу (з зовнішнім розташуванням мембран та додатковим насосним обладнанням - SMBR).

При використанні анаеробних мембранних біореакторів додатковою перевагою є отримання біогазу.

Серед працюючих мембранних біореакторів більшу частину (більше 90 %) складають мембранні біореактори зануреного типу. Насамперед, це пов'язано з меншими експлуатаційними витратами.

В якості мембранних модулів використовують ультрафільтраційні та мікрофільтраційні мембрани з розміром пор 0,02 мкм і 0,4 мкм відповідно, які видаляють зі стічних вод колоїдні частинки, зважені частинки, макромолекули, мікроорганізми, бактерії [1, 2, 5, 9].

Мембрани виготовляють з різноманітних пластмасових, керамічних та металевих матеріалів. Найбільш широко застосовують для виробництва мембран целюлозу, поліаміди, полісульфон, поліакрилонітрил, поліетилен, поліпропілен, які володіють достатньою хімічною та фізичною стійкістю [11]. В практиці очистки природних та стічних вод застосовують п'ять основних конфігурацій мембран: з полими волокнами, спіральні, плоскорамні, плісировані, трубчаті [11]. Найбільш поширені поволоконні та плоскі мембрани [3, 11]. Поволоконні модулі мають питому поверхню 300-600 м²/м³, плоскі – 50-150 м²/м³. Питома проникність плоских мембран складає 15-30 л/м³ год., поволоконних - 10-30 л/м³ год. В той же час, плоскі мембрани володіють більшою механічною міцністю, їх легко замінити, поволоконні мембрани мають меншу вартість, менше

забруднюються, стійки до зворотних промивок.

Мембранний модуль, занурений у біореактор, складається з 10-20 касет, кожна з яких містить від 5 до 15 пучків мембранних волокон. Розподіл мулової суміші здійснюється під дією вакууму, який створюється на внутрішній поверхні мембранних волокон. Очищені стічні води проникають всередину полого волокна або пластини, активний мул затримується на зовнішній поверхні мембрани та видаляється висхідним потоком рідини [3, 9-11].

Традиційна технологія біологічної очистки стічних вод ґрунтується на флокуляційних властивостях активного мулу – утворенні крупних, добре осідаючих пластівців. На відміну від неї, за рахунок заміни механізму розподілу мулової суміші, в мембранних біореакторах формується інший за складом та властивостями біоценоз активного мулу, основна частина якого представлена повільно зростаючою мікрофлорою. Вік мулу мембранного біореактора становить 25-70 діб і більше, що призводить до значного зниження приросту мулу, розвитку в достатній кількості бактерій-нітрифікаторів.

Підвищені дози активного мулу при комбінованому мембранно-біологічному очищенні (8 - 12 г / л) дозволяють проводити його в режимі низьких навантажень, забезпечуючи стабільну якість очищення і стійкий до зовнішніх чинників біоценоз активного мулу.

Розмір пластівців мулу з мембранних біореакторів менше, ніж в аеротенках, тому площа контакту мікроорганізмів зі стічними водами збільшується, ефективність сорбції активним мулом інертних речовин, важких металів, мікрозабруднень підвищується.

Крім того, в процесі роботи мембранних модулів, в порах мембрани та на її поверхні утворюється динамічний шар відкладень, який сприяє фізичному видаленню значної кількості макромолекул, колоїдних речовин, ферментів, позаклітинних полімерних речовин, що підвищує загальну ефективність очистки стічних вод в середньому на 10 – 20 % [3, 11].

Ступінь очищення стічних вод в мембранному біореакторі становить за показниками БПК - 98,7 - 99,7%, ХПК - 80 - 90%, азоту амонійному - 98,5 - 99,8%, фосфору – 90 - 95 %. Ефективність видалення бактерій – 99,99 %, вірусів – 99 % [3, 11, 14].

Проте, незважаючи на вказані переваги роботи мембранних біореакторів, вони мають ряд недоліків: значні капітальні витрати на мембранні блоки; складну систему управління та контролю роботи; забруднення мембран в процесі роботи та пов'язані з цим експлуатаційні витрати; складність в забезпеченні необхідного рівня аерації в реакторі.

При збільшенні концентрації активного мулу в мембранному біореакторі більше 12 г / л збільшується імовірність заростання мембрани, блокуються пори, погіршується гідродинамічний режим в реакторі, не ефективно розподіляється кисень в системі та ускладнюється його доступ до активного мулу, зростає трансмембранний тиск, спостерігаються процеси самоокислення мулу, що призводить до зниження якості очищеної води [10-11].

Одним з найскладніших питань експлуатації мембранних біореакторів є своєчасне видалення забруднень з поверхні та пор мембрани. До основних причин забруднення мембран відносяться: адсорбція макромолекул та колоїдних речовин; зростання біоплівки на поверхні мембрани; осідання неорганічної матерії; старіння мембрани [11]. Всі забруднення мембран діляться на три основні типи:

- забруднення, які можуть бути видалені фізичною очисткою;
- забруднення, які можуть бути видалені хімічною очисткою;
- безповоротні забруднення, які не можуть бути видалені.

У зв'язку з цим при експлуатації мембранних біореакторів застосовують продувку повітрям зовнішньої поверхні мембран; зворотну промивку на протязі 30-120 с кожні 10-25 хв. роботи; хімічну очистку гіпохлоритом натрію або гідроксидом натрію для видалення гумінових речовин, білків, вуглеводів та органічну кислотну очистку для видалення неорганічних забруднень. При наявності великої кількості

забруднень на поверхні мембрани, її видаляють з реактору та замочують у слабоконцентрованому розчині гіпохлорита натрію на протязі 12 – 30 год. Для зменшення забруднення мембран також використовують періодичну зупинку процесу фільтрування. В цей момент потоки рідини та повітря навколо мембрани уносять з її поверхні частинки забруднень, а дифузійний та конвективний потоки – розчинені та колоїдні домішки [9, 11].

Мембранні біореактори проектують та експлуатують переважно при розрахункових витратах стічних вод до 2000 м³/доб. [8, 11, 13-15], що дозволяє виготовляти їх у вигляді повністю автоматизованих контейнерних або модульних установок.

Розрахунок мембранних біореакторів здійснюють аналогічно розрахунку аеротенків. Тривалість окислення забруднень активним мулом визначають за тривалістю окислення лімітуючого забруднення, яке вимагає найбільшої тривалості контакту стічних вод з активним мулом. Питому швидкість окислення забруднень визначають за кінетичними кривими в залежності від якості очищеної води, які можуть бути визначені експериментально або на підставі даних експлуатації споруд в аналогічних умовах. Необхідну площу мембранних модулів визначають за розрахунковими витратами стічних вод та технічними характеристиками виробників модулів.

На сьогоднішній день, незважаючи на безліч експериментальних досліджень і велику кількість працюючих установок, одним з відкритих питань є моделювання процесу масопереносу в мембранних біореакторах, забруднення пір мембрани та їх очищення [3, 11, 12].

Висновки. Мембранні технології є ефективними методами очищення стічних вод різного складу. Суміщення технологій мікро- і ультрафільтрації з класичною технологією біологічної очистки в штучно створених умовах забезпечують надійність і стабільність роботи станції очистки стічних вод при високих показниках якості очищеної води. Застосування мембранних біореакторів при проектуванні нових та реконструкції існуючих очисних споруд призведе до значного скорочення їх

площ, збільшенню глибини очищення стічних вод, знизить обсяг надлишкового активного мулу, прибере проблему спухання мулу. а також зведе до мінімуму скидання стічних вод у водойму у зв'язку з можливістю їх повторного використання.

Слід зазначити, що впровадження занурених мембранних модулів дозволить проводити модернізацію станцій аерації без значних конструктивних змін.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Брик М. Т. Енциклопедія мембран: У 2 т. – Київ: ВД «Києво-Могилянська академія», 2005. – Т. 1. – 658 с.
2. Брык М. Т. Ультрафильтрация / М. Т. Брык, Е. А. Цапюк. – Киев : Наук. думка, 1989. – 288 с.
3. Киристаев А. В. Очистка сточных вод в мембранном биореакторе : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук : спец. 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» / А. В. Киристаев. – Москва, 2008. – 27 с.
4. Свойства динамических мембран при ультрафильтрационной очистке воды от урана / Л. И. Руденко, О. В. Джужа, В. Е. Хан, С. И. Ковальчук // Доповіді Національної академії наук України, 2007. - № 6. С. 139 – 143.
5. Трунов П. В. Особенности процесса очистки сточных вод в погружных мембранных биореакторах / П. В. Трунов // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сборник / Харьк. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А.Н. Бекетова. – Харьков, 2010. – Вып. 93. – С. 133 – 137.
6. Abeynayaka A. Thermophilic aerobic membrane bioreactor for industrial wastewater treatment: A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering in Environmental Engineering and Management/ A. Abeynayaka; Asian Institute of Technology, School of Environment, Resources and Development, Thailand. – 2009. – 106 p.
7. Aerobic Membrane Bioreactor for Wastewater Treatment – Performance Under Substrate-Limited Conditions / S. Delgado, R. Villarroel, E. Gonzalez, M. Morales // Biomass – Detection, Production and Usage. – Spain, 2011. - P. 265-288.
8. Chang S. Anaerobic Membrane Bioreactors (AnMBR) for Wastewater Treatment / S. Chang // Chemical Engineering and Science,

- Canada, 2014. – P. 56-61. <http://dx.doi.org/10.4236/aces.2014.41008>
9. Do A. Anaerobic Membrane Bioreactor (AnMBR) for Treatment of Landfill Leachate and Removal of Micropollutants: A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy / Anh T. Do; University of South Florida, USA. - South Florida, 2011. – 195 p.
 10. Jyoti J. Application of Membrane-Bio-Reactor in Waste-Water Treatment: A Review / J. Jyoti, D. Alka, S. J. Kumar // International Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 2013. - Vol. 3, no 2. - P. 115-122.
 11. Membrane Bioreactor (MBR) as an Advanced Wastewater Treatment Technology / J. Radjenovic, M. Matosic, I. Mijatovic, M. Petrovic, D. Barcelo // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. - Vol. 5, Part S/2. – P. 37–101.
 12. Peng J. Mathematical Modeling of Hollow-fiber Membrane System in Biological Wastewater Treatment / J. Peng, G. Xue // Systemics, Cybernetics and Informatics, Canada, 2013. – Vol. 4, no. 1. – P. 47-52.
 13. Recalcitrant industrial wastewater treatment by membrane bioreactor (MBR) / F. I. Hai, K. Yamamoto, F. Nakajima, K. Fukushi // Handbook of Membrane research: Properties, Performance and Applications, New York: Nova Science Publishers, 2010. – P. 67-104.
 14. Sayed S. K. I. Treatment of potato processing wastewater using a membrane bioreactor / S. K. I. Sayed, K. H. El-Ezaby, L. Groendijk // Ninth International Water Technology Conference IWTC9 2005, Sharm El-Sheikh, Egyptc. – Egyptc, 2005. P. 53-68.
 15. Treatment of food industry wastewaters in membrane bioreactor / H. K. Jakopovic, M. Matošic, T. Ecimovic, I. Mijatovic // Zagreb. – 11 p. http://bib.irb.hr/datoteka/414552_Korajlija_Jakopivic_et_al.pdf.

УДК 550.32

Шилін В.В., Кузьменко В.М.,

Харківський національний університет будівництва та архітектури

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПРОНИКНОСТІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МОДЕЛІ ІДЕАЛЬНОГО ГРУНТУ

Модель фільтрації Дарсі передбачає, що фільтраційний потік рухається не тільки крізь пори ґрунту, а також через тверді частини. Ним встановлено, що фільтраційна витрата (дебіт) пропорційна градієнту втрати напору в напрямку фільтрації, а коефіцієнт пропорційності позначають коефіцієнтом фільтрації

$$Q = K_{\phi} \omega \frac{dh_e}{dx}, \quad (1)$$

де Q- витрата фільтраційного потоку, м³/с; K_φ - коефіцієнт фільтрації, м/с; ω - загальна площа (площа пор та твердих часток), м²; dh_e/dx- градієнт втрати напору.

Якщо ліву частину залежності (1) помножити і поділити на питому вагу фільтраційної рідини (флюїду), а також поділити на площу, отримаємо

$$V_{\phi} = \frac{K_{\phi}}{\gamma} \cdot \frac{dP}{dx}, \quad (2)$$

де V_φ - швидкість фільтрації, фіктивна величина м/с; γ - питома вага флюїду, н/м³.

Швидкість руху флюїду в порах з визначення коефіцієнта пористості (m) дорівнює

$$U = \frac{V_{\phi}}{m}, \quad (3)$$

де U - швидкість руху флюїду, м/с.

Для подальшого викладання потрібно пояснити поняття фіктивного і ідеального ґрунту [1]. Фіктивний ґрунт вважають складеним з часток одного розміру. В такому ґрунті, як встановлено Сличером (Slicher Ch. S), коефіцієнт пористості не залежить від розміру часток ґрунту, а визначається виключно їх взаємним розташуванням. При цьому кут між центрами трьох суміжних часток змінюється від α=60° (щільна упаковка) до α=90° (повільна упаковка). З геометричних міркувань площа пор дорівнює

$$S_{\text{пор}} = d^2 \left(\sin \alpha - \frac{\pi}{4} \right), \quad (4)$$

де d - розмір частки (рис. 1).