

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОТЕХНОЛОГІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

_____ Барановський М.М.

«___» _____ 2021р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 162 «БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ»
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА «ЕКОЛОГІЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ ТА
БІОЕНЕРГЕТИКА»

**Тема: «Удосконалення анаеробного методу очищення
дріжджовмісних стічних вод»**

Виконавець: студент ЕТ-403

Жигалло Є.А.

Керівник: старший викладач кафедри біотехнології

Поштаренко А.В.

Нормоконтролер

Дражнікова А.В.

КИЇВ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра біотехнології

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-професійна програма «Екологічна біотехнологія та біоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Барановський М.М.

«__» _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Жигалло Є.А.

1. Темароботи: «Удосконалення анаеробного методу очищення дріжджовмісних стічних вод» затверджена наказом ректора від «11» травня 2021 р. № 715/ст.
2. Термін виконання роботи: з 10 травня по 20 червня 2021 р.
3. Вихідні дані роботи: стічні води, анаеробні мікроорганізми, конструктивні параметри біореактора.
4. Зміст пояснювальної записки: ВСТУП. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД. ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК. УДОСКОНАЛЕННЯ АНАЕРОБНОГО БІОФІЛЬТРУ. ВИСНОВКИ. СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: 22 рисунка, 6 таблиць.

6. Календарний план–графік

№	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Узгодження змісту дипломної роботи з керівником	10.05.21	
2	Підбір літератури за темою «Характеристика методів очищення стічних вод»	11.05 – 20.05.21	
3	Підбір літератури за темою «Теорії дослідження біоенергетичних установок»	21.05 – 24.05.21	
4	Написання першого та другого розділів дипломної роботи	25.05 – 26.05.21	
5	Підбір літератури за темою «Характеристика анаеробних біореакторів»	27.05 – 29.05.21	
6	Систематизація отриманого матеріалу та написання третього розділу дипломної роботи. Перевірка дипломної роботи керівником.	30.05 – 08.06.21	
7	Попередній захист дипломної роботи	03.05.21	
8	Перевірка дипломної роботи на нормоконтроль	03.06 – 07.06.21	
9	Перевірка дипломної роботи на плагіат	08.06.21	
10	Здача дипломної роботи на кафедрі	11.06.21	
11	Захист дипломної роботи	17.06.21	

7. Дата видачі завдання “10” травня 2021р.

Керівник дипломної роботи _____/Поштаренко А.В./
(підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання _____/Жигалло Є.А./
(підпис випускника)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи "Удосконалення анаеробного методу очищення дріжджовмісних стічних вод": 76 сторінок, 22 рисунка, 6 таблиць, 61 літературних джерел.

Об'єктом дослідження є анаеробний біофільтр.

Предметом дослідження є процеси гідродинаміки в анаеробному біофільтрі з площинним завантаженням.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності роботи анаеробного біофільтру при очищенні стічної води.

Методи дослідження: аналітичні, математичні.

Протягом останніх десятиліть технологія анаеробного розкладу пройшла новий етап розвитку і сьогодні може розглядатись як один з найефективніших методів утилізації відходів органічного походження. Тому її належне використання повинно розглядатись як важливий інструмент енергетичної та природоохоронної політики держави. Сучасні розробки в області інтенсифікації анаеробних процесів фокусуються на стабілізації метаногенезу та зменшенні габаритів установки. Перспективним напрямом є дослідження анаеробних біофільтрів, що відрізняються компактністю, підвищеною стійкістю проти негативних впливів та високою ефективністю.

Біомембранна технологія (БМТ) поєднує в собі комбінацію традиційного біологічного очищення активним мулом стічних вод та їх ультрафільтрацію на порожнинних волокнах; у результаті отримуємо два кінцеві продукти – технічну воду, придатну для повторного використання та органічне мінеральне добриво у вигляді стабілізованого надлишкового активного мулу. Технологія дозволяє забезпечити високу мікробіологічну безпеку очищених стоків (ХСК > 80 %, жири > 90 %, ефективне видалення зважених і колоїдних речовин, бактерій, вірусів) за рахунок двоступінчатої безреагентної системи знезараження: мембрани не пропускають мікроорганізми і ультрафіолетове опромінення забезпечує додаткове знезараження води. Інтенсифікація процесу біологічного очищення за рахунок збільшення

концентрації біомаси. МБР-технологія працює при вищих концентраціях активного мулу – до 20 г/л замість 6 г/л в традиційних очисних спорудах, що дозволяє значно понизити їх об'єм і розміри у 2-3 рази. При вживанні мембранних біореакторів за рахунок зменшення кількості вмонтованого устаткування знижуються витрати на будівельно-монтажні роботи в середньому на 20 %; також зменшується енергоспоживання в 3-4 рази при обробці жирових відходів.

Ключові слова: СТІЧНІ ВОДИ, АЕРОБНЕ І АНАЕРОБНЕ ОЧИЩЕННЯ, МІКРООРГАНІЗМИ, МЕТАНОГЕНЕЗ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	11
1.1. Склад стічної води дріжджових виробництв	11
1.2. Аналіз аеробних методів очищення стічних вод	14
1.3. Аналіз анаеробних методів очищення стічних вод	17
1.4. Опис процесу метанового зброджування	22
1.5. Висновки до розділу	25
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	26
2.1. Типи біореакторів.....	26
2.1.1. Мембранний біореактор для очищення стічних вод	30
2.2. Види мембранних апаратів.....	32
2.2.1. Апарати рулонного типу	32
2.2.2. Апарати плоскорамного типу	33
2.2.3. Установки з порожнистими волокнами.....	34
2.3. Особливості анаеробної мікрофлори біореактора	35
2.4. Висновки до розділу	38
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ АНАЕРОБНОГО БІОФІЛЬТРУ	40
3.1. Перспективний розвиток використання мембранної системи	41
3.2. Конструктивні особливості мембранних модулів.....	43
3.3. Ефективність процесу біологічної очистки стічних вод при використанні МБР	46
3.3.1. Особливості МБР-технології	57
3.3.2. Вплив різних факторів на роботу МБР	59
3.4. Принцип роботи анаеробного біофільтру	62
3.5. Технічна характеристика МБР	63
3.6. Розрахунок параметрів ефективності біофільтру	64
3.6.1. Технологічний розрахунок.....	64
3.6.2. Матеріальний баланс	66
3.7. Висновки до розділу	68
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

ВСТУП

Вода – цінний природний ресурс. Вона грає виняткову роль у процесах обміну речовин, що становлять основу життя. Величезне значення вода має в промисловому і сільськогосподарському виробництві. Загальновідома необхідність її для побутових потреб людини, всіх рослин і тварин. Для багатьох живих істот вона служить середовищем існування [1].

Дефіцит прісної води вже зараз стає світовою проблемою. Дедалі зростаючі потреби промисловості і сільського господарства у воді змушують всі країни, вчених світу шукати різноманітні засоби для вирішення цієї проблеми. Спорудження біологічного очищення досить ефективні, проте не завжди задовільняють сучасним вимогам до скидання очищених стічних вод у водні об'єкти. У зв'язку з цим, питання інтенсифікації процесу, підвищення глибини очищення і економічної ефективності отримують зростаючий інтерес [2, 3]. Біологічна очистка широко застосовується як для очищення комунальних стічних вод великих міст, так і для приватних будинків. Основою конструкції біологічної очистки стічних вод є біореактор, де відбувається переробка та утилізація забруднень.

За останніх 15 років на світовому ринку з'явилися принципово нові типи ультра- і мікрофільтраційних мембран, зокрема полуволокнисті, які володіють високою пропускною спроможністю при низьких перепадах тиску. Поєднання біологічних і мембранних методів (для відділення очищеної води від активного мулу) в одній споруді має великі перспективи. Залежно від типу використовуваних мембран вони забезпечували видалення з води зважених речовин і частини колоїдних з'єднань. При цьому жодного впливу на параметри роботи біологічного реактора вони не робили. На сучасному етапі мембранне розділення включається безпосередньо в процес біологічного очищення замість вторинних відстійників, будучи безпосереднім елементом технології очищення і істотно впливаючи на параметри і умови функціонування біоценозу [4-7].

З 2003 року проводяться інтенсивні дослідження біомембранних процесів для очищення природних і стічних вод на лабораторних і пілотних стендах [8]. У очищеній

воді після біологічного очищення виробничих стічних вод присутні органічні речовини (продукти метаболізму, не окислені забруднення і т. і.), які відносяться до важкоокислюючих з'єднань. Ці води характеризуються високим значенням ХСК по відношенню до БСК. Відношення БСК до ХСК складає 0,02–0,1. Часто ці стоки мають високу колірність. Не дивлячись на те, що ХСК не нормується при скиданні біологічно очищених вод у водоймище, не рідко потрібний рівень доочистки для додаткового зниження ХСК. Біологічні методи доочистки не здатні якісно видаляти залишкове ХСК, БСК, зважені речовини, колірність, а фізико-хімічні методи не завжди застосовні із-за високих витрат на устаткування і реагенти [9].

Мембранні методи відносяться до порівняно невеликого переліку безреагентних методів, які ефективно реалізуються при температурі навколишнього середовища. До переваг цих методів можна віднести легкість процесу, простоту конструкції установок, економічність, повну автоматизацію.

І так, зараз, перспективним шляхом вирішення водогосподарських проблем є біомембранна технологія (БМТ) – сучасна технологія для очищення міських та промислових стічних вод, забруднених органічними речовинами. Технологія поєднує в собі комбінацію ультрафільтрації на порожнинних волокнах та традиційне біологічне очищення активним мулом [10]. Даний метод очищення стоків високоекономічний в експлуатації і забезпечує високу стабільну якість водоочистки і знезараження стічних вод з можливістю їх повторного використання для технічних цілей.

Мембранний біореактор (МБР) застосовується для ультратонкого очищення стічних вод, що не вимагає доочистки і знезараження. Основною відмінністю мембранного біореактора (МБР) від систем традиційного біологічного очищення в аеротенках є наявність мембранного модуля, який використовується для розділення суміші мула [11]. При цьому, розділення суміші мула здійснюється механічно на молекулярному рівні за допомогою ультрафільтраційних мембран.

Процес біологічного очищення здійснюється гетерогенно популяцією мікроорганізмів активного мулу, що використовують для своєї життєдіяльності багатокомпонентний субстрат. Видовий склад активного мулу специфічний та індивідуальний для кожного виду стічних вод і, головним чином, визначається якісним і

кількісним складом органічних і мінеральних забруднень, а також ступенем очищення [12, 17, 41].

Мулова суміш, що перебуває у аеротенку циркулює через мембранний модуль, омиваючи при цьому полуволокнисті мембрани. Ультрафільтраційні мембрани слугують для підвищення концентрації активного мулу в аеротенку і глибокої очистки оброблених стічних вод. Аеротенк в системі МБР працює з високою концентрацією активного мулу, тому його розміри в 2–3 рази менші розмірів класичного проточного аеротенка.

Мембранний блок активно аерується, здійснюється інтенсивна циркуляція мулової суміші з організацією постійного омивання мембран потоком повітря і муло-водяної суміші, що дає можливість ефективно керувати процесом мембранного фільтрування, підтримує мул у зваженому стані і сповільнює процес забруднення мембран. Мікроорганізми активного мулу не виносяться із системи МБР, тому біореактор працює в умовах високої концентрації біомаси значного віку. Крім цього, постійна циркуляція приводить до механічного впливу на оболонки бактерій. Саме тому основна енергія, що споживається бактеріями використовується не для розмноження (як це відбувається в класичних біотехнологіях), а витрачається для підтримки життєдіяльності, що призводить до зниження приросту надлишкової активної біомаси.

Стійкий режим роботи МБР становить при середньому віці мулу 10, 5, 4, 3, і 2 діб, що відповідає економічному коефіцієнту (F/M, food/microorganisms) 0,34, 0,55, 0,73, 0,84 і 1,41 гХСК/г мулу на добу, відповідно [13, 14].

Отже, зміна класичної технології очистки стічних вод полягає у відсутності споруд відстоювання і доочищення та заміною цих споруд на МБР. Мембрани не служать для фільтрації як у водопостачанні, а створюють умови для багаторазової автоселекції і адаптації мікроорганізмів.

Актуальність теми дипломної роботи полягає у використанні в Україні МБР-технології, яка може бути ефективно використана при реконструкції очисних споруд та як метод очищення стоків, що є високоекономічний в експлуатації і забезпечує високу стабільну якість водоочистки і знезараження стічних вод з можливістю їх повторного використання для технічних цілей.

В Україні більшість очисних споруд не забезпечують необхідного рівня очищення дріжджовмісних стічних вод. Для вирішення цієї проблеми проводять заходи щодо інтенсифікації роботи споруд біологічної очистки (аеротенків або біофільтрів) та будівництваспоруд доочищення, достатньою для скидання стічних вод у природні водойми. Тому у роботі ми розробили біомембранну технологію (МБР-технологію), яка може бути використана при реконструкції очисних споруд для очищення дріжджовмісних стічних вод необхідного ступеня очищення без суттєвого втручання в технологічну схему і роботу очисних споруд. Технологія є ефективною та високо-економічною в експлуатації і забезпечує високу стабільну якість водоочистки, знезараження стічних вод, а також дає можливість повторного використання води для технічних цілей. Також завдяки МБР-технології забезпечується здобуття питної води, відповідної сучасним стандартам.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності роботи анаеробного біофільтру при очищенні стічної води.

Для досягнення поставленої мети були розроблені **наступні завдання**:

1. Проаналізувати традиційні біологічні методи очищення стічних вод;
2. Дослідити конструкцію та принцип роботи біоенергетичних установок;
3. Розрахувати параметри ефективної роботи мембранного біореактора при очищенні дріжджовмісних стічних вод.

Об'єктом дослідження є процес удосконалення технології анаеробного методу очищення дріжджовмісних стічних вод з отриманням біомаси.

Предметом дослідження є процеси гідродинаміки в анаеробному біофільтрі з площинним завантаженням.

Об'єктом дослідження є анаеробний біофільтр.

Методи дослідження: аналітичні та математичні.

РОЗДІЛ I ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Традиційні біологічні методи очищення стічних вод

Очищення стічних вод промислових виробництв розрізняють за різними методами: механічними, фізико-хімічними, біологічними та термічними. До механічних методів відносяться такі методи: відстоювання, фільтрування, центрифугування і вони використовують в основному як попередні. До фізико-хімічних методів очищення відносяться: екстракція, евапорація, іонний обмін, коагуляція, флокуляція, сорбція, флотація, а також електрокоагуляція, електрофлотація.

Дуже значущим є біологічний спосіб для очищення стічних вод від органічних речовин, іонів важких металів, наприклад, від іонів хрому за допомогою бактерій, названих дехроматіканс, і деяких неорганічних речовин (H_2 , N_2 , NH_3). Процес заснований на мінералізації органічних речовин до простих мінеральних сполук, які знаходяться у воді як в розчиненому стані, так і в тонко диспергованому нерозчиненому і колоїдному стані, за допомогою спеціальних мікроорганізмів. Зараз відомі анаеробні (без участі кисню) та аеробні (з участю кисню) методи біологічного очищення.

Термічні методи застосовують для очищення дуже мінералізованих стічних вод, що містять солі кальцію, магнію, органічні домішки. Очищену воду отримують випаровуванням в спеціальних установках. В деяких випадках використовують вогненний метод, при якому стічні води розпилюють безпосередньо в гарячі газу. При цьому вода повністю випаровується, а органічні домішки згорають, мінеральні речовини перетворюються на тверді або розплавлені частинки, які потім уловлюються.

До сучасних методів очищення побутових стічних вод належить обробка стоків в магнітних і електричних полях; диспергування домішок, що містяться в стоках;

мембранні (ультрафільтрація, зворотний осмос, мікрофільтрація, випаро-вування через мембрани, діаліз, електродіаліз).

Біологічне очищення застосовується для очищення стічних вод більшості промислових і побутових стічних вод перед їх скиданням у водоймища.

Біологічне очищення стічних вод передбачає практично повне розкладання органічних сполук у воді. Заіснуючими нормами, вміст органічних речовин в очищеній воді не повинен перевищувати 10 мг/л.

Деградація органічних речовин мікроорганізмами в аеробних і анаеробних умовах здійснюється за різними енергетичними балансами сумарних реакцій. При аеробному біоокисненні глюкози 59 % енергії, що міститься в ній, витрачається на приріст біомаси і 41 % становлять теплові втрати. Цим обумовлюється активний ріст аеробних мікроорганізмів. Чим вища концентрація органічних речовин в оброблюваних стоках, тим сильніший розігрів, вища швидкість росту мікробної біомаси і накопичення надлишкового активного мулу. При анаеробній деградації глюкози з утворенням метану лише 8 % енергії витрачається на приріст біомаси, 3 % становлять теплові втрати і 89 % переходить в метан. Анаеробні мікроорганізми ростуть повільно і потребують високої концентрації субстрату [15-18].

Біологічні методи очищення стічних вод можуть бути розділені на два типи за видами мікроорганізмів:

- аеробні біологічні методи очищення (мікроорганізмам при їх життєдіяльності необхідний кисень);
- очищення стоків анаеробними мікроорганізмами (що живуть без кисню).

Проблема утилізації стоків – одна з найважливіших, що постають перед підприємствами харчової промисловості, зокрема спиртовими заводами. Серед ефективних засобів розв'язання завдання – згущення рідких стоків методом випарювання з них води. Дріжджовмісні стічні води – висококонцентровані й важкоокислювальні відходи. Для ефективного їх очищення застосовують різні методи – анаеробні, аеробні та фізико-хімічні.

У процесі комплексної переробки цукрової меліси на спирт, хлібопекарські й кормові дріжджі виникають стічні води з високим вмістом органічних речовин. Для

очищення цих вод найбільш економічно й екологічно прийнятні анаеробні процеси з отриманням цінного енергоносія – метану. Анаеробне очищення порівняно з аеробним має ряд переваг: менше витрачається електроенергії; приблизно у десять разів менший приріст біомаси, що обумовлює й менші витрати на обробку надлишкового мулу, який до того ж не потрібно стабілізувати; концентрація анаеробної біомаси лімітована лише її реологічними властивостями; анаеробні реактори стійкі до тривалих перерв у подачі стічної води, що дає змогу ефективно їх використовувати для очищення стоків сезонних виробництв [19].

Однак в анаеробних системах швидкість окислення значно менша, ніж у аеробних, що пояснюється невеликою швидкістю росту метаногенів. Тому робота теперешніх анаеробних реакторів опирається на принципі утримання біомаси в споруді, завдяки чому значно інтенсифікується процес очищення. Цьому сприяють великі дози мікроорганізмів [20-23].

При анаеробному очищенні концентрованих стічних вод застосовують різні типи очисних споруд, зокрема контактні метантенки. Ефективність анаеробного процесу оцінювалась за ступенем очищення, тривалістю перебування стоків у реакторі, навантаженням, тривалістю перебування стоків у реакторі, температурою та об'ємною швидкістю виходу біогазу.

Досліджено також мезофільний і термофільний режими очищення. Так, при 53 °С очищення відбувалося гірше, ніж при 35 °С. Анаеробне очищення реалізують методом складного біоценозу бактерій і з біохімічного погляду його проводять за 2 фази. Бактерії першої фази розщеплюють складні органічні речовини до більш простих (органічних кислот, спиртів тощо), бактерії ж другої фази перетворюють ці речовини в метан [24].

Встановлено, що граничний ступінь очищення стічних вод спиртових заводів в анаеробних реакторах по БПК 2000–3000 мг/л, тому потрібне ще аеробне доочищення метанової бражки. Подальші дослідження виявили, що стічну воду після анаеробної обробки, яка містила неокислені органічні речовини (до 4000 мг/л) можна очистити, не розбавляючи в аеротенках-змішувачах за двоступінчастою схемою.

Існуюче анаеробне і аеробне очищення стічних вод недосконале. Разом з викидами до водойм потрапляє чимало сполук азоту, фосфору, зольних елементів, барвників. Доочищають такі води в біологічних ставках, але більшість їх працює неефективно. Тому стоїть завдання створити технологію додаткового очищення стічних вод в біореакторах за допомогою спеціальних мікроводоростей-ціанобактерій [25].

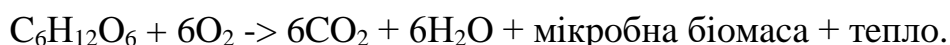
Практика підтверджує доцільність і ефективність застосування мікроводоростей (переважно хлорели) при доочищенні різних промислових і побутових стоків. Використання водоростей в різних типах очисних споруд (альготенки, біоставки тощо) свідчить про високу ефективність видалення стічних вод органо-мінеральних сполук, зменшення БПК і ХПК й одержання біомаси, придатної для кормових добавок. Ціанобактерії поєднують здатність до біоконверсії різних забруднювальних сполук з високою засвоюваністю і поживністю біомаси [1].

На цьому добу росту ціанобактерій амонійного азоту утилізовано 21–51 %, нітратного – 90–97 %, фосфору – 50–81 %. Забарвленість стічних вод знижується (залежно від виду культури) на 35–64 % при доочищенні стоків. За час культивування ціанобактерій ХПК знижувався на 45–71 %, а БПК – на 75–92 %. Адаптовані культури ціанобактерій здатні засвоювати із стічних вод спиртового виробництва сполуки азоту й фосфору, зменшувати їхню забарвленість, ХПК, БПК і водночас збагачувати культивоване середовище киснем.

Таким чином, комбіноване анаеробно-аеробне очищення стічних вод спиртозаводів дає змогу зменшити БПКП на 99,8 %, ХПК – на 87,7 %. Перед скиданням у водойми такі стічні води бажано доочищувати в біологічних ставках.

1.2. Аналіз аеробних методів очищення стічних вод

Аеробний процес використовується при очищенні побутових та промислових стічних вод (після локального очищення) зХСК не вище 1200 мг/дм³.



Аеробна мікрофауна представлена різноманітними мікроорганізмами, в основному бактеріями, які окислюють різні органічні речовини в більшості випадків незалежно один від одного, хоча окислювання деяких речовин здійснюється шляхом співокислення (кометаболізм). Аеробна мікробна фауна активного мулу систем аеробного очищення води представлена винятковим біорізноманіттям. В останні роки за допомогою нових молекулярно-біологічних методів, зокрема специфічних рРНК проб, в активному мулі показана присутність бактерій родів *Paracoccus*, *Caulobacter*, *Hyphomicrobium*, *Nitrobacter*, *Acinetobacter*, *Sphaerotilus*, *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Cytophaga*, *Flavobacterium*, *Flexibacter*, *Halisomenobacter*, *Artrobacter*, *Corynebacterium*, *Microtrix*, *Nocardia*, *Rhodococcus*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Staphylococcus*.

Однак, вважається, що до теперішнього часу ідентифіковано не більше 5 % видів мікроорганізмів, що беруть участь в аеробному біологічному очищенні стічних вод. Слід зазначити, що багато аеробних бактерій є факультативними анаеробами. Вони можуть рости при відсутності кисню зарахунок інших акцепторів електрона (анаеробне дихання) або бродіння (субстратне фосфорилування). Продуктами їхньої життєдіяльності є вуглекислота, водень, органічні кислоти і спирти [26-29].

Аеробне зброджування застосовується для біологічної обробки стічних вод з високим вмістом ХСК і є альтернативним рішенням при обробці побічних продуктів очищення (жирові відходи, осад).

Промислові відходи, що містять велику кількість жирів (1 г жирів = 3 г ХСК), викликають серйозні незручності при експлуатації очисних споруд – забивання, піноутворення, запахи, слабкий ефект відстоювання, недостатня дегідратація осаду і так далі.

Традиційним способом виділення жиру із стічних вод є флотація, в результаті якої утворюється флотошлам, флотопінаіосад. З метою зменшення кількості осаду (орієнтування на 50 %) фахівці компанії ICB Group використовують аеробне зброджування.

Залежно від кількості осаду, пропонується два типи аеробних біореакторів, виконаний з композитних матеріалів або неіржавіючої сталі залізобетону.



Із композитних матеріалів



Залізобетон

Рис. 1.1. Типи аеробних біореакторів

Переваги біореактора:

- компактність (реактор з композитних матеріалів для малих площ і невеликих будівельних споруд);
- скорочення енергоспоживання (скорочення енергоспоживання в 3–4 рази при обробці жирових відходів);
- повний контроль піноутворення (поглинання піни водяним каскадом);
- висока міра очищення (ХСК >80 %, жири >90 %);
- виключення засмічення (широкий прохід, відсутність мембранних повітряних дифузорів);
- комбінована обробка жирових відходів і зливних стоків;
- можливість переміщення реактора (реактори з композитних матеріалів або неіржавіючої сталі);
- скорочення витрат на оновлення устаткування (1 моторедуктор, відсутність мембранного повітряного дифузора і т.д.);
- спрощене технічне обслуговування (необхідність в ремонті може виникнути лише для моторного ротора; безпека оглядового містка, спрощений підймальний механізм);
- відсутність запахів (поглинання запахів і вступ неприємного повітря відбувається безпосередньо у середині реактора);

- асортимент стандартизованих установок (скорочення витрат на проектування, широкий асортимент установок) [30-32].

1.3. Аналіз анаеробних методів очищення стічних вод

Анаеробний процес використовується при очищенні промислових стічних вод з ХСК вище 1200 мг/дм^3 . Ефективність очищення за ХСК складає 70–80 % залежно від походження стічних вод.

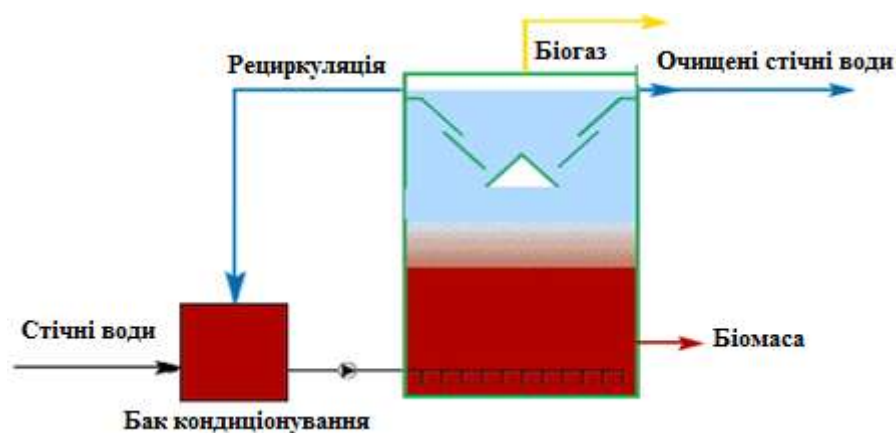


Рис. 1.2. Схема очищення стічних вод анаеробним методом

Особливістю мікробіологічного процесу деградації органічних речовин анаеробним методом, є утворення біогазу, який можна використовувати на підприємстві як джерело енергії. Біогаз представлений: метаном (60–90 % CH_4) і вуглекислотою (10–40 % CO_2).

Залежно від якості вихідних стічних вод можна використовувати два види анаеробних біореакторів: UASB-реакторі EGSB-реактор (рис. 1.3).



UASB-реактор



EGSB-реактор

Рис. 1.3. Види анаеробних біореакторів: UASB-реакторі EGSB-реактор

Залежно від кількості стічних вод можна застосовувати реактори послідовно-періодичної дії (РППД) або класичні системи аерації (вторинний для аеротенка відстійник), а також сучасні системи (мембранний біореактор (МБР)).

Реактори послідовно-періодичної дії найефективніше (з економічної точки зору) застосовувати для очисних споруд продуктивністю до 1000 м³/добу. РППД може складатися з однієї або декількох ємкостей, що працюють в циклічному режимі (рис. 1.4):

- фаза А – стічні води наповнюють ємкість і аеруються (фаза накопичення);
- фаза В – фаза, при якій відбувається аеробне очищення, при цьому подача стічних вод припиняється;
- фаза С – аерація припиняється, суміш мула відстоюється. При цьому, освітленні стічні води відводяться для подальшого очищення, а надлишковий активний мул відкачується і подається на механічне обезводнення [33].

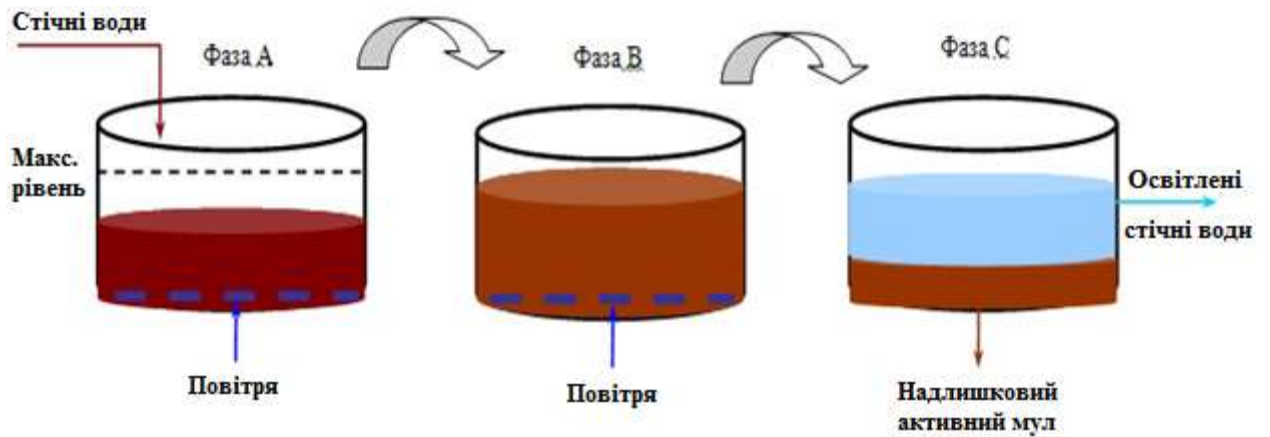


Рис. 1.4. Принципова технологічна схема очищення стічних вод в реакторах послідовно-періодичної дії

Класична схема аеробного очищення стічних вод (вторинний для аеротенка відстійник) (рис. 1.5):

- фаза А – анаеробна зона (зона перемішування стічних вод);
- фаза В – аеробна зона (зона аерації);
- фаза С – відстоювання (гравітаційне розділення суміші мула).

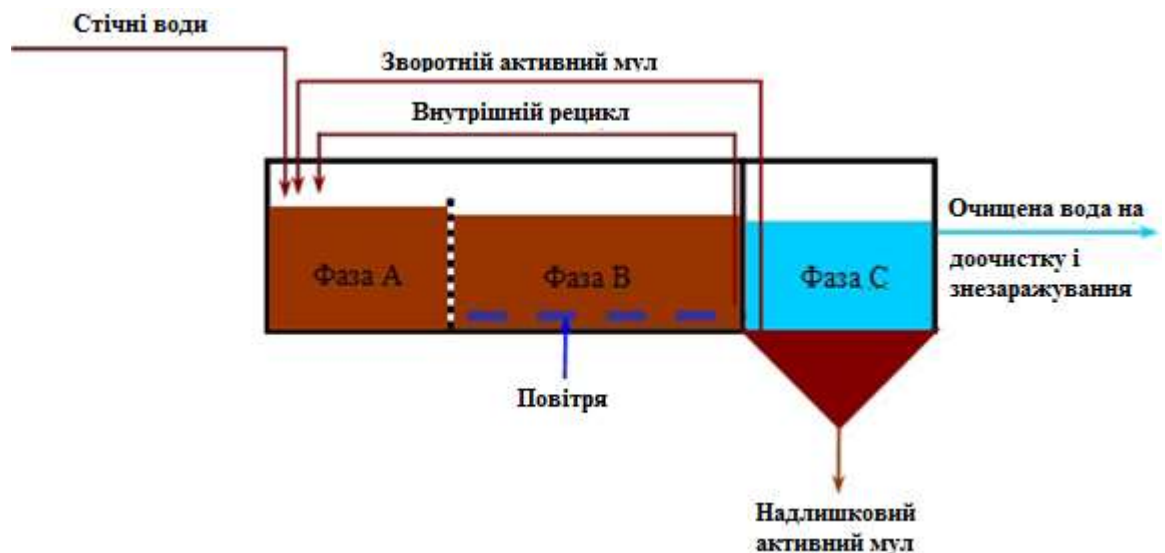


Рис. 1.5. Класична схема біологічного очищення стічних вод

МБР застосовується для ультратонкого очищення стічних вод, що не вимагає доочистки і знезараження. Основною відмінністю мембранного біореактора (МБР) від систем традиційного біологічного очищення в аеротенках є наявність

мембранного модуля, який використовується для розділення суміші мула. При цьому, розділення суміші мула здійснюється механічно на молекулярному рівні за допомогою ультрафільтраційних мембран.

Мембранні біореактори, що проектуються компанією ICB Group, можуть бути представлені, як в «зовнішнього» виконання, так і з погружними модулями. Вибір того або іншого способу установки мембранних модулів залежить від конкретних завдань (рис. 1.6- 1.7):

- фаза А – анаеробна зона (зона перемішування стічних вод);
- фаза В – аеробна зона (зона аерації);
- фаза С – ультратонке механічне розділення суміші мула.

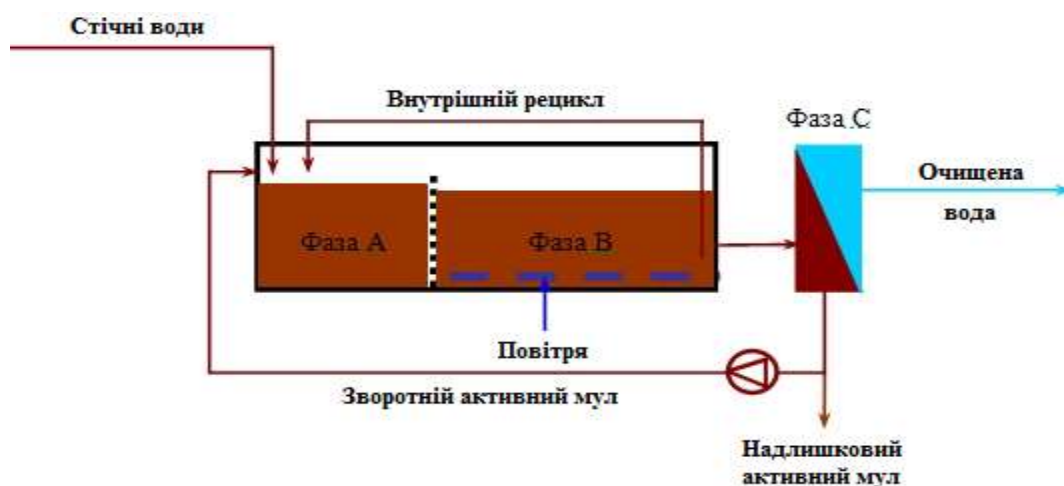


Рис. 1.6. Принципова технологічна схема очищення стічних вод в МБР з «зовнішнім» виконанням мембранних модулів

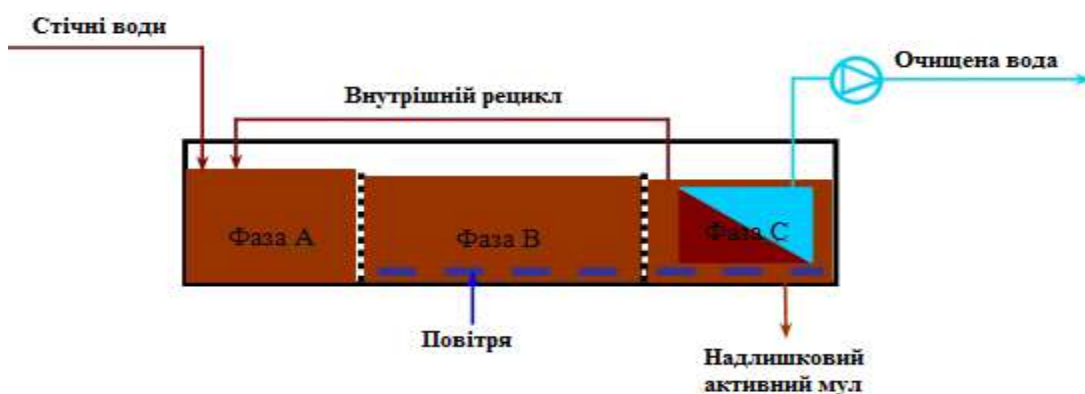


Рис.1.7. Принципова технологічна схема очищення стічних вод в МБР з погружними мембранними модулями

Переваги використання МБР:

- Дозволяє досягти високих показників ефективності очищення стічних вод:
 - зважені речовини: менше 1,0 мг/л;
 - видалення важких металів: до 80,0 %;
 - амонійний азот: більше 98 %;
 - ХСК: більше 98 %;
 - видалення вірусів: більше 99,9 %.
 - видалення бактерій: більше 99,999 %;
- Компактність, оскільки дозволяє:
 - зректися від гравітаційного методу розділення суміші мула, що дозволяє підвищити концентрацію активного мула в біореакторі до 10–20 г/дм³ (у класичному аеротенку – до 3,0 г/дм³) і зменшити об'єм аеротенка;
 - позбутися від необхідності використовувати доочистку і знезараження.
- Можливість роботи з висококонцентрованими стічними водами.
- Високі концентрації активного мула дозволяють експлуатувати біореактор в режимі низьких навантажень, що створює резерв окислюючої здатності. Переважання повільноростучої мікрофлори дозволяє значно знизити приріст активного мулу, і, отже, необхідні потужності устаткування зі зневоднення надлишкового активного мулу.
 - Розмір пластівців активного мула в 5–10 разів менший, ніж в поширених конструкціях аеротенків. Така дисперсність активного мула приводить до збільшення площі контакту мікроорганізмів із стічними водами, підвищуючи ефективність сорбції активним мулом інертних речовин, важких металів, мікробрудників.
 - Через те, що пори мембран мають більший розмір, чим розміри клітин мікроорганізмів, зокрема, бактерій, в МБР відбувається часткове знезараження води. Ефективність видалення бактерій складає 99,999 %, вірусів – 99,9 %. Безпосередньо після МБР очищена вода може бути відразу направлена на повторне використання для непитних цілей.
 - При необхідності мембранний модуль може бути виконаний в контейнері, що понизить витрати на капітальне будівництво.

Для очищення промислових стічних вод з високим вмістом ХСК і низьким вмістом жирів і зважених речовин до норм водоймища рибогосподарського призначення найдоцільніше використовувати метод анаеробно-аеробного очищення. В результаті анаеробно-аеробної обробки стічних вод ефективність очищення по ХСК складає 99,5 %. Перевага використання методу – утворюється набагато менша кількість надлишкового активного мула, що значно знижує витрати на його утилізацію [33, 34-35].



Рис. 1.8. Схема анаеробно-аеробного очищення на яву

1.4. Опис процесу метанового зброджування

«Метанове зброджування» відбувається при розкладанні органічних речовин у результаті життєдіяльності двох основних груп мікроорганізмів. Хоча в цьому складному комплексі перетворень бере участь безліч мікроорганізмів, за деяким даними – до тисячі видів, але головні з них все-таки метаноутворюючі бактерії. Вони значно повільніше розмножуються й більш чутливі до змін навколишнього середовища, ніж кислотоутворюючі мікроорганізми-бродильщики, тому спочатку в зброджуваному середовищі накопичуються летучі кислоти, а першу стадію метанового зброджування називають кислотною. Потім швидкості утворення й переробки кислот вирівнюються, так що надалі розкладання субстрату й утворення газу йдуть одночасно. І природно, від умов, які створюються для життєдіяльності метаноутворюючих бактерій, залежить інтенсивність газовиділення.



Рис. 1.9. Схема бродіння органічних речовин

При анаеробному зброджуванні органічні речовини трансформуються у відсутності кисню. Цей процес утворюється з двох етапів. На першому етапі складні органічні речовини (клітковина, білки, жири та ін.) під дією природного поєднання різноманітних видів анаеробних бактерій, розкладаються до більш простих сполук: летучих жирних кислот, нижчих спиртів, водню й окису вуглецю, метилового спирту, оцтової й мурашиної кислот.

На другому етапі метаноутворюючі мікроорганізми обертають органічні кислоти в метан, вуглекислий газ і воду.

Метанове бродіння здійснюється при середніх (мезофільне) і високих (термофільне) температурах. Найбільша продуктивність досягається при термофільному метановому бродінні. Особливість метанового бродіння дозволяє зробити процес зброджування безперервним.

Для оптимального протікання процесу анаеробного бродіння необхідні нормальні умови в реакторі: температура, анаеробні умови, достатня концентрація живильних речовин, припустимий діапазон значень рН, відсутність або низька концентрація токсичних речовин.

Температура в значній мірі впливає на анаеробне бродіння органічних матеріалів. Щонайкраще шумування відбувається при температурі 30-40°C (розвиток мезофільної бактеріальної флори), а також при температурі 50-60°C

(розвиток термофільної бактеріальної флори). Вибір мезофільного або термофільного режиму роботи ґрунтується на аналізі кліматичних умов.

Якщо для забезпечення термофільних температур необхідні значні витрати енергії, то більш ефективною буде експлуатація реакторів при мезофільних температурах.

Метанові бактерії проявляють свою життєдіяльність у межах температури 0-70°C. Якщо температура вище вони починають гинути, за винятком декількох штамів, які можуть жити при температурі середовища до 90°C. При мінусовій температурі вони виживають, але припиняють свою життєдіяльність. У літературі як нижню границю температури вказують 3-4°C.

Поряд з температурними умовами на процес метанового бродіння й кількість одержуваного біогазу впливає час обробки відходів. Біометан складається з 50-70% метану (CH₄), що утвориться з органічних субстанцій у результаті анаеробного і мікробіологічного процесів. Також до складу біометана входять 12-40% вуглекислого газу (CO₂) і невеликі кількості сірководню (H₂S), аміаку (N₂), водню (H₂) і оксиди вуглецю (CO).

Газ метантенків міських очисних каналізаційних споруд (КОС) характеризується більш стабільним складом [36].

Об'ємна частка основного горючого компонента –метану на різних очисних спорудах змінюється від 60 до 65%. Більш значні коливання складу газу можна спостерігати при переробці відходів сільського господарства, в яких об'ємна частка метану може змінюватись від 50 до 75%. Крім того, при зброджуванні сільськогосподарських відходів утворюється достатньо значна кількість сірководню (до 3%), тому біогаз перед використанням необхідно обов'язково очистити.

1.5. Висновки до розділу

1. Очищення дріжджовмісних стічних вод можна розділити на такі послідовні етапи: механічне, біологічне, фізико-хімічне знезараження.

2. Аеробне зброджування застосовується для біологічної обробки стічних вод з високим вмістом ХСК і є альтернативним рішенням при обробці побічних продуктів очищення (жирові відходи, осад).

3. Особливістю мікробіологічного процесу деградації органічних речовин анаеробним методом, є утворення біогазу, який можна використовувати на підприємстві як джерело енергії. Біогаз представлений: метаном (60–90 % CH_4) і вуглекислою (10–40 % CO_2).

4. Мембранний біореактор (МБР) застосовується для ультратонкого очищення стічних вод, що не вимагає доочистки і знезараження. При цьому, розділення суміші мула здійснюється механічно на молекулярному рівні за допомогою ультрафільтраційних мембран.

5. Використання мембранних біореакторів є найбільш перспективним напрямком для очищення промислових стічних вод.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

2.1. Типи біореакторів

З технічної точки зору розрізняють декілька варіантів біологічної очистки. На даний момент основними є активний мул (аеротенки), біофільтри, метантенки (анаеробне бродіння) і біореактори.

Біофільтр – це резервуар, в якому проходить доочистка стоків за допомогою аеробних бактерій. Біофільтри повторюють природні процеси очищення стоків, що відбуваються в ґрунті. Бактерії розмножуються всередині спеціального шару – завантаження. Шар завантаження складається зі стійких пористих матеріалів: коксу, керамзиту, шунгізиту. Шар обростає бактеріями – біоплівкою. Чим більша поверхня біоплівки, тим якісніше і швидше буде відбуватись очищення води. Вода подається порціями – 125 м³/год, зі швидкістю не більше 0,5 м/с, так як біофільтр чутливий до залпових скидів.

Після відстійника вода потрапляє у окремий відсік. Із цього відсіку невеликими порціями (щоб стоки краще очистились, так як під напором великої кількості стоків бактерії можуть не «справитись з завданням» або навіть загинути) стоки потрапляють у біофільтр. Бактерії біоплівки споживають органічні речовини, що містяться в стоках і переробляють їх на безпечні неорганічні речовини.

Переваги використання біофільтрів:

- компактність самого біофільтру;
- простота установки;
- для роботи не потрібна електроенергія;
- відсутність неприємного запаху.

Недоліки:

- відносно висока вартість;
- необхідність додавання біопрепаратів;

- необхідне додаткове знезараження стоків;
- висока чутливість до концентрації забруднення;
- висока чутливість до залпових скидів.

Орієнтовна вартість біофільтру складає близько 15 000 євро.

Аеротенк – це резервуар, в якому рухається суміш стоків та активного мулу. Активний мул для свого росту і розвитку споживає органічні речовини, що присутні у стічних водах, тим самим забезпечує якісну біологічну очистку [37].



Рис. 2.1. Аеротенки

В аеротенку біологічна очистка поєднується з безперервною подачею повітря. Це забезпечує швидке і якісне окиснення органічних речовин і їх розщеплення. В результаті роботи аеротенку утворюється очищена стічна вода, яку можна використовувати для технічних цілей і мул, який можна використовувати в якості добрива. Час перебування води в аеротенку – 7 годин.

Аеробний процес використовується при очищенні побутових і промислових стічних вод (після локального очищення) з ХСК не вище 1200,0 мг/дм³.

Переваги аеротенку:

- високий рівень очистки;
- немає неприємних запахів.

Недоліки:

- високий надлишок активного мулу;

- після аеротенку потрібна додаткова доочистка;
- потрібне додаткове знезараження води;
- висока вартість.

Вартість заводського аеротенку від 4,500 євро.

Метантенк – резервуар, де очищення стічної води проходить у безкисневому середовищі (бродиння). Вода, після попередньої очисти поступає на метантенк, де органічні речовини під дією анаеробних мікроорганізмів починають бродити, тим самим забезпечуючи очищення стічних вод. Під час бродиння утворюється газ – метан, який можна використовувати в якості енергоносія. Час перебування води – 24 години, що пов'язано з накопиченням біомаси [38].



Рис. 2.2. Метантенк

Анаеробний процес використовується при очищенні промислових стічних вод з ХСК вище 1200 мг/дм³.

Переваги:

- низька енергозатратність;
- високе навантаження;
- одержання енергоносія – метану;
- отримання знезараженої біомаси.

Недоліки:

- значні об'єми реакторів;
- досить висока вартість;
- тривалий період запуску, пов'язаний з накопиченням необхідної кількості біомаси;
- необхідність спорудження додаткових споруд (газозбірник, газоочисник);
- необхідність в знезаражуванні води.

Мембранний біореактор – резервуар, який поєднує в собі біологічну очистку активним мулом і ультрафільтрацію. Стічні води після механічної очистки поступають в МБР, куди подається активний мул, який розподіляється по всьому робочому об'єму реактору за допомогою аерації і утворює біоплівку на волокнах мембрани, тим самим забезпечуючи високу ефективність очистки. Після очищення стічна вода скидається у природну водойму – річку. Час перебування води в реакторі – до 6 годин.

Переваги:

- можлива установка в аеротенк;
- активний мул не виноситься;
- час контакту стічної води з активним мулом збільшується;
- не потрібна додаткова доочистка і знезараження.

Недоліки:

- утворення надлишку плівки через залишок поживних речовин в активному мулі;
- ріст біоплівки внаслідок наявності мікроорганізмів;
- утворення мінеральних осадів (твердість води).

Ці недоліки можна усунути хімічною очисткою, яка, в будь-якому випадку, потрібна для всіх систем. В якості реагенту, що гарантує безпеку, можна використовувати лимонну кислоту, яка є екологічно безпечною в порівнянні з хлорною водою. Частота промивання – 2 рази на рік [35].

Як видно з аналізу методів, альтернативною технологією біологічної очистки є мембранно-біологічна технологія очищення стічних вод з використанням мембранного біореактору.

2.1.1. Мембранний біореактор для очищення стічних вод

Сьогодні у багатьох промислово-розвинених країнах у сфері очищення стічних вод відбувається активне впровадження мембранних технологій та обладнання на їх основі. Мембранні біореактори (МБР) – одна з найбільш перспективних галузей, яка динамічно розвивається в промисловій технології.

Технологія МБР – це комбінування різних біохімічних і мембранних процесів. Мембранний біореактор (див. рис. 2.3) поєднує в собі процеси мікрофільтрації і ультрафільтрації, а також процеса аеробного біологічного очищення стічних вод. Мембрани (трубчасті, напівволокнисті та плоскорамні елементи) слугують в МБР як бар'єр, що дає можливість очистити воду від забруднень, які містяться в ній з високою селективністю (високомолекулярні сполуки, зважені речовини, мікроорганізмів активного мулу та ін.). Залежно від технологічних завдань мембранний біореактор може використовуватися як на етапі фінішної очистки (достадії знезараження), так і для попередньої очистки перед нанофільтрацією чи зворотнім осмосом при необхідності знесолення очищеної води.

Мембранний біореактор поєднує біологічну обробку активним мулом з механічною мембранною фільтрацією. Забруднені води, після первинного очищення від великих суспендованих твердих частинок, подаються в біореактор, де аеруючі органічні компоненти окислюються активним мулом. Потім водний розчин активного мулу проходить через блок мікро- (>0,1 мкм) і ультра- фільтрації (0,1–0,01 мкм), який являє собою касети порожніх фільтруючих мембран. Тобто суміш, що надходить з аеротенка, циркулює через мембранний модуль. Для організації фільтрації між внутрішнім простором мембран і простором мембранного блоку утворюється різниця тисків (0,01–0,06 МПа). У результаті відділення твердих колоїдних частинок на полуволокнистих мембранах концентрація активного мулу в

блоці мембранного біореактора в аеротенку підвищується, що сприяє глибокій біологічній очистці стоків і забезпечує зменшення об'єму аеротенка не менше, ніж у 2–3 рази [39].

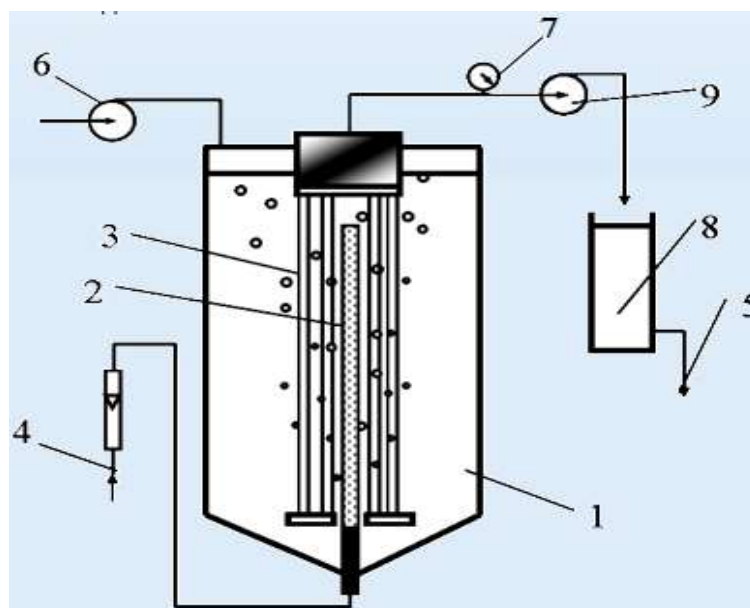


Рис. 2.3. Апаратурно-технологічна схема мембранного біореактора:
1 – реактор, 2 – аератор, 3 – напівволоконисті мембрани, 4 – повітря, 5 – очищена вода, 6, 9 – насоси, 7 – манометр, 8 – фільтрат

Мембранний блок активно аерується, здійснюється інтенсивна циркуляція мулової суміші з організацією постійного омивання мембран потоком повітря і мулово-водяної суміші, що дає можливість ефективно керувати процесом мембранного фільтрування, підтримує мул у зваженому стані і сповільнює процес забруднення мембран.

Мікроорганізми активного мулу не виносяться із системи МБР, тому біореактор працює в умовах високої концентрації біомаси значного віку. Крім цього, постійна циркуляція приводить до механічного впливу на оболонки бактерій. Саме тому основна енергія, що споживається бактеріями використовується не для розмноження (як це відбувається в класичних біотехнологіях), а витрачається для підтримки життєдіяльності, що призводить до зниження приросту надлишкової активної біомаси.

2.2. Види мембранних апаратів

Важливою характеристикою мембранних апаратів є щільність пакування мембрани – площа поверхні селективних мембран на одиницю об'єму апарату. Нижче наведені щільності пакування мембран в апаратах різних типів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Щільність мембран в апаратах різних типів

№ п/п	Типи мембранних апаратів	Щільність пакування мембран, м ² /м ³
1	Трубчасті	60–200
2	Рулонні	300–800
3	Плоскорамні	60–300
4	З порожніми волокнами	до 30000

2.2.1. Апарати рулонного типу

В апаратах рулонного типу одна або кілька мембран 3 укладені між дренажем 4 сіткою-сепаратором (рис. 2.4). Одна сторона такого фільтруючого матеріалу герметично закріплюється на трубці для відведення фільтрату 1, і весь матеріал згортається на цю трубку у вигляді рулону 2. Швидкість заміни фільтруючих елементів робить апарати рулонного типу зручними в обслуговуванні. Недоліками апаратів цього типу є високі гідравлічні опори і накопичення осаду в сітках-сепараторах.

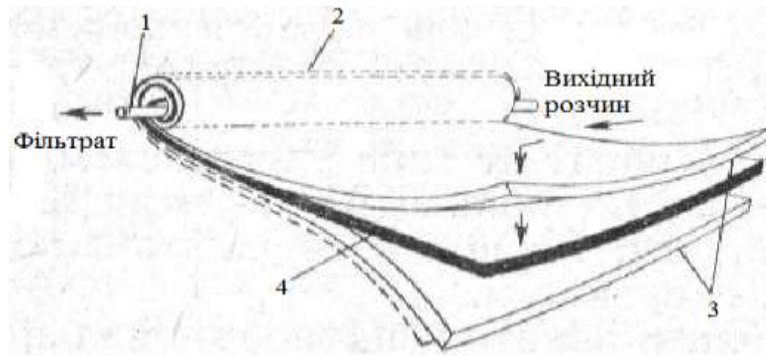


Рис. 2.4. Схема мембранного апарату рулонного типу:

1 – фланець; 2 – стяжка; 3 – корпус камери; 4 – пориста підкладка;
5 – селективна мембрана

2.2.2. Апарати плоскорамного типу

В апаратах плоскорамного типу опорні пластини з дренажними пристроями для відведення фільтрату покриваються з двох сторін селективними мембранами і збираються в пакет таким чином, що між ними утворюється щілинний канал для потоки вихідного розчину (рис. 2.5). Апарати плоскорамного типу відрізняються простотою збірки і надійністю роботи. Їх недоліками слід вважати нерівномірний розподіл розділяючого розчину в міжмембранних каналах, низьку щільність упаковки і високу матеріалоемність.

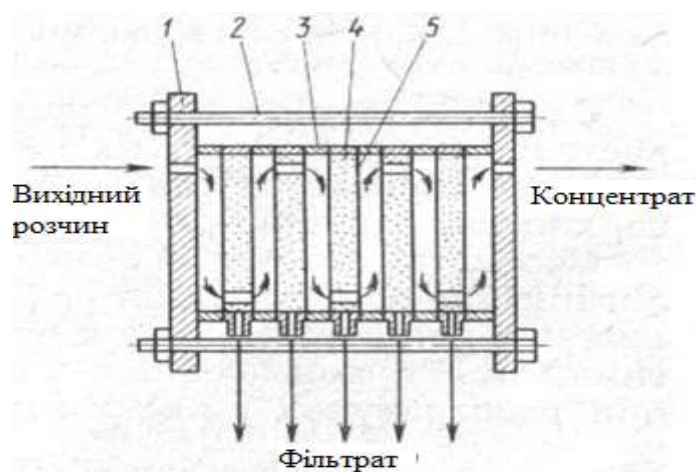


Рис. 2.5. Схема укладання селективних мембран в апараті рулонного типу

2.2.3. Установки з порожнистими волокнами

Апарати наоснові порожнистих волокон складаються з циліндричного корпусу, в який укладені наопорну трубку або без опори порожнисті волокна. З боків циліндра волокна закриті з одного або двох сторін плитами з епоксидної смоли. Апарати наоснові порожнистих волокон володіють дуже високою щільністю упаковки. Однак розчини, щорозділяються в апаратах наоснові порожнистих волокон, повинні бути особливо тонкоочищені, оскільки від їх попереднього очищення значно залежить ефективність процесу поділу.

Фірни «Дау Ремикл» і «Дюпон» розробили конструкції мікрофільтруючих блоків (рис. 2.6) з використанням порожнистого волокна з ацетатцелюлози і нейлону-12. Установка складається з пучків (по 10000 шт.) порожнистих волокон, поміщених в трубу-циліндр. Компактність їх упаковки досягає $10000 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Стінки порожнистих волокон служать напівпроникною мембраною. Рідина під тиском подається до пучка з боку корпусу, а ультрафільтрат виходить з обох кінців пучка.

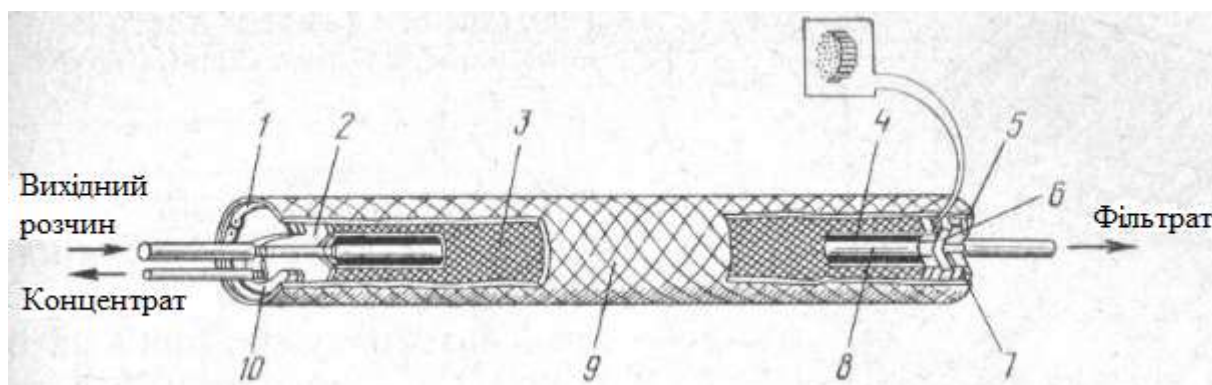


Рис. 2.6. Мембранний апарат наоснові порожнистих волокон:

- 1 – стопорне кільце; 2 – плита; 3 – захисна сітка; 4 – порожнисті волокна; 5 – плита з епоксидної смоли; 6 – підтримуючий пористий диск; 7, 10 – днище; 8 – перфорована розподільна трубка; 9 – корпус із скловолокна

Фірмою «Дюпон» випускаються установки продуктивністю від 5 до 1000 м³/добу. Фільтруючі елементи установки продуктивністю 24 м³/добу мають діаметр 240 і довжину 1220 мм. [40].

За кордоном для мембранного концентрування та очищення ферментних розчинів в основному застосовуються установки плоскорамного та трубчастого типів.

2.3. Особливості анаеробної мікрофлори біореактора

Анаероби є більш спеціалізованими в порівнянні з аеробними мікроорганізмами. Так, повна біоконверсія відходів в аеробних умовах відбувається за допомогою чистих культур, в той час як розкладання відходів до метану може відбуватися тільки при взаємодії декількох груп мікроорганізмів [12]. Анаеробне розкладання органічних речовин здійснюється як багатоступінчатий процес, в якому необхідна участь чотирьох груп мікроорганізмів: гідролітичних, бродильних (кислотоутворюючих), ацетогенних та метаногенних [3–19]. В анаеробному співіснуванні між мікроорганізмами існують складні і тісні взаємозв'язки, які мають аналоги в багатоклітинних організмах. Зважаючи на субстратну специфічність метаногенів, їх розвиток неможливий без трофічного зв'язку з мікроорганізмами попередніх стадій. Кінцеву роль в анаеробному перетворенні целюлози до метана відіграють метанові археї (рис. 2.7). При їх відсутності чи недостатці анаеробна біоконверсія закінчується на стадії кислотного і ацетогенного бродіння, що призводить до накопичення летючих жирних кислот (ЛЖК), в основному масляної, пропіонової і оцтової, зниженню рН та зупинці процесу.

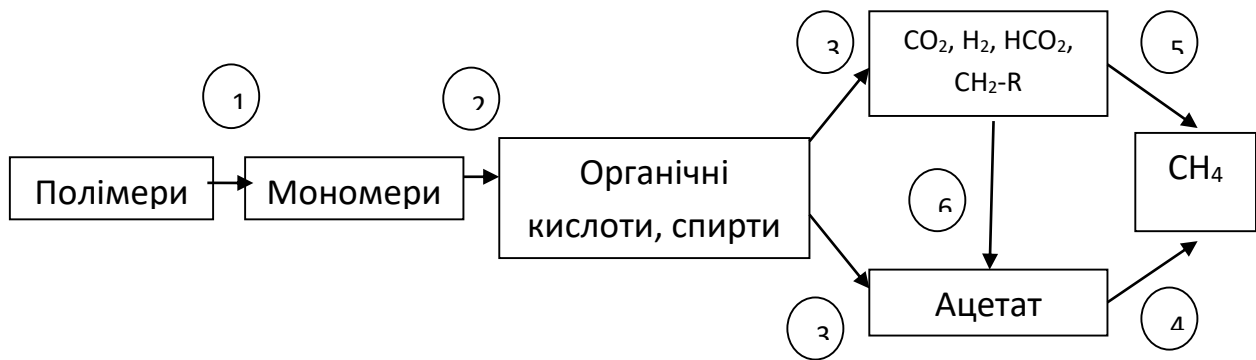


Рис. 2.7. Мікробіологічна схема деструкції органічних речовин до метану:
 1 – гідролітичні бактерії, 2 – бродильні, 3 – ацетогенні, 4 – метаногени, що розщеплюють ацетат, 5 – воденьокислюючі метаногени, 6 – гомоацетогени

Багато анаеробів характеризуються досить вузькою субстратною специфічністю в межах відповідних трофічних рівнів. Так, організми, що розкладають целюлозу, практично не можуть використовувати інші субстрати, окрім целюлози та целобіози. Більшість анаеробних ізолятів, які утилізують низькомолекулярні з'єднання, ростуть тільки на тих субстратах, які спочатку були використані для їх виділення [32].

Якщо присутність кисню є токсичною для клітин, такі мікроорганізми називають облигатними анаеробами. Якщо організми можуть жити як в присутності кисню так і без нього, їх називають факультативними анаеробами. Енергію для життєдіяльності отримують, окислюючи органічні, рідше неорганічні речовини без участі вільного кисню, або використовуючи енергію світла. Якщо при анаеробному диханні окислюються органічні сполуки, що містять в своєму складі кисень, такий процес називається бродінням. Це найбільш поширений спосіб отримання енергії серед анаеробів. Під час бродіння окислюються як правило вуглеводи з утворенням спиртів або органічних кислот як кінцевих продуктів метаболізму. З неорганічних сполук може окислюватись сірка та залізо. Анаероби дуже поширені у природі та живуть там, де не можуть жити аероби: в ґрунті, під водою, в кишковому тракті

вищих тварин. Деякі анаероби є збудниками небезпечних захворювань людини (ботулізм, гострі кишкові інфекції, та інші) [18].

В лабораторних умовах анаеробів вирощують в спеціальних приладах — анаеростатах, або в пробірках під шаром олії.

Для отримання біогазу застосовують такі групи мікроорганізмів як: психрофіли, мезофіли, термофіли. Психрофіли – мікроби, які люблять холод. Найнижчі температури для них – у межах від -10 до 0 °C, оптимальні – від 10 до 15 °C та максимальні – близько 30 °C. Місце проживання психрофітів – у холодних морях і океанах, ґрунтах полярних країн, льодах, на заморожених продуктах тощо.

Мезофіли – це мікроорганізми, для яких мінімальними температурами є у межах від 0 до 10 °C, оптимальні – близько 25-35 °C, а максимальні – 40—50 °C. До таких мікроорганізмів належать більшість сапрофітних і патогенних мікроорганізмів, наприклад, протей, стафілокок, кишкова паличка та інші.

Термофіли – це група теплолюбних мікроорганізмів, які можуть розвиватися при відносно високих температурах.

Слід відмітити, що мезофіли чутливі до підвищення температури до 50-55°C. При цьому відбувається денатурація ферментних білків бактеріальної клітини, що приводить до загибелі організму [19, 41].

При температурі нижче оптимальної на 5-10°C бактерії не гинуть, але їх розмноження затримується у зв'язку з гальмуванням обміну речовин. Для збереження вегетативних форм бактерій при зниженій температурі застосовують речовини з високою в'язкістю, які охороняють цитоплазму бактеріальної клітини від руйнування кристалами льоду. Такі речовини називають кріопротектори. До таких речовин відносяться желатин, розчин альбуміну, гліцерин, 40% розчин сахарози. Кріопротектори використовують для тривалого зберігання культур бактерій при мінусових температурах, а також при ліофільному висушуванні мікроорганізмів.

Термофіли – це група теплолюбних мікробів, які можуть розвиватися при відносно високих температурах. Природа термофілії досі ще не розкрита.

Висловлюються припущення, що ліпіди відіграють певну роль у молекулярних механізмах термофілії, сприяючи термостабільності мембран, і що нижня

температурна межа росту термофілів визначається температурою плавлення мембранних ліпідів. За іншою гіпотезою, визначальна роль у термофіла належить ферментним білкам, а саме: основні температурні точки термофілів залежать від конформації одного або декількох основних ферментів [20].

Використання певних груп мікроорганізмів може дати певні плюси і мінуси. Наприклад, коли використовують психофіли або мезофіли, то можливо отримати біогаз в меншій кількості, але на підтримання температурного режиму у метантенку буде витрачено менше отриманого біогазу. Відповідно, менше можна отримати біогазу, але і менше буде затрачено на підтримку оптимального режиму мікроорганізмів:

- психофіли 10 - 15 °C
- мезофіли 25 - 35 °C

Також відмітемо, що час отримання буде більший і розкладання органічних речовин відбувається частково. А якщо використовувати термофіли, то можливо отримати більшу кількість біогазу, але більшу кількість буде затрачено для досягнення оптимального режиму термофілів – до 55 - 65 °C.

2.4. Висновки дорозділу

1. З технічної точки зору розрізняють декілька варіантів біологічної очистки. На даний момент основними є активний мул (аеротенки), біофільтри, метантенки (анаеробне бродіння) і біореактори.

Мембранні біореактори – це спеціальні прилади, що використовуються для очищення господарсько-побутових стічних вод. Мембранний біореактор поєднує біологічну обробку активним мулом з механічною мембранною фільтрацією.

2. В основі дії МБР закладений принцип комбінування традиційного способу біологічної очистки стоків і мембранного поділу, яке здійснюється за допомогою ультра- і мікрофільтраційних мембран. Ці елементи досить малі за своїм розміром (від 0,01 до 0,1 мкм), що сприяє практично повному видаленню зі стічних вод всіх суспензій і домішок.

3. Аерація здійснюється стисненим повітрям за допомогою аераційних систем (повітродувок). Залежно від необхідної продуктивності мембранні модулі об'єднуються в мембранний блок. Число мембранних модулів у блоці може бути збільшено при виникненні необхідності підвищення продуктивності системи.

4. Мікроорганізми активного мулу не виносяться із системи МБР, тому біореактор працює в умовах високої концентрації біомаси значного віку. Кількість надлишкового активного мулу в МВР-системах на 20–50 % менше порівняно з класичною технологією, що істотно знижує витрати на його утилізацію.

5. Існують такі види мембранних апаратів: трубчасті, рулонні, плоскорамні та з порожніми волокнами.

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕННЯ АНАЕРОБНОГО БІОФІЛЬТРУ

На сьогоднішній день все актуальніше постає питання у застосуванні сучасних технологій біологічного очищення дріжджовмісних стічної води і як доцільний приклад розглядається мембранний біореактор.

Сучасні конструкції біореакторів досить різноманітні. Утримання біомаси в них відбувається за допомогою внутрішніх спеціальних перегородок, або за допомогою іммобілізації на матеріалах-носіях. Реактори виконуються з залізобетону або металу і не містять нестандартного обладнання, яке потребує заводського виготовлення. Компактність, повна герметичність і невеликі габарити біореакторів дозволяють встановлювати їх не тільки на майданчику очисних споруд, але і на території підприємств і навіть в середині виробничих приміщень. Процес очищення простий в керуванні і може бути повністю автоматизованим. Кількість необхідних параметрів, які необхідно контролювати, мінімальна – температура, рН і ХСК очищеного стоку. Великою перевагою є здатність біореакторів зберігати біологічну активність без подачі нових порцій води на очистку.

Характерною особливістю технології є виключно малий приріст мулу, який становить не більше 5–10 % від маси видалених при очищенні забруднень. В той же час при очищенні стічних вод в аеротенку, тільки кількість циркуляційного (зворотного) мулу складає по об'єму 30–50 % від витрат води, що очищається. Кількість надлишкового активного мулу в аеротенках також відносно висока (табл. 3.1, 3.2) і при його вологості 99,2–99,6 % складає 4 л/добу на одну людину. Крім того, мул після біореактора легше зневоднюється [26, 42-45].

Таблиця 3.1

Кількість надлишкового активного мулу в аеротенках при повному очищенні стічних вод

БСКп г/м ³ очищених стічних вод	15	20	25
Кількість надлишкового активного мулу на 1 м ³ рідини, г сухої речовини	160	200	220

Кількість надлишкового активного мулу в аеротенках при неповній очистці стічних вод

Зниження БСКп стічних вод, %	80	70	60	50
Кількість надлишкового активного мулу на 1 м ³ рідини, г сухої речовини	220	210	190	170

Як видно з таблиць, зі збільшенням органічного забруднення у стічних водах відбувається інтенсивне збільшення подачі активного мулу, що в свою чергу підвищує показник БСКп та надлишок активного мулу. При використанні мембранного біореактору кількість надлишкового активного мулу зменшується за рахунок збільшення часу його контакту з водою.

3.1. Перспективний розвиток використання мембранної системи

Великі території очисних споруд, використання хімічних реагентів та технологічно складний процес очищення стічних вод створює необхідність для розробки більш ефективних та економічно вигідних апаратів.

В Україні, як і за кордоном, застосування мембранного біореактору набуває все більшого застосування, що підтверджується великою кількістю патентів на винахід. Так, пристрій для очищення стічних вод, що містить аеробний біореактор, виконаний у вигляді окремих модулів з неповними перегородками всередині для запобігання випадковому виносу забруднень. Розділення пристрою на окремі модулі забезпечує проживання різних груп гідробіонтів, що дозволяє використовувати їх здатність до очищення найбільш ефективно [23, 46].

Модулі з'єднані між собою горизонтальними трубами для транспорту води.

Необхідність у використанні сучасного обладнання для біологічної очистки обумовлено тим, що проведення окислювальних процесів в одному аеротенку не забезпечує ефективної очистки, оскільки в ньому присутня обмежена кількість гідробіонтів, які пристосовані до одного рівня забруднення. Технічний результат винаходу полягає у компактності пристрою та підвищенні надійності технологічного

процесу. Споживчі властивості винаходу пов'язані з технічним результатом – скорочення кількості відходів та викидів у навколишнє природне середовище, зменшення площі очисної споруди.

Даний мембранний апарат нескладний у виготовленні та експлуатації, а організація руху розділюваної суміші зовні кожного мембранного елемента, а також відведення пермеату через додаткові канали елемента збільшують питому поверхню мембранних елементів, а отже підвищують продуктивність апарату [30, 47].

При реконструкції дійсних споруд біологічної очистки стічних вод використання біореакторів дозволяє мінімальними додатковими затратами в кілька разів підвищити потужність станції. Загальна собівартість аеробної технології в біореакторах значно нижче традиційної, а надійність і якість очищення стоків вище (ХСК знижується на 90–95 % і БСКп на 90–98 %) [24, 48-51].

Мембранний біореактор (МБР) застосовується для ультратонкого очищення стічних вод, що не вимагає доочистки і знезараження. Основною відмінністю мембранного біореактора (МБР) від систем традиційного біологічного очищення в аеротенках є наявність мембранного модуля, який використовується для розділення суміші мулу. При цьому, розділення суміші мулу здійснюється механічно на молекулярному рівні за допомогою ультрафільтраційних мембран.

Вперше технологію МБР відкрила компанія Eimco Water Technologies, яка, безумовно, є піонером в області розробки апаратурного оформлення технології МБР. Саме вона в 1966 році першою випустила на ринок МБР-продукт – плоскорамні мембранні модулі, що розташовувались поза біореактором.

Спочатку на очисних спорудах з використанням технології МБР застосовувалася напірна мембранна фільтрація. В цьому випадку реалізувалося традиційне для баромембранного процесу апаратурне оформлення, що дозволяє здійснювати режим напірної фільтрації потоку суспензії забруднень в очищеній воді, яка подається з аеротенка.

Однак використання такого апаратурного оформлення не дозволяло використовувати технології МБР у високопродуктивних системах внаслідок високої споживаної потужності насосного обладнання, тому технологія МБР отримала більш

широке поширення для очищення природних, господарсько-побутових і промислових стічних вод лише після розробки глибоких мембранних пристроїв. При такій реалізації процесу мембранне обладнання розташовується безпосередньо в біореакторі (в більшості випадків в зоні аеробного очищення). Рушійною силою процесу в цьому випадку є перепад тисків, який досягається, як правило, вакуумом підмембранного простору. За різними оцінками, в 97–99 % всіх існуючих МБР-установках використовуються глибокі мембранні елементи та модулі [18, 27, 52].

3.2. Конструктивні особливості мембранних модулів

На сьогодні розроблено багато різних конструкцій мембранних модулів, в залежності від того, де і для чого вони будуть використовуватись. Своє застосування вони знайшли при очищенні стічних вод як на малих підприємствах, так і на міських очисних спорудах.

При використанні мембранних модулів потрібно особливу увагу звертати на перегородки між ними, бо саме вони забезпечують надійність конструкції, оскільки вода, що надходить на очищення, може деформувати мембрани, вони можуть вигинатись, переплітатись між собою. При розташуванні перегородок між мембранними елементами, які вигинаються, але в межах перегородки, виключається їх контакт між собою, що підвищує термін їх служби і надійність апарату в цілому. Крім того, вони роблять неможливим збільшення довжини мембран під дією тиску води [24, 53].

У технології МБР використовуються мембранні модулі наступних основних конструкцій (рис. 3.1, 3.2)



a



б



в

Рис. 3.1. Основні конструкції мембранних модулів:

a – поволоконні; *б* – плоскі; *в* – трубчасті.



Рис. 3.2. Поволоконний мембранний модуль компанії Siemens

У табл. 3.3 наведено коротке якісне зіставлення різних типів мембранних модулів, засноване на їх конструктивних особливостях. Як видно з табл. 3.3,

половолоконні мембранні модулі володіють найбільш високою щільністю упаковки, низькою матеріаломісткістю і мінімально вартістю.

Мабуть, саме в зв'язку з цим вони знаходять найбільш широке застосування як в режимі безнапірної погрузної, так і в режимі традиційної напірної фільтрації.

Таблиця 3.3

Порівняння мембранних модулів різних конструкцій

Параметр	Характеристики		
	половолоконна	плоска	трубчаста
Тип мембрани	половолоконна	плоска	трубчаста
Матеріал мембрани	полімерний	полімерний	полімерний/ неорганічний
Щільність упаковки мембран, м ² /м ³	300–600	50–150	<300
Матеріалоемність	мінімальна	максимальна	середня
Питомапотужність мембрани	середня	висока	низька
Механічні властивості	максимальні	середні	мінімальні
Схильність до забруднення	мінімальна	середня	максимальна
Стійкість до зворотних гідравлічних промивок	середня	низька	максимальна
Можливість заміни мембран	немає	є	є
Вартість	мінімальна	середня	максимальна

Мембрани для мембранного біореактору виготовляються з наступних матеріалів: поліетилен, полівініліденфторид, поліефірсульфон, поліпропілен, рідше хлорований поліетилен, полісульфон, поліакрилонітрил та ін. У деяких випадках в мембранних біореакторах застосовуються керамічні мембрани з оксиду алюмінію, титану, цирконію [54-57].

Плоскорамні мембранні елементи являють собою дві плоскі мембрани, розділені дренажем і загерметизовані по периметру. Однією з унікальних особливостей мембранних модулів на основі плоскорамних елементів є можливість їх ефективної роботи під дією гравітаційних сил. Таким чином, вони мають оптимальний набір експлуатаційних характеристик і на їх основі можуть проектуватися як комплектні (блочно-модульні), так і стаціонарні очисні споруди високої продуктивності.

Конструкція трубчастих мембранних модулів аналогічна пристрою трубчастих теплообмінних апаратів, що обумовлює досить низьку щільність упаковки і максимальну схильність до забруднення, а також можливість заміни мембран. Елементи даного типу застосовуються як в режимі напірної, так і глибинної фільтрації.

Згідно з останніми даними, найбільшими постачальниками МБР-обладнання є:

- GE Water & Process Technologies / ex. Zenon Environmental Inc.;
- Kubota;
- Mitsubishi-Rayon;
- Siemens Water Technologies / ex. USFilter;
- Toray Industries Inc.

За узагальненими даними цих постачальників, в даний час у світі працює понад 2500 установок МБР. Середня продуктивність установок МБР для очищення виробничих стічних вод становить від 180 до 2500 м³/добу. У компактних станціях біологічного очищення застосовуються занурені блоки МБР. Для відновлення вихідних характеристик таких мембран та для видалення органічних і мінеральних відкладень на волокнах передбачені системи очищення. Промивання мембранних блоків здійснюється автоматично циркуляційним насосом з використанням реагентів (лимонна кислота) [34, 58].

3.3. Ефективність процесу біологічної очистки стічних вод при використанні МБР

Основною відмінністю мембранного біореактор авідсистеми традиційної біологічної очистки аеротенка є наявність мембранного модуля, який успішно використовується для поділу мулової суміші і являє собою альтернативу широко розповсюдженого методу осадження активного мулу у вторинних відстійниках.

Мембранний модуль складається з 10–20 касет з мембранами. У кожній такій касеті може розташовуватись від 5 до 15 пучків мембранних волокон. Волокниста мембрана являє собою порожнисту нитку з зовнішнім діаметром 2 мм і довжиною від 2 м. Поверхня нитки являє собою ультрафільтраційну мембрану з розміром пір 0,01–0,1 мкм.

Кожен пучок складається з 100–1000 мембранних волокон і обладнаний загальним патрубком відведення фільтрату. Настільки малий розмір пір є фізичним бар'єром для проникнення організмів активного мулу, що мають розмір більше 0,5 мкм, що дозволяє повністю відокремити активний мул від стічної води і знизити концентрацію завислих речовин в очищеній воді до 3 мг/л і менше.

Фільтрація відбувається під дією вакууму, що створюється на внутрішній поверхні мембранного волокна. При цьому суміш стічних вод і активного мулу фільтрується через поверхню мембран ззовні всередину. Очищена вода надходить по напірним трубопроводам, а активний мул залишається в мембранному резервуарі та підтримується в зваженому стані за допомогою системи аерації, вбудованою в мембранний модуль [24, 31, 59].

Принцип дії мембранного біореактору заснований на ефективному розподілі муловодяної суспензії методом мікро- (>0,1 мкм) і ультрафільтрації (0,1–0,01 мкм) в системі порожнистих полімерних мембран. Суміш, що надходить в аеротенк, циркулює через мембранний модуль. Для організації фільтрації між внутрішньою порожниною мембран і простором мембранного блоку створюється різниця тисків (0,01–0,06 МПа).

В результаті відділення твердих і колоїдних частинок на волокнистих мембранах концентрація активного мулу в блоці мембранного біореактора і в аеротенках підвищується, що сприяє глибокій біологічній очистці стоків.

Мембранний блок активно аерується, здійснюється інтенсивна циркуляція мулової суміші з організацією постійного омивання мембран потоком повітря і муловодяної суміші, що дає можливість ефективно управляти процесом мембранного фільтрування, підтримує мул в завислому стані і уповільнює процес засмічення мембран.

Мембранний біореактор працює в умовах високої концентрації біомаси, змушеної витрачати свою енергію на підтримку життєдіяльності, що призводить до зниження її приросту (концентрація мулу в реакторі складає 10–20 мг/л проти 2–3 мг/л в звичайному аеротенку). Кількість надлишкового активного мулу в мембранних системах на 20–50% менше в порівнянні з класичною технологією, що істотно знижує витрати на його утилізацію. В залежності від типу використаних мембран, МБР-технологія одночасно забезпечує необхідне знезараження очищеної води. Технологія поєднує в собі ультрафільтрацію на порожнистих волокнах і традиційну біологічну очистку активним мулом (рис. 3.3).

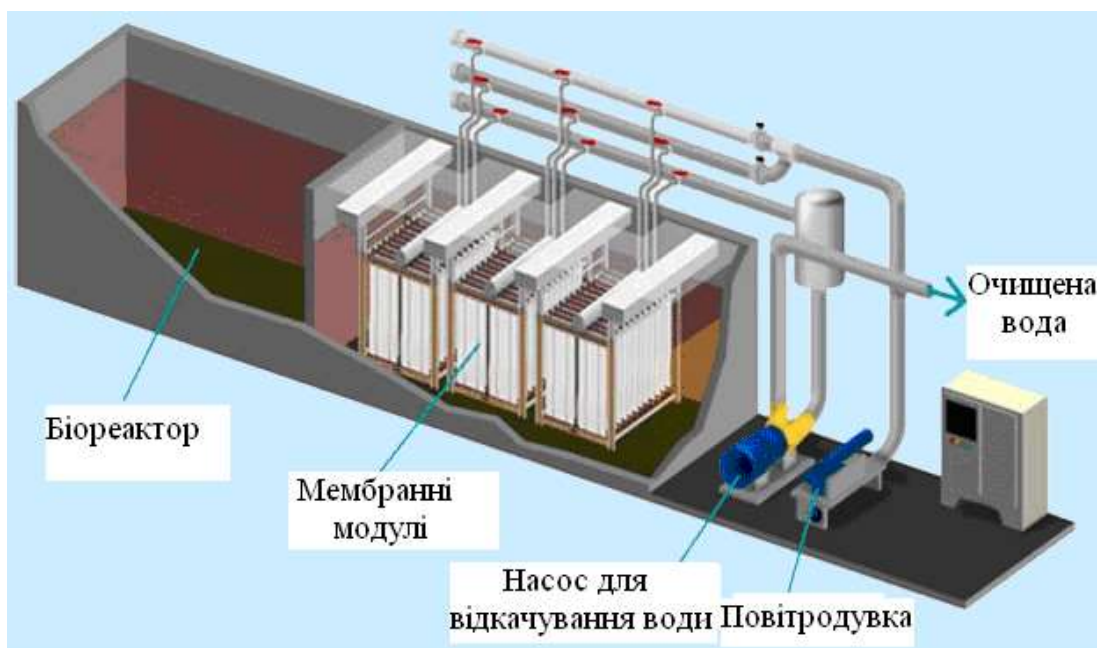


Рис. 3.3. Процес очищення води за допомогою МБР

Система МБР складається з аеротенка або метантенка та мембранного модуля, обладнаного полуволонними ультрафільтраційними мембранами.

Після очищення механічним методом стічні води надходять в аеротенк. Мулова суміш циркулює через мембранний модуль.

Ультрафільтраційні мембрани служать для підвищення концентрації активного мулу в аеротенках та глибокої очистки забруднених стічних вод. Аеротенк в системі МБР працює з високою концентрацією активного мулу, тому його розміри в 2–3 рази менше розмірів класичного проточного аеротенка. Загальний вигляд та розріз апарату наведений на листі 3.

Аерування здійснюється за допомогою стисненого повітря з використанням аераційних систем (повітродувок). В залежності від необхідної продуктивності, мембранні модулі об'єднують в мембранний блок. Найчастіше мембранних модулів в блоці можуть збільшити, якщо виникає необхідність підвищення продуктивності системи.

Мікроби активного мулу не виносяться з системи мембран, тому біореактор працює в умовах високої концентрації біомаси. Крім того, постійна циркуляція призводить до механічного впливу на оболонки бактерій. Саме тому основна енергія, що споживається бактеріями, використовується не для розмноження (як це відбувається за класичними схемами), а витрачається для підтримання життєдіяльності, що дозволяє знизити приріст надлишкової активної біомаси [31, 60-61].

Здатність бактерій використовувати в процесі своєї життєдіяльності в якості харчування різні органічні і мінеральні речовини стічних вод є основою процесів біологічної очистки.

Деякі мікроорганізми приймають участь в декількох етапах розкладу речовин: можуть використовувати білки, а потім вуглеводи, окислювати спирти, а потім альдегіди, елементарний, а потім зв'язаний азот і т.п. Проте деякі мікроорганізми можуть споживати тільки певні речовини, не використовуючи інші. Одні види мікроорганізмів можуть вести окислення органічних речовин до кінця – до утворення вуглекислого газу і води, інші – до проміжних продуктів, які в свою чергу можуть бути субстратом для інших видів мікроорганізмів. Тому при очищенні стічних вод, які містять різноманітні органічні і мінеральні речовини, використовують змішану

культуру мікроорганізмів, яка володіє широким спектром фізіологічних можливостей і стійкістю до впливу внутрішніх факторів.

Умовна хімічна формула активного мулу, яка коливається в залежності від умов процесу очистки, має вигляд $C_{54}H_{212}O_{82}N_8S_7$. Основними хімічними сполуками органічної речовини мулу є білки – 56–58 %, жири – 21–22 %, вуглеводи – 4–5 % від загальної органічної речовини активного мулу. Зазвичай в аеротенках підтримується доза активного мулу 1,5–3 г/л, а при благоприємних умовах до 4–6 г/л. Кількість розчиненого кисню, що надходить до мулової суміші, має бути достатньою для окислення органічної речовини. Концентрація кисню в муловій суміші для підтримання оптимальних умов очищення повинна бути не нижче 2 мг/л. Негативну дію на фізіологічний стан активного мулу дає недостатня кількість біогенних елементів: азоту, фосфору, калію, магнію, кальцію, сірки і інших.

Як правило, в господарсько-побутових стічних водах цього недоліку не буває, більш того, ці елементи, особливо азот і фосфор, знаходяться в надлишку і основна задача полягає в тому, щоб видалити їх з води [2, 4].

Ефективність очищення стічних вод активним мулом в значній мірі залежить від температури води. Оптимальний діапазон температур 20–25 °С.

Підвищення температури, особливо різке, до 28 °С і вище призводить до зміни структури активного мулу і погіршення седиментаційних властивостей. Значно частіше на очисні споруди подається вода з пониженою температурою. При низькій температурі сповільнюється швидкість окислення органічних речовин, швидкість адаптації мікроорганізмів до забруднюючих речовин.

По існуючим нормативам на біологічну очистку не варто подавати стічну воду з температурою нижче 6 °С.

На фізіологічну активність активного мулу впливає і величина рН. При рН середовища менше 6 і більше 9 ефективність очищення стічних вод різко знижується, що пояснюється впливом активної реакції середовища на швидкість ферментативних процесів. В умовах різко лужного чи кислого середовища може відбутися незворотна денатурація білків бактеріальної клітини. Величина рН стічної води близько 7. Для ефективної денітрифікації необхідна присутність легкоокиснюючих речовин

(спиртів, низькомолекулярних органічних кислот) в якості джерела вуглецю. Для цієї цілі може бути використана неочищена стічна вода, кількість якої визначається із необхідного співвідношення вмісту органічної речовини по БСК і нітратного азоту, рівного (3–6): 1 або активний мул [13].

Поступово на волокнах мембранного апарату формується біоплівка.

Біоплівка – складний шар мікроорганізмів, що характеризується виділенням позаклітинної матриці, яка утримує мікроорганізми разом, виконує захисні функції та допомагає прикріплятися до поверхонь. Біоплівки також звичайно характеризуються прикріпленням до твердої поверхні, структурною різноманітністю, значним генетичним різноманіттям, складними взаємодіями в межах угруповання і позаклітинною матрицею, складеною з полімерних речовин.

Більшість моделей біоплівки походить з двомірної структури шару. При цьому біоплівка розділяється на шари, в яких розташовуються різні форми живих істот і мікроорганізмів. Вони беруть на себе вирішення різних задач, наприклад, розклад різних речовин, що містяться у стічній воді.

При аналізі такого розподілу можливо, наприклад, встановити, що аеробні мікроорганізми розташовуються переважно в місцях, що близькі до поверхні, а анаероби розташовуються на нижніх частинах біоплівки.

В анаеробно – аеробних умовах, що чергуються, гетеротрофні і автотрофні мікроорганізми конкурують всередині біоплівки за простір та кисень. Гетеротрофні мікроорганізми, що швидко ростуть, розташовуються на зовнішньому рівні, а автотрофи (нітрифікатори) – у внутрішніх зонах біоплівки. В самому ж центрі розташовуються фосфат – акумулюючі мікроорганізми – денітрифікатори [5].

Утворення біоплівки починається з прикріплення вільно плаваючих мікроорганізмів до поверхні. Ці перші колоністи спочатку прикріпляються до поверхні через слабкі Ван-дер-Вальсові взаємодії. Багато мікроорганізмів прикріпляються міцніше за рахунок призначених для цього позаклітинних структур, наприклад, ворсинок.

Перші колоністи полегшують прикріплення інших клітин, забезпечуючи найрізноманітніші міжклітинні взаємодії та починають будувати позаклітинну

матрицю, яка тримає біоплівку разом. Деякі види не можуть прикріпитися до поверхні самостійно, але можуть прикріпитися до матриці або безпосередньо до раніших колоністів. Як тільки колонізація почалася, біоплівка росте через комбінацію ділення клітин та зовнішнього поповнення.

При наявності достатніх ресурсів для зростання, біоплівка швидко ростиме, стаючи макроскопічною. Біоплівка може містити багато різних видів мікроорганізмів, наприклад бактерій, архей, найпростіших (інфузорія) і водоростей, багатоклітинних тварин (коловратки, черви, личинки комах); кожна група виконує специфічні метаболічні функції. До числа самих поширених бактерій відносяться псевдомонади (50–88 %) всього бактеріального населення, практично завжди присутні актиноміцети, гриби та дріжджі. Функції найпростіших: харчуючись бактеріями, вони регулюють їх чисельність, виконують санітарну функцію, з'їдаючи патогенні мікроорганізми. При аерації стічної води перш за все починають розмножуватись амеби та джгутикові простіші. Черви в якості джерела харчування споживають біоплівку. Основна маса чарв розвивається в нижній частині реактору, куди з поверхні волокон змивається відмерла біоплівка. Також черви забезпечують доступ кисню до глибоких шарів плівки прориваючи ходи, тим самим роблять її рихлою, що полегшує проходження води під час очищення та промивки.

Біоплівка тримається разом і захищається матрицею складеною з виділених полімерних сумішей, що називаються позаклітинними полісахаридами. Ця матриця захищає клітини в межах біоплівки і полегшує комунікацію серед них через біохімічні сигнали. Деякі біоплівки містять водні канали, що допомагають в передачі сигналів та живильних речовин. Ця матриця достатньо міцна, тому за певних умов біоплівка може стати скам'янілою.

Бактерії, що звичайно живуть в біоплівках, мають значно відмінні властивості від вільно плаваючих бактерій тих же видів, оскільки щільне і захищене оточення біоплівки дозволяє їм співпрацювати різними шляхами. Одна з переваг від цього оточення – збільшений опір (резистентність) детергентам і антибіотикам, оскільки щільна позаклітинна матриця і зовнішній шар клітин захищають внутрішні зони

угруповання. У деяких випадках опір антибіотикам може бути збільшений у 1000 разів [10,37].

На різних етапах очистки, при різних умовах її проведення, переважають різні групи простіших, що дозволяє з більшою ступінню імовірності використовувати їх в якості індикаторних організмів і робити висновок про повноту очищення. Наприклад, в умовах роботи реакторів в режимі повного окислення з інтенсивним процесом аерації в біоплівці активного мулу в масовій кількості присутні такі простіші, як кругловікові інфузорії, а також коловратки та малоцетинкові черви. При органічному перевантаженні або недостатності кисню з'являються інші простіші – безкольорові джгутикові, рівновійкові інфузорії, що переносять підвищену концентрацію органічних забруднень і дефіцит кисню у воді.

Товщина біоплівки залежить від гідравлічного навантаження, концентрації органічних речовин, від пористості і питомої поверхні матеріалу, впливу зовнішнього середовища. В нормально працюючому біореакторі загальна товщина біоплівки на мембранах може складати від кількох мікрон до 3–6 мм.

Механізм вилучення органічних речовин зі стічних вод і їх переробка мікроорганізмами дуже складний і до кінця не вивчений. Згідно сучасним теоріям його можна описати трьома послідовними стадіями:

- масообмін і сорбція субстрату на поверхні мікроорганізмів;
- дифузія субстрату через клітинну мембрану;
- метаболізм субстрату в клітинах.

Суспендовані речовини і великі молекули в розчині потрібно завчасно зруйнувати, щоб вони могли легко проходити крізь клітинну оболонку. Ці руйнування проходять за допомогою ферментів, які виділяють бактерії. Для руйнування складної суміші органічних речовин необхідно 80–100 різних ферментів. В середині клітини хімічні сполуки піддаються різним анаболітичним та катаболітичним перетворенням. Анаболітичні перетворення приводять до синтезу нових клітинних компонентів, а катаболітичні є джерелом необхідної для клітини енергії.

Таким чином, в процесі метаболічних реакції проходить перетворення забруднень в прості сполуки (вода, мінеральні сполуки і гази), в результаті чого зі стічної води видаляються органічні забруднення, проходять процеси нітрифікації та денітрифікації і збільшується маса активної біологічної плівки [32].

Слід також відмітити, що сумарна поверхня мікроорганізмів досягає 100 м на 1 г сухої речовини мулу, що в свою чергу пояснює велику сорбційну здатність мулу і необхідність в ефективному перемішуванні вмісту споруди.

З інженерної точки зору визначальними для технологічного і конструктивного оформлення процесу біологічної очистки є швидкість вилучення забруднень з води, що очищається, тобто власне процесу очистки води і швидкості біохімічного розкладу забруднень. В зв'язку з цим особливий інтерес представляють основні закономірності розвитку колоній мікроорганізмів, що контактує з рідиною, яка має поживні речовини, при достатньому забезпеченні розчиненим киснем. В цьому розвитку можна виділити наступні фази:

I – лаг-фаза, або фаза адаптації, яка спостерігається відразу після змішування з водою, і в якій практично не відбувається приросту біомаси. Тривалість цієї фази залежить від природи органічних речовин і ступеню адаптації мікроорганізмів до них, так і від умов проходження процесу;

II – фаза експоненціального (прискореного) росту мікроорганізмів, в якій надлишок поживних речовин і відсутність (або досить незначна присутність) продуктів обміну речовин сприяють підтриманню максимально можливої в даних умовах швидкості розмноження клітин;

III – фаза уповільненого росту, в якій швидкість росту біомаси починає все більше сповільнюватись по мірі зменшення поживних речовин і накопиченню продуктів метаболізму;

IV – фаза нульового росту (припинення росту), в якій спостерігається практично стаціонарний стан в кількості біомаси, що свідчить про рівновагу між наявністю поживних речовин і накопиченою біомасою;

V – фаза ендогенного дихання (фаза самоокислення), в якій через недостатність харчування починається відмирання та розпад клітин, що призводить до зниження загальної кількості біомаси (рис. 3.4) [37].

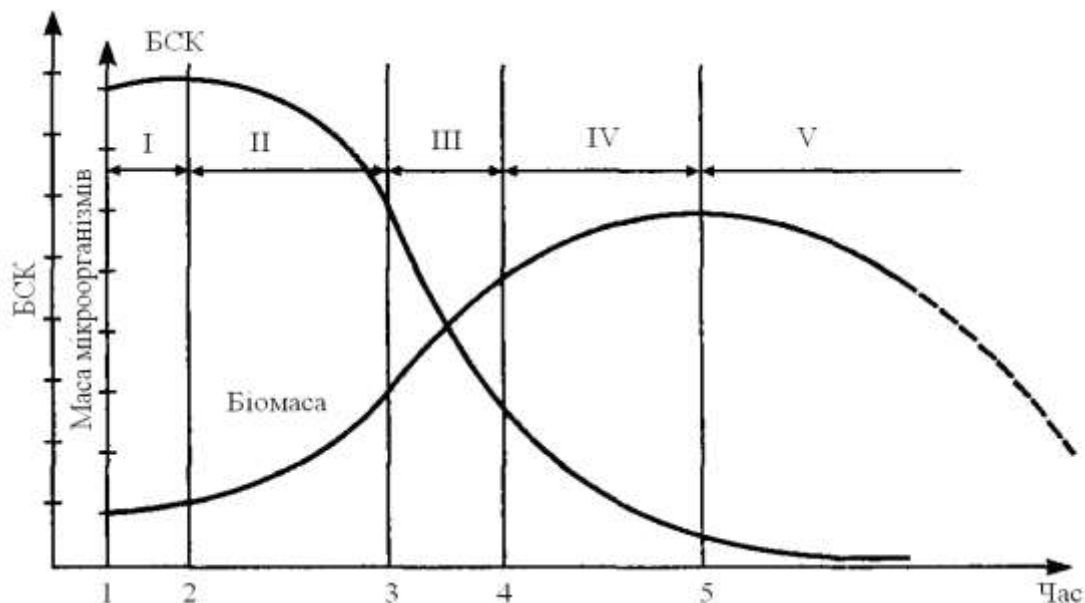


Рис. 3.4. Залежність приросту біомаси в аеробних умовах від концентрації поживних речовин

На рис. 3.4 показано, що відміченим фазам росту мікробної біомаси відповідає динаміка зміни концентрації поживних речовин, виражених через БСК. Звідси випливають наступні висновки:

- при біологічній очистці значна частина забруднень, що міститься в стічних водах, трансформується в біологічну масу, або, іншими словами розчинені і інертні завислі органічні речовини в результаті метаболічної активності мікроорганізмів і сорбційної здатності активного мулу перетворюються в біологічну масу;
- тривалість вилучення і окислення органічних речовин, що містяться у воді буде тим коротше, чим довше маса мікроорганізмів буде в контакті з ними;
- при зниженні вмісту органічних речовин у воді, що очищається, нижче визначеної межі життєдіяльність мікроорганізмів продовжується, але уже або за рахунок накопичених поживних речовин, або за рахунок їх власної маси.

Концентрація забруднень в стічній воді в спорудах з МБР набагато нижча, ніж після традиційних споруд, що працюють за схемою «аеротенк/метантенк – вторинний відстійник» (табл.3.4).

Ефективність очищення в схемі з мембранним біореактором

Найменування	Одиниці виміру	Ефективність очистки	Якість очищеної води
Завислі речовини	мг/л	>97	3
ХСК	мг/л	80–98	15–20
БСК ₅	мг/л	>98	3
N-NH ₄	мг/л	80–90	1
Загальний азот	мг/л	36–80	10
Загальний фосфор	мг/л	62–90	0,2–1
Нафтопродукти	мг/л	>96	0,05–1
Коліформні	КУО/100 мл	>99,9	10

Для відновлення проникності мембран при експлуатації МБР застосовується обробка розчинами реагентів, в основному, окиснювачами – так звана хімічна промивка. Реагенти, які використовуються – гіпохлорид натрію концентрацією 0,2–1 % або лимонна кислота (0,2–0,3 %). Періодичність цієї процедури становить у середньому 1 раз на 6 місяців. Профілактична обробка гіпохлоридом натрію може здійснюватися більш регулярно – кілька разів на місяць. Напірні модулі промиваються шляхом циркуляції розчину реагенту, що подається насосом з окремого бака, а глибинні модулі або переміщують в окрему спеціальну ємність, або промивають на місці. За тривалістю процедура займає близько 1,5–2 години [35].

Біореактор, розроблений російсько-українською фірмою «Комплект-екологія», застосовується для очищення стічних вод від органічних забруднень і може бути встановлений на станціях біологічної очистки з потужністю від 120 до 55000 м³/добу.

Очисні споруди з використанням таких біореакторів мають наступні переваги:

- висока ступінь очистки стічних вод (табл. 2.5);
- простота і надійність в експлуатації;
- компактність (зайнята площа 34–95,2 м²);
- можливість до розширення;

- мінімальні затрати на підключення;
- відсутність неприємних запахів;
- висока стійкість до коливання навантаження;
- мінімальна кількість надлишкового активного мулу;
- низьке споживання електроенергії (2–14 кВт·год/м³);
- не потребує кваліфікованого обслуговування.

Таблиця 3.5

Проектна ефективність очищення стічних вод в МБР

№ п/п	Назва показників	Потужність, м ³ /добу	
		6000	14324
1	Колоїдні домішки, мг/л	3	5–7
2	БСКп, мг О ₂ /л	3	3–6
3	Азот амонійний, мг/л	0,4	2–4
4	Нітрати, мг/л	1–2	4–6
5	Фосфати, мг/л	<0,2	1,2
6	Жири, мг/л	<1	<5
7	ХСК, мг О ₂ /л	15–20	30

Ефективність очистки стічної води значно підвищується, показники повністю відповідають встановленим вимогам, навіть при збільшенні кількості стічних вод показники, що нормуються, не виходять за їх межі.

3.3.1. Особливості МБР-технології

Кожна удосконалена технологія має свої особливості. При експлуатації мембранного біореактору особливості наступні:

- вирішена проблема виносу активного мулу з очищеними стічними водами. Еквівалентний діаметр пір ультра- і мікрофільтраційних мембран знаходиться в

межах 0,01–0,1 мкм. Враховуючи той факт, що розмір бактерій та простіших, що входять до складу активного мулу, перевищує 5 мкм, мембрана є фізичним бар'єром на шляху проникнення організмів активного мулу у водні об'єкти з очищеними стічними водами, що дозволяє повністю відділити активний мул від стічної води і знизити концентрацію завислих речовин в очищеній воді до 3 мг/л;

- попередження виносу у водні об'єкти біогенних елементів з завислими речовинами. Мембранне розділення мулової суміші дозволяє запобігти виносу азоту та фосфору у складі дисперсних пластівців активного мулу, що відбувається в схемах з вторинним відстійником;

- високі концентрації активного мулу дозволяють експлуатувати біореактор в режимі низьких навантажень, що створює резерв окислювальної здатності, підвищує стійкість біоценозу активного мулу до коливань складу стічних вод і піковим навантаженням, забезпечує стабільну якість очищення. З іншого боку, високі концентрації активного мулу багаторазово підвищують окислюючу потужність споруди в цілому, що дає можливість очищати висококонцентровані стічні води із вмістом органічних речовин по ХСК до 4–5 г/л;

- при переході від гравітаційного методу поділу мулової суміші до мембранної фільтрації спостерігаються глибокі зміни в структурі біоценозу активного мулу. Вік мулу в МБР зазвичай становить 25–30 діб, нерідко перевищуючи 60–70 діб. При цьому основна частина активного мулу представлена повільно зростаючою мікрофлорою, яка найбільш ефективно розкладає важко окислюючі органічні речовини в стічній воді. Наявність такої мікрофлори дозволяє значно знизити приріст активного мулу, і, отже, необхідні потужності устаткування для зневоднення надлишкового активного мулу;

- розмір пластівців активного мулу в МБР в 5–10 разів менше, ніж в поширених конструкціях аеротенків. Така дисперсність активного мулу призводить до збільшення площі контакту мікроорганізмів зі стічними водами, підвищуючи ефективність сорбції активними мулом інертних речовин, важких металів, мікробруднювачів;

- внаслідок того, що пори мембран мають менший розмір, ніж розміри клітин мікроорганізмів, зокрема, бактерій, в МБР відбувається часткове знезараження води. Безпосередньо після МБР очищена вода може бути відразу направлена на повторне використання для не питної цілі;

- високі дози мулу дозволяють скоротити час перебування стічних вод в споруді. Як наслідок, площа, яку займає МБР, в 2–4 рази менше площі, займаної традиційними спорудами біологічної очистки [42].

3.3.2. Вплив різних факторів на роботу МБР

Очевидно, що в порівнянні з традиційною технологією мембрани є найбільш вразливою ланкою в системі, тому коротко розглянемо, які фактори впливають на їх роботу.

1. Матеріал мембран. Вибір матеріалу диктується стійкістю до забруднення речовинами, що містяться в оброблюваних стічних водах (зокрема, міжклітинними органічними речовинами – полісахаридами і протеїнами), а також хімічної стійкістю при проведенні реагентних промивок мембранних модулів. Задовольняючи першу вимогу, більшість мембран володіють гідрофобними властивостями. Заряд мембрани також впливає на ступінь її забруднення (наприклад мембрани з нейтральним зарядом стійкіші до відкладень бактерій групи *E.Coli*, що мають на поверхні позитивно і негативно заряджені групи). Для поліпшення характеристик мембран виробники піддають модифікації їх поверхню, вводять різні добавки в рецептуру хімічного складу їх матеріалу. Тому мембрани різних виробників, виготовлених з одного і того матеріалу, наприклад полівініліденфториду, можуть мати помітні відмінності в характеристиках.

Необхідно мати на увазі, що, по-перше, шар забруднень значно зменшує вплив матеріалу мембрани на ступінь її подальшого забруднення, а, по-друге, важливим є здатність мембрани відновлювати свою проникність після хімічної або гідравлічної промивки.

2. Розмір пір мембран не має вирішального значення: мікрофільтри з розміром пір 0,1–1 мкм і ультрафільтри з розміром пір 0,01–0,1 мкм показують практично однакову ефективність у відокремленні завислих речовин і мікроорганізмів, яка тим більше коливається при накопиченні шару осаду на поверхні мембрани в процесі фільтрування. Зменшення розміру пір, за висновками ряду досліджень, покращує стійкість мембрани до забруднення, а при гідравлічних очистках краще видаляється шар осаду з її поверхні.

Мембрани з більш великими порами мають більшу проникність, але зниження їх продуктивності в процесі роботи значно більше. Крім того, якщо стоїть завдання затримання вірусів, то краще використовувати мембрани з розміром пір менше 0,1 мкм.

3. Проникність мембрани (потік пермеату). Потік через мембрану є основним фактором, що впливає на швидкість утворення осаду на її поверхні. Існує поняття «критичного потоку», при перевищенні якого зростання осаду стає неприпустимим для нормального функціонування мембранного модуля.

Багато МБР працюють з постійною продуктивністю, яка досягається регулюванням трансмембранного тиску. Підвищення тиску на мембрані в процесі роботи викликає ущільнення осаду та збільшення його опору. При експлуатації мембранних установок слід уникати досягнення значного падіння проникності і своєчасно проводити гідравлічні і хімічні промивки.

4. Продування повітрям (аерація мембран). Головним способом контролювати процес забруднення мембран служить продування їх бульбашками повітря, які зривають відкладення з поверхні мембран і перемішують рідину, покращуючи масообмін. Витрати на аерацію/продувку повітрям – одна з основних складових експлуатаційних витрат в МБР. Витрата повітря для мембранного модуля становить 2–14 м³/год на м³. Ця величина залежить від об'єму рідини навколо мембран, питомої площі мембран, інтенсивності потоку повітря.

5. Швидкість руху фільтрованої рідини біля поверхні: для глибинних мембранних модулів підвищення швидкості руху рідини не робить істотного позитивного впливу на видалення забруднень з поверхні мембран, навпаки, тут може

мати місце порушення потоків повітряних бульбашок і зменшення ефективності продувки повітрям. Для напірних трубчастих модулів підвищення швидкості руху рідини всередині трубчастих мембран, навпаки, дозволяє зменшити утворення осаду, підвищити продуктивність, однак енергетично більш вигідно поєднувати цей прийом з продувкою повітрям (наприклад, технологія «AirLift» компанії Pentair).

6. Гідравлічні промивки. Промивання зворотним струмом фільтрату – дієвий інструмент для боротьби з утворенням осаду, історично прийшов з ультрафільтраційних установок для очищення природних вод. Як правило, модулі з плоскими мембранами (за винятком рулонних конструкцій) не допускають зворотних промивок. Інтервали між зворотними промивками та їх тривалість лежать в межах 10–60 хвилин і 15–300 секунд відповідно. В МБР застосовують також імпульсну промивку (1 раз в декілька секунд).

7. Природа і склад вхідних стічних вод. Наявність в стічній рідині великої кількості легко біорозкладної органіки сприяє утворенню більшої кількості позаклітинних полімерних речовин (полісахариди, протеїни), які засмічують ультрафільтраційні мембрани. Оскільки мембрани можуть затримувати всі завислі речовини, а також частково полісахариди і протеїни, концентрація цих речовин в біореакторі зростає, що викликає підвищення опору утворених осадів.

Збільшення віку мулу сприяє зменшенню забруднення мембран за рахунок зниження вмісту полісахаридів в мулі. Відзначається також, що в умовах недостатнього харчування адгезія клітин активного мулу на поверхні мембран стає нижче. На думку ряду дослідників, явище адгезії бактерій на поверхні мембран і подальше їх зростання сприяє зменшенню незворотного забруднення мембран іншими компонентами і додаткової доочистки стічної води [24, 26].

3.4. Принцип роботи анаеробного біофільтру

На рисунку 3.5 представлена принципова схема роботи анаеробного біофільтра.

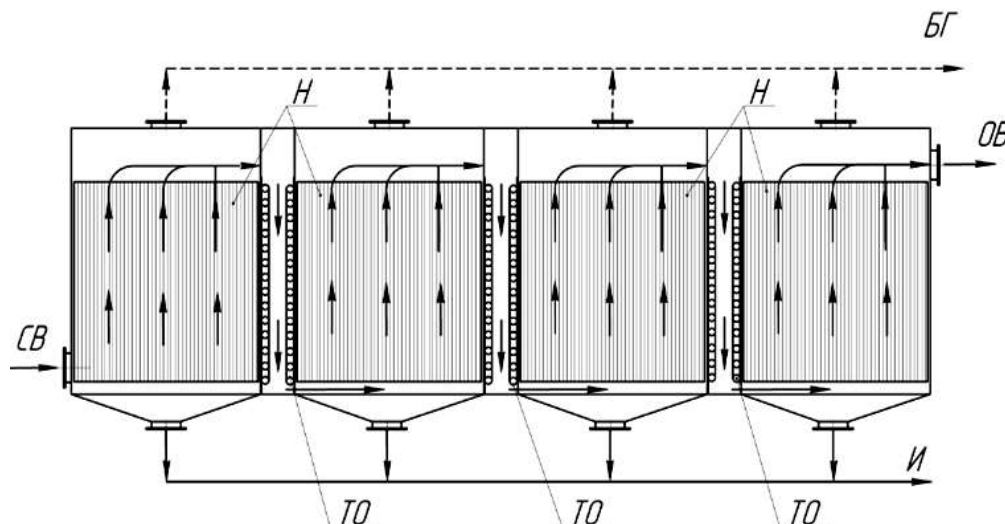


Рис. 3.5. Принципова схема роботи біофільтра з іммобілізованою на нерухомих носіях мікрофлорою:

CB – стічна вода; *OB* – очищена вода; *БГ* – вихід біогазу; *Н* – блоки носіїв; *ТО* – теплообмінні пристрої; *И* - випуск відпрацьованого активного мулу

Стічна вода очищується, вступаючи в кожен із секцій знизу і висхідним потоком проходячи через завантаження з фіксованою на ній мікрофлорою. Між секціями встановлені перетоки, які, в свою чергу, грають роль теплообмінних пристроїв. Поділ реактора на кілька секцій дозволяє розподілити різні бактеріальні популяції по довжині реактора.

Реакційний простір може згодом розглядатися як декілько ступінчастий анаеробний процес з ацетогенезом в першій секції і метаногенезом в кінці реактора. Така організація реактора дозволяє активній біомасі краще протистояти залповим навантаженням.

3.5. Технічна характеристика МБР

Апарат призначений для локального очищення води стічної у анаеробних умовах:

Об'єм корпусу апарату, м ³	923
Робочий тиск, МПа	0,1
Граничне навантаження, кг/м ³	
по БСК	8
по ХСК	12
Завантаження	листи полімерні
Поверхня завантаження, м ²	52800
Середовище	вода стічна
Теплоносій	вода технічна
Температура, °С	
середовища	37
теплоносія на вході	95
теплоносія на виході	85
Поверхня теплообміну, м ²	45,3
Габаритні розміри, мм	
довжина	22770
широта	5780
висота	12000
Маса апарату, кг	40000

3.6. Розрахунок параметрів ефективності біофільтру

Біореактор використовується для першого ступеня очищення стічної води виробництва кормових дріжджів. Річна потужність виробництва 8000т. За даними [21] на 1т готової продукції вихід стічної води складає 250 м³. Тоді приймаємо добову витрату стічної води 3700 м³/добу. Температура стічної води складає 35-37°C, отже приймаємо, що у біофільтрі відбувається анаеробне бродіння у мезофільному режимі при температурі середовища $t_{сер} = 35$ °C.

3.6.1. Технологічний розрахунок

Біофільтр обираємо за площею поверхні завантаження, що є максимальним значенням, розрахованим за поверхнею завантаження, що утворюється листами секції завантаження апарата, і за об'ємним навантаженням на мул по ХСК:

$$F_{\min} \geq \max \{ F_{Г.з.}; F_{Н.м.} \},$$

де F_{\min} – мінімальна поверхня завантаження біофільтра;

$F_{Г.з.}$ – необхідна поверхня завантаження за розрахунком гідравлічного завантаження;

$F_{Н.м.}$ – необхідна поверхня завантаження за розрахунком об'ємного навантаження на мул по ХСК.

У якості завантаження використовуються блоки, які складаються з плоско паралельних нерухомих листів полімерного матеріалу. Приймаємо питому площу завантаження за [22] $F_{пит} = 100 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Гідравлічне завантаження на поверхню приймаємо за [22] $q = 14,7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$. Тоді за [4] прикладене поверхнєве навантаження:

$$CSA = \frac{S_0 q}{F_{пит}} = \frac{6,5 \cdot 14,7}{100} = 0,9555 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$$

Мінімальна поверхня завантаження за розрахунком гідравлічного завантаження:

$$F_{г.з.} = \frac{S_0 Q}{CSA} = \frac{6,5 \cdot 3700}{0,9555} = 25170 \text{ м}^2$$

Перевіримо поверхню завантаження біофільтра за навантаженням на мул по ХСК [43]. Навантаження на мул по ХСК, виходячи з температури ферментації і типу стоку, для анаеробних біофільтрів приймаємо $V_x = 5 \text{ кг}_{\text{ХСК}} / \text{кг}_{\text{БВВ}}$.

$$V_x = \frac{Q_1 S_0}{M_x}$$

де $M_x = V_{\text{БП}} X_2$ – маса активного мулу;

$V_{\text{БП}} = A^* \cdot \delta_{\text{пл}}$ – об'єм біоплівки;

A^* – площа поверхні біоплівки, приймаємо площу поверхні біоплівки рівною площі поверхні носія, отже $A^* = F_{\text{н.м.}}$;

$\delta_{\text{пл}} = 0,002$ – товщина біоплівки;

X_2 – концентрація біомаси у біоплівці, приймаємо $X_2 = 25 \text{ кг}_{\text{ХСК}} / \text{м}^3$.

Тоді площу поверхні носія за навантаженням на мул знайдемо за формулою:

$$F_{\text{н.м.}} = \frac{Q_1 S_0}{V_x \delta_{\text{пл}} X_2} = \frac{3700 \cdot 6,5}{5 \cdot 0,002 \cdot 25} = 96200 \text{ м}^2$$

Обираємо площу завантаження за навантаженням на мул. Однак, значення площі навантаження відповідає 2 реакторам. Отже замінюємо один реактор на 2 реактора, що працюють паралельно.

Тоді площа завантаження реактора $F \geq 48100 \text{ м}^2$.

Попередньо обираємо секцію завантаження з числом листів $n = 220$ та розмірами листа $L \cdot H = 5 \text{ м} \cdot 6 \text{ м}$.

Загальна поверхня секції завантаження:

$$F_{с.з.} = 2 \cdot 220 \cdot 5 \cdot 6 = 13200 \text{ м}^2.$$

Тоді необхідна кількість секцій завантаження:

$$F \geq F_{\text{min}} / F_{с.з.} \geq 48100 / 13200 \geq 3,65.$$

Обираємо чотири секції, тоді площа поверхні завантаження дорівнює:

$$F = 4 \cdot 13200 = 52800 \text{ м}^2.$$

$$\frac{F - F_{\text{min}}}{F_{\text{min}}} \cdot 100\% = \frac{52800 - 48100}{48100} = 9,77\%$$

На підставі виконаної перевірки, так як розходження площі поверхні завантаження і мінімальної необхідної площі поверхні біофільтра не перевищує 10 %, корегування кількості секцій і кількості листів у секції біофільтра не потрібне.

Прийmemo відстань між пластинами завантаження $\delta=0,02$ м. Товщина листа $\delta_{л}=0,002$ м. Тоді робочий об'єм кожної секції:

$$V_{pc} = nLN\delta = 220 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 0,02 = 132 \text{ м}^2.$$

Загальний об'єм секції:

$$V_c = nLN(\delta + \delta_{л}) = 220 \cdot 5 \cdot 6 \cdot (0,02 + 0,001) = 138,6 \text{ м}^2.$$

Робочий об'єм біофільтра (без врахування об'єму перетоків):

$$V_p = 4V_{pc} = 4 \cdot 132 = 528 \text{ м}^2.$$

З врахуванням об'єму перетоків (приймаючи ширину перетоку 0,5 м):

$$V' = 4V_{pc} + 3V_{п} = 4 \cdot 132 + 3 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 6 = 573 \text{ м}^2.$$

Прийmemo ступінь заповнення 0,7. Тоді загальний об'єм реактора:

$$V = \frac{3V_c + 2V_{п}}{0,7} = \frac{4 \cdot 138,6 + 3 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 6}{0,7} = 856 \text{ м}^3$$

Час гідравлічного перебування за [19]:

$$HRT = \frac{24V_p}{Q} = \frac{24 \cdot 573}{2000} = 6,88 \text{ год.}$$

3.6.2. Матеріальний баланс

Розрахунок матеріального балансу проведемо за [23]. Розрахункова схема матеріального балансу представлена на рисунку 3.6.

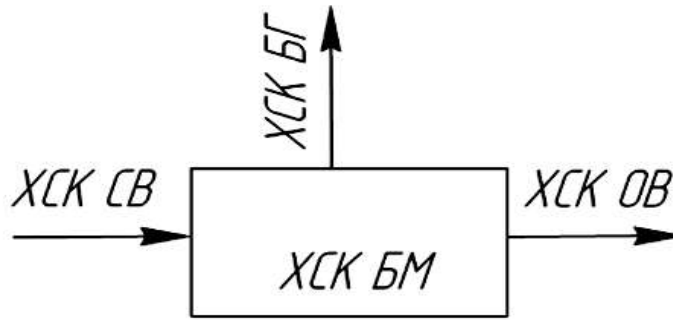


Рис. 3.6. Розрахункова схема матеріального балансу:

$X_{СК СВ}$ – кількість ХСК, що поступає у реактор зі стічною водою; $X_{СК ОВ}$ – кількість ХСК, що відводиться з реактору з очищеною водою; $X_{СК БГ}$ – кількість ХСК, яка перетворюється у біогаз; $X_{СК БМ}$ – кількість ХСК, яка перетворюється у біомасу

Матеріальний баланс за ХСК можна записати як:

$$Q_1 S_0 = r_a A^* \delta_{пл} X_2 + Q_1 (S_0 - S_2) \cdot Y_{набл} + Q_2 S_2,$$

$Q_1 S_0$ – кількість ХСК, що поступає у реактор, кг;

$r_a A^* \delta_{пл} X_2$ – кількість ХСК, перетвореного на біогаз, кг;

$Q_1 (S_0 - S_2) \cdot Y_{набл}$ – кількість ХСК, перетвореного на біомасу, кг;

$Q_2 S_2$ – ХСК стічної води на виході з реактору, кг;

S_2 – ХСК стоку на виході, $\text{кгO}_2/\text{м}^3$, $S_2 = S_0(1-E) = 6,5 \cdot (1-0,85) = 0,975$,

$Y_{набл}$ – спостережуваний приріст біомаси, приймаємо $Y_{набл} = 0,1 \text{ кг}_{БМ} / \text{кг}_{ХСК}$.

A^* – площа поверхні біоплівки, приймаємо рівною площі поверхні носія, $A^* = F \cdot 52800 \text{ м}^2$. При розрахунку нехтуємо площею біоплівки, що наростає на стінках реактора, на перетинках перетоків, так як її значення набагато менше за значення площі біоплівки, що утримується на носіях завантаження.

Приймаємо [23] $Q_1 \approx Q_2$.

Тоді кількість ХСК, перетворена на біогаз складатиме:

$$M = Q_1 S_0 - Q_1 (S_0 - S_2) \cdot Y_{набл} - Q_2 S_2 = 2000 \cdot 6,5 - 2000 \cdot (6,5 - 0,975) \cdot 0,1 - 2000 \cdot 0,975 = 9945 \text{ кг}_{ХСК} / \text{доба}.$$

Швидкість реакції перетворення субстрату у біогаз:

$$r_a = \frac{Q_1 S_0 - Q_1 (S_0 - S_2) Y_{\text{набл}} - Q_2 S_2}{A \cdot \delta_{\text{пл}} X_2} = \frac{9945}{52800 \cdot 0,002 \cdot 25} = 3,76 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ доба}).$$

Перевіримо швидкість реакції перетворення субстрату у біогаз через її максимальне значення. Максимальна швидкість перетворення субстрату у біогаз за [43]:

$$r_{\text{макс}} = \frac{\mu_{\text{макс}}}{Y_{\text{макс}}} \cdot \frac{S}{S + K_{\text{макс}}} \cdot X_2 = \frac{0,5}{0,3} \cdot \frac{0,02}{0,02 + 0,1} \cdot 25 = 6,94 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ доба}).$$

$\mu_{\text{макс}}$ – максимальна питома швидкість росту біомаси, доба⁻¹;

$Y_{\text{макс}}$ – максимальний приріст біомаси, кг_{БМ}/кг_{ХСК};

S – концентрація лімітуючого субстрату, за [23] приймаємо рівною концентрації органічних кислот;

$K_{S\text{макс}}$ – постійна напівнасичення.

$$r_a < r_{\text{амакс}} \Leftrightarrow 3,84 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ доба}) < 6,94 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ доба}).$$

Умова виконується.

Тоді кількість утвореного біогазу, з урахуванням того, що з 1 кг знятої ХСК при 35°C [10] утворюється 0,39 м³ біогазу:

$$V = 0,39M = 0,39 \cdot 9945 = 3879 \text{ м}^3/\text{доба}.$$

3.7. Висновки дорозділу

1. Удосконалення технології біологічної очистки стічних вод стала наслідком недостатньої ефективності очистки традиційною технологією.

2. Мембранний біореактор застосовується для ультратонкого очищення стічних вод, що не вимагає доочистки і знезараження. Основною відмінністю мембранного біореактора (МБР) від систем традиційного біологічного очищення в аеротенках є наявність мембранного модуля, який використовується для розділення суміші мулу.

3. Технологічні параметри мембранного біореактора для дріжджовмісних стічних вод: загальний об'єм реактора 856 м³, час перебування стічної води в реакторі близько 7 годин.

4. Ефективність процесу очищення стічних вод в мембранному біореакторі виражається через матеріальний баланс, який показав, що кількість утвореного біогазу складає 3879 м³/доба.

5. Запропонована конструкція МБР є ефективнішою за стандартні та може бути використана при конструюванні нового обладнання або вдосконаленні вже існуючого.

ВИСНОВКИ

1. Очищення дріжджовмісних стічних вод включає такі послідовні етапи: механічне, біологічне, фізико-хімічне очищення та знезараження.
2. Використання мембранних біореакторів є найбільш перспективним напрямком для очищення промислових стічних вод.
3. З технічної точки зору розрізняють декілька варіантів біологічної очистки. На даний момент основними є активний мул (аеротенки), біофільтри, метантенки (анаеробне бродіння) і біореактори.
4. Як видно з аналізу методів, альтернативою технології біологічної очистки є мембранно-біологічна технологія очищення стічних вод з використанням мембранного біореактору.
5. Мембранний біореактор застосовується для ультратонкого очищення стічних вод, що не вимагає доочистки і знезараження. Основною відмінністю мембранного біореактора (МБР) від систем традиційного біологічного очищення в аеротенках є наявність мембранного модуля, який використовується для розділення суміші мулу.
6. Технологічні параметри мембранного біореактора для дріжджовмісних стічних вод: загальний об'єм реактора 856 м^3 , час перебування стічної води в реакторі близько 7 годин.
7. Ефективність процесу очищення стічних вод в мембранному біореакторі виражається через матеріальний баланс, який показав, що кількість утвореного біогазу складає $3879 \text{ м}^3/\text{доба}$.
8. Запропонована конструкція МБР є ефективнішою за стандартні та може бути використана при конструюванні нового обладнання або вдосконаленні вже існуючого.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А. с. №1707917. Способ очистки природных и сточных вод / С.С. Душкин, В.И. Беляев // Откр., изобр., пром. образцы, товарн. знаки. – 1992. – № 3. – 4 с.
2. Васильев Б.В. Технология биологического удаления азота и фосфора на станциях аэрации. Ч. 1 / Б.В. Васильев, Б.Г. Мишуков, И.И. Иваненко [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – М. – 2001. – № 5. – С. 22–25.
3. Видякин М. Н. Краткий анализ рынка оборудования технологии мембранного биореактора (МБР) / М. Н. Видякин, А. М. Поляков, С. А. Соловьев // Вода Magazine. – 2009. – № 6. – С. 20–23.
4. Возможность применения мембранных технологий для очистки дренажных вод полигонов твердых бытовых отходов: материалы V Всеукр.наук.-практ.конф.[«Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України»]. – Запорожье, 2009. – С. 79–81.
5. Воронов Ю.В. Водоотведение: [учебник] / Ю.В. Воронов, Е.В. Алексеев, В.П. Саломеев, Е.А. Пугачев. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 415 с.
6. Гончарук В.В. Предмембранная обработка дренажных вод свалок ТПВ / В.В. Гончарук, М.Н. Балакина, Д.Д. Кучерук [и др.] // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 29, № 1. – С. 42–53.
7. Грязев В.Ю. Экологические технологии: методы оптимизации очистки сточной воды от биогенных элементов на канализационных очистных сооружениях / В.Ю. Грязев, Л.Ф. Комарова // «Инженерная экология». – М.: Изд-во «Инженерная экология», 2004. – № 1. – С. 37–43.
8. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення». – Электронный режим доступа : <http://www.dnaop.com/get.php>
9. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: [навч. посіб.] / В.С. Джигирей. – К. : Знання, 2006. – 319 с.
10. ДСП 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів». – Электронный режим доступа : <http://www.dnaop.com/get.php>

11. Душкин С.С. Водоподготовка и процессы микробиологии : [уч. пособие] / С.С. Душкин, Л.И. Дегтерёва, А.Л. Яровинская. – К. : Вища школа, 1996. – 62 с.
12. Душкин С.С. Разработка и обоснование конструкционного модуля аппаратов для магнитной обработки воды / С.С. Душкин // Тез. докл. XXIX научно-технич. конференции ХГАГХ. – Х. : ХГАГХ, 1998. – С. 1.
13. Душкин С.С. Ресурсосберегающие технологии очистки природных и сточных вод / С.С. Душкин // Сб. Коммунальное хозяйство городов.– 2003. –Вып. 51. – 6 с.
14. Душкин С.С. Улучшение технологии очистки природных и сточных вод / С.С. Душкин – К. : Вища школа, 1988. – 148 с.
15. Екологічна біотехнологія: [навч. посіб.] / [О.В. Швед, О.Б. Миколів, О.З. Комаровська-Порохнявець, В.П. Новіков]. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010. – 424 с. – (Серія «Екологічна біотехнологія» : у 2 кн., кн. I).
16. Екологічна біотехнологія: [навч. посіб.] / [О.В. Швед, О.Б. Миколів, О.З. Комаровська-Порохнявець, В.П. Новіков]. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010. – 424 с. – (Серія «Екологічна біотехнологія» : у 2 кн., кн. II).
17. Экологическая биотехнология / [под ред. К.Ф. Форстера, пер. с англ.]. – Л. : Химия, 1990. – 384 с.
18. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці / В.Ц. Жидецький. – Львів, 2006. – 56 с.
19. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М. : АКВАРОС, 2003. – 512 с. – ISBN 5–901652–05–3.
20. Залетова Н.А. Удаление азота и фосфора – актуальная задача для городских станций аэрации / Н.А. Залетова // Известия Жилищно-коммунальной академии. Городское хозяйство и экология. – М., 1995. – №1. – С. 33–39.
21. Залетова Н.А. Эффективные процессы удаления фосфора из городских сточных вод: сб. науч. тр. АКХ / Н.А. Залетова, Н.В. Исаева // Эффективные

технологические процессы и оборудование для очистки сточных вод. – М., 1988. – С. 32–40.

22. Карпухин С.Ю. Технология мембранного биореактора // Экология производства. – 2008. – № 4.– С. 22–34.

23. Калунянц К.А. Оборудование микробиологических производств / К.А. Калунянц, Л.И. Голгер, В. Е. Балашов. – М. : Агропромиздат, 1987. – 398 с.

24. Ковальчук В. А. Использование MBR-технологий при строительстве и реконструкции сооружений для очистки сточных вод / В. А. Ковальчук. А. В. Ковальчук. – Р. : Национальный ун-т водного хозяйства и природопользования., 2007. – 3 с.

25. Кузнецов А.Е. Научные основы экобиотехнологии: [учеб. пособ.] / А.Е. Кузнецов, Н.Б. Градова. – М. : Мир, 2006. – 504 с.

26. Луценко Г.Н. Физико-химическая очистка городских сточных вод / Г.Н. Луценко, А.И. Цветкова, И.Ш. Свердлов. – М.: Стройиздат, 1984. – С. 48–51.

27. Маслов В.М. Рекомендуются методы очистки фильтрата / В.М. Маслов // Інформаційно-аналітичний зб. «Санітарна очистка міст та комунальний автотранспорт». – 2002. – Вып. 4.– С. 44–50.

28. Николаенко Е.В. Проектирование очистных сооружений канализации: учебное пособие / Е.В. Николаенко, В.В. Авдин, В.С. Сперанский. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 41 с.

29. Об охране окружающей природной среды / ВС УССР Закон от 25.06.1991 № 1264. – XII редакція. – [действует с 18.11.2012]. – Режим доступа :

http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T126400.html

30. Очистка воды для бытовых и производственных нужд [Электронный ресурс]. – <http://voda-ochistka.ru/equipment/biomembrani/>

31. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. – [Введен 01.07.92]. – М. : Госстандарт, 1992. – 81 с.

32. Показники якості води [Электронный ресурс]. –

<http://manyava.ucoz.ua/publ/18-1-0-104>

33. Поляков А. М. Технология мембранного биореактора (МБР) для очистки природных и сточных вод I / А. М. Поляков, С. А. Соловьев, М. Н. Видякин // Критические технологии. Мембраны. – 2008. – № 3 (39). – 54 с.
34. Поляков А. М. Технология мембранного биореактора (МБР) для очистки природных и сточных вод II / А. М. Поляков, С. А. Соловьев, М. Н. Видякин // Критические технологии. Мембраны. – 2009. – № 1 (41). – 52 с.
35. Портал верховної ради України [Електронний ресурс]. – <http://zakon.rada.gov.ua>
36. Протоєрейський О.С. Основи охорони праці: [навч. посіб.] / О.С.Протоєрейський, О.І.Запорожець. – К.: НАУ, 2002. – 524 с.
37. Протоєрейський О.С. Основи охорони праці: [практикум для студентів усіх спеціальностей] / Протоєрейський О.С. – К. : НАУ, 2001. – 164 с.
38. Разумовский Э.С. Современные технологии очистки сточных вод / Э.С. Разумовский // Жилищное и коммунальное хозяйство. – 1994. – №3. – С. 30–34.
39. Ресурсосберегающие технологии очистки сточных вод: [монографія] / [С. С. Душкин, А. Н. Коваленко, М. В. Дегтярь, Т. А. Шевченко]. – Х. : ХНАГХ, 2011. – 146 с.
40. Чуйко Л.С. Основи екологічної біотехнології: [конспект лекцій] / Л.С. Чуйко. – Львів, 1998. – 90 с.
41. Шевцов Н. М. Биологическая активность микрофлоры в дерново-подзолистой почве при подпочвенном орошении стоками / Н. М. Шевцов, З.М. Белова, Н. П. Покровский. – Вестник сельскохозяйственной науки, 1981. – № 3. – С. 40–43.
42. Яковлев С. В. Биохимические процессы в очистке сточных вод / С. В. Яковлев, С. В. Карюхина. – М. : Стройиздат, 1980. – 200 с.
43. Aerobic domestic waste water treatment in a pilot plant with complete sludge retention by cross-flow filtration / [E. V. Muller, A. H. Stouthamer, H. W. van der Verseveld, D. H. Eikelboom] // Water Res. – 1995. – № 29. – P. 1179–1189.
44. Brindle Ê. The application of membrane biological reactors for the treatment of wastewaters / Ê. Brindle, T. Stephenson // Biotechnol. Bioeng. – 1996. – Vol. 49. – P. 601–

610.

45. Direct solidliquidseparation using hollow fiber membrane in an activated sludgeaeration tank/ [Ê. Yamamoto, M. Hiasa, Ò. Mahmood, T. Matsuo] // Water Sci. Technol. – 1989. – № 21. – P. 43–54.

46. Dushkin S.S. Application of Activated Reagent Solution in Water Treatment / S.S. Dushkin // Vadni hospodarstvi. – Crechoslovakia. – 1989. – P. 3.

47. Effect of 200 days! Sludge retention time on performance of a pilot scale submerged membrane bioreactor for high strength industrial wastewater treatment / [Ñ. Ò. Hay, D. D. Sun, S. L. Khor, J. O. Leckie] // Water Science & Technology. – 2006. – Vol. 53, № 11. – P. 269–276.

48. Feasibility of a membrane-aerated biofilm reactor to achieve controllablenitrification / [A. Terada, T. Yamamoto, R. Igarashi, S. Tsuneda and A. Hirata] // Biochemical Engineering Journal. – 2006. – Vol. 28 (2). – P. 123–130.

49. Hanft C. Membrane bioreactor in the changing world water market / C. Hanft // Business Communications Company Inc. – 2006. – P. 240.

50. Huisjes E. The European MBR market: specifics and future trends / E. Huisje, K. Colombel, B. Lesjean // Present. handouts of the Final MBR-Network workshop. – Berlin, 31st March – 1st April 2009.

51. Judd S. Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment : [the MBR book] / S. Judd. – Elsevier, 2006.

52. Masse A. Comparison of sludgecharacteristics and performance of a submerged membrane bioreactor andan activated sludge process at high solids retention time / A. Masse, M. Sperandio, Ñ. Cabassud // WaterResearch. – 2006. – Vol. 40, Issue 12. – P. 2405–2415.

53. Melike Yalili Kische Landfill leach ate treatment by the combination of physicochemical methods / Melike Yalili Kische, Kadir Kestioglu, Taner Yonar // Biology Environmental Scientific 1 (1). – 2007. – P. 37–43.

54. MembraneBioreactors for Wastewater Treatment/ [Ò. Stephenson, S. Judd, B. Jefferson and K. Brindle]. – London. U.K. : IWA Publishing, 2000.– P. 13–24.

55. Parco V. Biological nutrient removal in membranebioreactors: denitrification and

phosphorus removal kinetics/ V. Parco, G.Toit [et al.] // WaterScience & Technology. – 2007. – Vol. 56, № 6. – P. 125–134.

56. Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal waste water / [S. Rosenberger, U. Kruger, R. Witzig, W. Manz, U. Szewzyk, M. Kraume] // Water Research. – 2002. – Vol. 36, Issue 15. – P. 40–45.

57. Pirt S. J. The maintenance energy of bacteria in growing cultures / S. J. Pirt // Proc. Roy Soc. London. – 1963. – P. 24–31.

58. Randtke S.J. Chemical Pretreatment for Activated Report / S.J. Randtke, C.P. Jespen // J.AWWA. – 1981. – №73 (8). – P. 411.

59. Richardson J.F. Chemical engineering / J.F. Richardson, J.H. Harker, J.R. Backhurst // Particle Technology and Separation Processes. – 2002. – Vol. 2, № 5. – P. 1183.

60. The effect of organic loading on process performance and membrane fouling in a submerged membrane bioreactor treating municipal wastewater/ [R. S. Trussell, R. P. Merlo, S. W. Hermanowicz, D. Jenkins] // Water Research. – 2006. – Vol. 40, № 14. – P. 2675–2683.

61. Wenger-Oehn H. Examinations of the application of membrane bioreactor systems (German) / H. Wenger-Oehn, R. Braun // Abwassertechnik. – 1994. – № 11. – P. 49–57.