

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової справи

03-06-178М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«Розроблення та вдосконалення комплексних біотехнологій»
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»
спеціальності G21 «Біотехнології та біоінженерія»
денної форми навчання

Рекомендовано науково- методичною
радою з якості
Навчально-наукового інституту
будівництва, архітектури та дизайну
Протокол № 1 від 28.08.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Розроблення та вдосконалення комплексних біотехнологій» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Біотехнології» спеціальності G21 «Біотехнології та біоінженерія». [Електронне видання] / Ковальчук В. А. – Рівне : НУВГП, 2025. – 29 с.

Укладач: Ковальчук В. А., д.т.н., професор кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Відповідальний за випуск – Мартинов С. Ю., д.т.н., професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Керівник (гарант) ОП: Грицина О. О., к.т.н., доцент.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
I. ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ	3
1. Розрахунок шахтних аеротенків	3
2. Розрахунок біотенків	7
3. Розрахунок мембранних біореакторів.....	15
II. САМОСТІЙНА РОБОТА	27
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	28

© В. А. Ковальчук, 2025

© НУВГП, 2025

ВСТУП

Здійснення робіт з розробки і вдосконалення комплексних біотехнологій у наш час має відбуватися на сучасній технологічній основі. В останні роки при виконанні таких робіт набувають усе більшого поширення сучасні біореактори шахтного типу, які працюють при підвищених концентраціях біомаси і великих концентраціях розчиненого кисню, мембранні біореактори у яких відбувається розділення мулової суміші на ультрафільтраційних мембранах, а також біотенки із закріпленою на спеціальних носіях біомасою. Однак їх технологічний розрахунок ускладнюється внаслідок відсутності відповідних методик. Дані методичні вказівки мають на меті навчити студентів розраховувати шахтні аеротенки, мембранні біореактори і біотенки як основу комплексних біотехнологій очищення промислових та міських стічних вод.

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

1. Розрахунок шахтних аеротенків

Шахтний аеротенк, який був вперше запропонований англійською фірмою ICI, являє собою свердловину чи шахтний ствол глибиною 30-150 м і діаметром 0,25-10 м. У шахту опущена труба, яка ділить простір шахти на зону з низхідним (центральна труба) і зону з висхідним (міжтрубний простір) рухом рідини. При запуску аеротенка в роботу на глибині 20-30 м у зону з висхідним рухом рідини компресором подається повітря. Завдяки ерліфтному ефекту в шахті виникає циркуляція рідини. При швидкості руху рідини в низхідному потоці більше 0,8 м/с у центральну трубу компресором починають подавати повітря в кількості не більшій 30 % від витрати рідини, що гарантує транспортування бульбашок повітря до дна шахти. По мірі просування потоку вниз шахти відбувається збільшення гідростатичного тиску і, як наслідок цього, розчинення повітря в муловій суміші. На будь-якій глибині шахти ступінь насичення рідини киснем буде відповідати гідростатичному тиску у даній точці. У висхідному ж потоці по мірі зменшення тиску відбувається виділення пухирців повітря з розчину.

При підвищених концентраціях розчиненого кисню в шахтному аеротенку можна підтримувати концентрації активного мулу до 20 г/л. Завдяки цьому різко зростає окислювальна потужність споруди, яка перевищує окислювальну потужність звичайних аеротенків у 2-

5 разів. За рахунок високого ступеня використання кисню, який досягає 50-70 %, різко зменшуються енергоємність процесу очистки. Підвищені концентрації розчиненого кисню зумовлюють зростання швидкості окислення забруднень, а значить скорочується тривалість очистки, зменшується об'єм споруд і зайняті ними площі. Як і в окситенках, спостерігається значно менший (до 50 %) приріст мулу; активний мул має низький муловий індекс. Однак шахтні аеротенки мають і суттєві недоліки, до яких можна віднести необхідність застосування компресорів для циркуляції мулової суміші та її насичення киснем, висока вартість будівництва (особливо у скельних породах), підвищені вимоги до герметичності й довговічності шахт, труднощі розділення мулової суміші у звичайних відстійниках.

Вперше в колишньому СРСР дослідження шахтних аеротенків були розпочаті в НУВГП у 1979 році під керівництвом проф. О.П.Сіньова. В результаті була запропонована конструкція шахтного аеротенка з насосною циркуляцією, подачею повітря через водовітряний ежектор і флотаційним розділенням мулової суміші. Ефективність очистки міських стічних вод за цією технологією характеризується високою окислювальною потужністю аеротенка – до 3,8 кг БПК₅/(м³.добу), високим ступенем використання кисню (більше 70 %), високою окислювальною спроможністю системи аерації 1-1,5кг O₂/(м³.год) і її високою ефективністю – до 4 кг O₂/(кВт.год) [1]. При цьому шахтні аеротенки можуть використовуватись як самостійні споруди в режимі неповної чи повної біологічної очистки, а також у режимі продовженої аерації, чи використовуватись як перший ступінь біологічної очистки перед аеротенками-витиснювачами або біофільтрами.

Приклад 1.1. Розрахувати шахтний аеротенк для біологічної очистки стічних вод населеного пункту. Витрата очищуваних стічних вод $Q = 1000 \text{ м}^3/\text{добу}$, БПК_{повн} неочищених стічних вод $L_{en} = 220 \text{ мг/л}$, БПК_{повн} очищених стічних вод $L_{ex} = 15 \text{ мг/л}$. Середньорічна температура стічних вод – $T_w = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Розв'язування. За табл.2 [2] визначаємо коефіцієнт годинної нерівномірності водовідведення $K = 2,1$. У цьому випадку розрахункова витрата очищуваних стічних вод буде становити:

$$Q_{год}^{max} = \left(\frac{1000}{24} \right) \cdot 2,1 = 87,5 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Передбачається застосувати шахтний аеротенк з насосною циркуляцією і розділенням мулової суміші у флотаційному муловідокремлювачі за схемою, зображеною на рис. 1 [1].

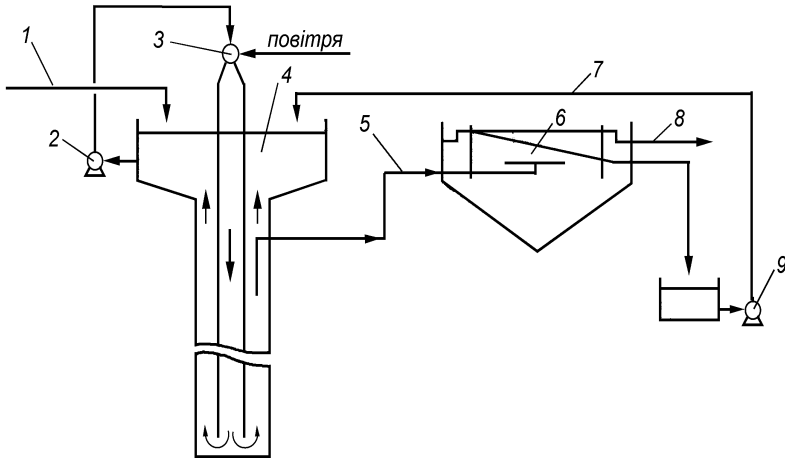


Рис. 1. Шахтний аеротенк з насосною циркуляцією: 1 - подача стічних вод; 2 - циркуляційний насос; 3 - водоповітряний ежектор; 4 - шахтний аеротенк; 5 - мулова суміш; 6 - флотаційний муловідокремлювач; 7 - рециркуляційний активний мул; 8 - очищені стічні води; 9 - насос

Приймаємо: глибину шахтного аеротенка $H = 60$ м, дозу активного мулу в аеротенку $a_i = 10$ г/л, середню концентрацію розчиненого кисню у муловій суміші на виході із аеротенка – $C_o^i = 8$ мг/л [1].

Середню концентрацію розчиненого кисню у шахтному аеротенку визначаємо за формулою:

$$C_o = 0,5 C_o^i (H + 10) / 10 = 0,5 \cdot 8 (60 + 10) / 10 = 28 \text{ мг} / \text{л}.$$

Питома швидкість окислення забруднень визначається за формулою В.9 і табл. В.4 [2], мг/(г.год):

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} \cdot C_o}{L_{ex} \cdot C_o + K_l \cdot C_o + K_o \cdot L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_i} \cdot \frac{T_w}{15},$$

де $\rho_{\max} = 85$ мг/(г·год) – максимальна швидкість окислення забруднень; C_o – концентрація розчиненого кисню у шахтному аеротенку, мг/л; $K_l = 33$ мг БПК_{повн}/л – константа, яка характеризує властивості органічних забруднень; $K_o = 0,625$ мг О₂/л – константа, яка характеризує вплив кисню; $\varphi = 0,07$ л/г – коефіцієнт інгібування продуктами розкладу активного мулу; T_w – середньорічна температура стічних вод, °С.

$$\rho = 85 \frac{15 \cdot 28}{15 \cdot 28 + 33 \cdot 28 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 10} = 15,5 \text{ мг/(г·год)}.$$

Тривалість аерації стічних вод визначається за формулою В.8 [2]:

$$t = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i(1-s)\rho} = \frac{220 - 15}{10(1 - 0,3)15,5} = 1,89 \text{ год}.$$

Загальний об'єм шахтного аеротенка (шахти і оголовка) буде становити:

$$V = Q_{\text{зод}}^{\max} t = 87,5 \cdot 1,89 = 165 \text{ м}^3.$$

Рециркуляційна витрата мулової суміші в шахтному аеротенку з насосною циркуляцією визначається за формулою 20 [1]:

$$Q_p = Q_{\text{зод}}^{\max} \cdot q_o (L_{en} - L_{ex}) / (m \cdot p \cdot \varphi), \text{ м}^3 / \text{год},$$

де $q_o = 1,1$ мг/мг – питома витрата кисню (п. В.2.7, [2]); $m = 270$ г/м³; $p = 0,7$ – ступінь використання кисню повітря, частка одиниці [1]; $\varphi = 0,25$ – відношення витрат повітря і рециркуляційної мулової суміші [1].

$$Q_p = 87,5 \cdot 1,1(220 - 15) / (270 \cdot 0,7 \cdot 0,25) = 418 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Швидкість руху мулової суміші у центральній трубі і міжтрубному просторі рекомендується приймати в межах 1-2 м/с [1].

Приймемо діаметр шахтного аеротенка рівним 450 мм, а його центральної труби 300 мм. У цьому випадку швидкості руху мулової суміші будуть становити:

– у центральній трубі

$$418 / 3600 \cdot 0,785 \cdot 0,3^2 = 1,64 \text{ м/с},$$

– у міжтрубному просторі

$$418 / 3600 \cdot 0,785 (0,45^2 - 0,3^2) = 1,31 \text{ м/с},$$

що знаходиться в рекомендованих межах.

Об'єм власне шахти буде становити:

$$0,785 \cdot 0,45^2 \cdot 60 = 9,5 \text{ м}^3.$$

Об'єм оголовка буде складати:

$$165 - 9,5 = 155,5 \text{ м}^3.$$

При висоті оголовка 4 м його діаметр повинен складати:

$$\sqrt{\frac{155,5}{4 \cdot 0,785}} = 7,0 \text{ м}.$$

Навантаження на зону флотації флотаційного муловідокремлювача рекомендується приймати рівним $4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ [1]. У цьому випадку діаметр зони флотації буде складати:

$$\sqrt{\frac{87,5}{0,785 \cdot 4}} = 5,2 \text{ м}.$$

Флотаційний муловідокремлювач влаштовуємо на базі первинного вертикального відстійника діаметром 6 м.

Крім шахтного аеротенка і флотаційного муловідокремлювача до складу очисних споруд повинні також входити решітки, піскоуловлювач і контактний резервуар. Необхідно також підібрати циркуляційний насос шахтного аеротенка, необхідний напір якого визначається при розрахунку водоструминного ежектора, а також насос ре циркуляційного активного мулу.

2. Розрахунок біотенків

Можливим способом збільшення маси активного мулу в аеротенках є заповнення всього або частини їх об'єму інертними матеріалами з розвиненою поверхнею, яка обростає біологічною плівкою (біотенки). Таке закріплення мікроорганізмів дозволяє збільшити кількість мулу в аеротенку без суттєвого підвищення концентрації мулової суміші, що надходить до вторинних відстійників.

В аеротенках розміщуються блоки з плоских або хвилястих пластмасових і азбестоцементних листів, пластмасової решітки, щити у вигляді металічного або дерев'яного каркасу із закріпленими на ньому листами поролону, скловолокном, синтетичними тканинами та іншими матеріалами. Можливе заповнення об'єму аеротенка завантаженнями з пінополіуретану, полістиролу, пластмасових елементів, кілець Рашига тощо. В аеротенках із закріпленою біомасою необхідно забезпечувати належні умови для аерації та циркуляції мулової суміші в усьому об'ємі споруди з тим, щоб запобігти можливості утворення застійних зон, де може відбуватися випадання активного мулу в осад, що зумовить несприятливі умови для постачання мулової суміші киснем

Перші конструкції вітчизняних біотенків передбачали застосування в якості завантаження азбестоцементних листів, перфорованої вініпластової плівки, побутової сітки ССБ при питомій площі поверхні завантаження в об'ємі аеротенка 10-20 м²/м³. При очистці господарсько-побутових стічних вод кількість біомаси, що утримується на 1 м² площі завантаження становить 40-100 г при окислювальній потужності 0,65-1,55 г БПК_{повн}/(м².год). Результати очистки стічних вод підприємств молокопереробної та рибопереробної промисловості показали, що окислювальна потужність біотенків більш ніж у 1,5 рази перевищувала окислювальну потужність звичайних аеротенків.

Нові можливості для розвитку біотенків дало застосування у них волокон, ниток і тканин із різноманітних полімерних матеріалів у вигляді «йоржів» або «вій», що збираються у блоки і встановлюються в зоні аерації (табл. 1). Нескладні розрахунки, виконані за таблицею, показують, що питома поверхня завантаження йоржів із перелічених матеріалів, у середньому становить 400-1350 м² на 1 м³ об'єму аеротенка.

Донецькою державною академією будівництва і архітектури запропоновано використовувати як завантаження біобарабану йоржі діаметром 50-65 мм із скловолокна. Питома поверхня таких біобарабанів досягає 10000-15000 м² на 1 м³ об'єму, пористість - 99 %, а окислювальна здатність - 6 кг О₂/(м³.добу).

Досвід практичного застосування йоржів із склотканини показав, що через 3-5 років експлуатації склотканина починає ламатися і йоржі потребують заміни.

Іншим недоліком йоржів і «вій» є їх швидке обростання із середини біомасою. Для регенерації йоржів запропоновано, зокрема, вилучати із аеротенків блоки із йоржами і видаляти біомасу на вібростолах.

У закордонній практиці полімерні завантаження випускаються у вигляді вільно плаваючих в аеротенках елементів різноманітної конфігурації.

Відоме також застосування як носіїв біомаси кубиків із крупнопористого поролону, що утримуються в аеротенках за допомогою спеціальних сіток. регенерація таких носіїв біомаси здійснюється шляхом їх пропускання через обжимні валики.

Таблиця 1

Технічні параметри різноманітних полімерних йоржів [3]

Вид йоржа	Питома поверхня, м ² /г	Вага 1 п.м. йоржа, г	Кількість п.м. насадки в 1 м ³ об'єму біореактора
Йорж із супертонкого капронового волокна	0,2-0,3	40-50	80-160
Йорж із лавсанового волокна	0,1-0,3	40-50	80-160
Йорж із суміші волосіні 0,2 мм із лавсаном	0,1-0,2	60-70	25-120
Йорж із суміші поліпропілену із лавсаном	0,05-0,15	60-70	25-100
Йорж із волосіні 0,2 мм	0,02-0,05	60-70	100-200

Біотенки із вільно плаваючим завантаженням MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) були запропоновані доктором Халвардом

Одегардом із Норвезького університету науки та технологій у 1989 році і є на сьогодні найбільш застосовуваними у світі. Носієм біомаси в MBBR є спеціальні елементи у вигляді коліщаток, сіточок тощо (рис. 2). Для забезпечення біомаси киснем і підтримання їх у плаваючому стані застосовуються пневматичні аератори і механічні мішалки. Відділення плаваючих носіїв біомаси від очищених стічних вод здійснюється за допомогою спеціальних сіток.

Вид завантаження

Характеристики

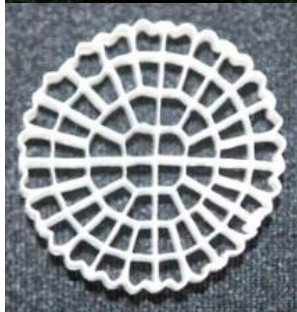
завантаження



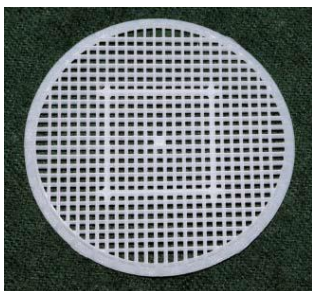
$500 \text{ m}^2/\text{m}^3$
dxh 25 x 10 мм



$500 \text{ m}^2/\text{m}^3$
dxh 9.1 x 7.2 мм



$800 \text{ m}^2/\text{m}^3$
dxh 25 x 3,5 мм



1200 m²/m³
dxh 42 x 2,2 мм



650 m²/m³
dxh 13 x 13 мм



650 m²/m³
18,5 x 14,5 x 7,3 мм

Рис. 2. Вид і характеристики завантаження MBBR

Переваги MBBR: саморегулювання біомаси; гнучка конструкція, яка дозволяє збільшувати продуктивність; відсутність технологічного регулювання (тільки технічне обслуговування обладнання); стабільний ефект очистки при великих коливаннях навантаження; невелика займана площа; низька інвестиційна вартість; очистка стічних вод за один прохід; дуже компактна і проста система біологічного очищення.

Основні елементи MBBR: корпус (круглої або прямокутної форми із залізобетону, металу, скловолокна); завантаження; аераційна система; затримуючі пристрої; повітрорудки; мішалки.

MBBR можуть застосовуватися в технологічних схемах біологічної очистки стічних вод з нітрифікацією і денітрифікацією.

Приклад 2.1. Розрахувати біотенк для біологічної очистки стічних вод населеного пункту. Витрата очищуваних стічних вод $Q = 5000 \text{ м}^3/\text{добу}$, БПК_{повн} неочищених стічних вод $L_{en} = 250 \text{ мг/л}$, БПК_{повн} очищених стічних вод $L_{ex} = 15 \text{ мг/л}$. Середньорічна температура стічних вод $T_w = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Розв'язування. За табл.2 [2] визначаємо коефіцієнт годинної нерівномірності водовідведення $K = 1,7$. У цьому випадку розрахункова витрата очищуваних стічних вод буде становити:

$$Q_{\text{год}}^{\text{max}} = \left(\frac{5000}{24} \right) \cdot 1,7 = 354 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Конструктивно приймаємо питому площу поверхні завантаження рівною $P = 15 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Дозу вільноплаваючого активного мулу приймаємо рівною $a_i = 2 \text{ г/л}$.

За рис. 2 визначаємо величину питомої окислювальної потужності, яка при БПК_{повн} очищуваних стічних вод $L_{en} = 250 \text{ мг/л}$ і питомій площі поверхні завантаження $P = 15 \text{ м}^2/\text{м}^3$ буде складати $OP = 1,5 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

За формулою Стріттера, визначаємо величину температурного коефіцієнта

$$K_T = 1,018^{15-20} = 0,91.$$

Питому швидкість окислення забруднень визначаємо за формулою В.9 і табл. В.4 [2]:

$$\rho = 85 \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 2} = 21,2 \text{ мг}/(\text{г} \cdot \text{год}),$$

де 2 – концентрація розчиненого кисню, мг/л.

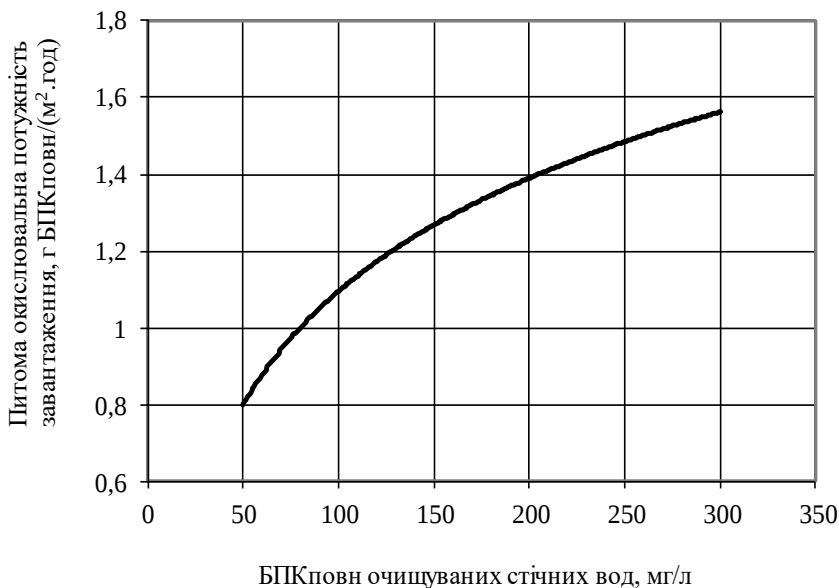


Рис. 2. Залежність питомої окислювальної потужності завантаження від БПК_{повн} очищуваних стічних вод

Тривалість аерації стічних вод у біотенку визначаємо за формулою:

$$t = \frac{L_{en} - L_{ex}}{P \cdot ОП \cdot K_T + a_i(1-S)\rho \cdot T_w/15} = \frac{250-15}{15 \cdot 1,5 \cdot 0,91 + 2(1-0,3)21,2 \cdot 15/15} = 4,7 \text{ год.}$$

Для порівняння визначимо тривалість аерації стічних вод у звичайному аеротенку:

$$t = \frac{250-15}{2(1-0,3)21,2 \cdot 15/15} = 7,9 \text{ год,}$$

яка приблизно у 1,7 рази більша ніж у біотенку.

Розрахунковий об'єм біотенка буде становити:

$$V = Q_{\text{сод}}^{\text{max}} \cdot t = 354 \cdot 4,7 = 1664 \text{ м}^3.$$

Приймаємо два біотенка об'ємом по $1664 / 2 = 832 \text{ м}^3$ із розмірами: робоча глибина – 4,3 м, ширина – 6 м, довжина – 33 м. Фактичний об'єм одного біотенка становить 851 м^3 .

При ширині листа завантаження біотенка 0,9 м загальна довжина завантаження буде становити:

$$l = (15 \cdot 851) / (0,9 \cdot 2) = 7092 \text{ п.м},$$

де 2 – коефіцієнт, що враховує другу сторону листа.

Висоту листа завантаження біотенка визначаємо із урахуванням шару води над завантаженням (0,25 м) і зазору між завантаженням і дном біотенка (0,25-0,5 м):

$$h = 4,3 - 0,25 - 0,35 = 3,7 \text{ м}.$$

Відстань між листами завантаження визначаємо за формулою:

$$d = \frac{L \cdot n}{\frac{l}{h} + 1} = \frac{33 \cdot 4}{\frac{7092}{3,7} + 1} = 0,069 \text{ м} = 69 \text{ мм},$$

де $L = 33 \text{ м}$ – довжина аеротенка; n - число рядів завантаження.

Як матеріал завантаження біотенків рекомендується застосовувати побутову сітку ССБ, що випускається за ТУ 6-11-346-82.

Питому витрату повітря при пневматичній аерації в аеротенках розраховують за п. 6.157, а приріст біомаси – за п. В.9 [2]. Вологість надлишкового активного мулу і біоплівки при їх видаленні із вторинних відстійників приймають рівною 98 %.

Розглянемо можливість застосування в якості завантаження біотенка полімерних йоржів (табл. 1).

Прийmemo, для прикладу, йоржі із лавсанового волокна питомою поверхнею $0,3 \text{ м}^2/\text{г}$ і вагою 1 п. м йоржа 50 г.

При питомій площі поверхні завантаження $P = 15 \text{ м}^2/\text{м}^3$ і об'ємі одного біотенка 851 м^3 довжина йоржів завантаження повинна складати:

$$15 \cdot 851 / 0,3 \cdot 50 = 851 \text{ п.м}.$$

Приклад 2.2. Визначити об'єм MBBR для біологічної очистки стічних вод населеного пункту. Витрата очищуваних стічних вод $Q = 5000 \text{ м}^3/\text{добу}$, БПК_{повн} неочищених стічних вод $L_{\text{en}} = 250 \text{ мг/л}$,

БПК_{повн} очищених стічних вод $L_{ex} = 15$ мг/л. Середньорічна температура стічних вод – $T_w = 15$ °С.

В MBBR передбачається застосування спеціального завантаження (рис. 3) у вигляді коліщаток діаметром 9,1 мм і висотою 7,2 мм. Питома площа завантаження становить $S_p = 500$ м²/м³. Завантаження об'єму споруди прийняте рівним 55% від об'єму MBBR (має знаходитись в межах 50-67%).

При масі прикріпленої біомаси на 1 м² 65 г доза прикріпленої біомаси на поверхні завантаження становить $m_p = 65$ г/дм³ у цьому випадку буде становити

$$a_p = m_p \cdot S_p = 65 \cdot 500 = 32,5 \text{ г/дм}^3.$$

Період аерації стічних вод в MBBR визначається за формулою

$$t = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i \cdot \alpha(1 - S)\rho + a_p \cdot \beta(1 - s)\rho} = \frac{250 - 15}{2 \cdot 0,45(1 - 0,3)21,2 + 32,5 \cdot 0,55(1 - 0,3)21,2} = 0,84 \text{ год},$$

де a_i – доза мулу в об'ємі MBBR вільного від завантаження, г/дм³;

α – частка об'єму MBBR вільного від завантаження;

a_p – доза прикріпленої біомаси в об'ємі MBBR із завантаженням, г/дм³;

β – частка об'єму MBBR із завантаженням;

ρ – питома швидкість окислення забруднень, мг(г.год).

Розрахунковий об'єм MBBR буде становити

$$354 \cdot 0,84 = 297 \text{ м}^3.$$

3. Розрахунок мембранних біореакторів

Мембранний біореактор (МБР) є аеротенком із розділенням мулової суміші за допомогою ультрафільтраційних мембран. Основним елементом МБР є мембранні модулі із плоских, рулонних або капілярних (пустотілих) полімерних мембран. Мембранні модулі можуть занурюватися у мулову суміш безпосередньо в аеротенку (МБР із зануреним модулем) або бути розміщеними зовні аеротенка (МБР із зовнішнім модулем).

Головними перевагами застосування мембранних біореакторів є наступні:

1. Мембрані біореактори забезпечують високу ефективність вилучення забруднень, у більшості випадків достатню для скиду очищених стічних вод у водойми рибогосподарського призначення. Це дозволяє виключити із загальної технологічної схеми вторинні відстійники і споруди для глибокої доочистки стічних вод.

2. На думку закордонних дослідників, застосування мембранних біореакторів для очистки міських стічних вод дозволяє відмовитися від їх знезаражування.

3. При застосуванні мембранного розділення мулової суміші аеротенки можуть нормально працювати при підвищених дозах активного мулу (до 10-20 г/л). Це дозволяє покращити якість біологічної очистки стічних вод за рахунок зменшення навантаження на активний мул і збільшення його віку, а також значно зменшити об'єм аеротенків. Рядом дослідників відмічається зменшений приріст активного мулу в мембранних біореакторах. Мембранні технології успішно адаптуються до технологій із біологічним видаленням сполук азоту і фосфору.

4. Видалення з поверхні мембран відкладень активного мулу, а також хімічних і біологічних відкладень здійснюється без вилучення мембран у автоматичному режимі. У наш час тривалість експлуатації мембран на виробничих очисних спорудах складає біля 10 років.

Зазначені переваги роблять МБР найбільш ефективними сучасними спорудами для біологічної очистки стічних вод [4, 5, 6]. Хоча вітчизняне виробництво ультрафільтраційних мембран для МБР ще не налагоджене на український ринок поставляються мембрани, вироблені провідними закордонними фірмами, такими як Zenon, Kubota, Mitsubishi, Rayon, Norit, Huber, Memcor, Toray та іншими.

Основою установки фірми Zenon є модуль із великої кількості полімерних пустотілих волокон, з'єднаних верхніми та нижніми колекторами. Декілька модулів (рис. 3) збираються у касети, які занурюються безпосередньо або у спеціальний резервуар, куди подається мулова суміш. Для створення необхідної турбулентності навкруги фільтруючих волокон у нижній частині касети є дірчастий повітропровід. Очищені стічні води фільтруються усередину волокон і видаляються через верхні колектори. Згущений активний мул залишається в аеротенку.

Розмір пор фільтруючих волокон знаходиться у діапазоні приблизно 0,3-0,05 мкм, що забезпечує затримання розчинних і переважної кількості колоїдних забруднень, частини органічних макромолекул, бактерій і вірусів. За принципом дії сам процес є аналогом зворотно осмотичних процесів, а за ефективністю він подібний до ультрафільтрації та мікрофільтрації. Завдяки малому розміру пор мембран модулі забезпечують отримання фільтрату із високими показниками: БПК < 3 мг/дм³; завислі речовини < 1 мг/дм³; амонійний азот < 1 мг/дм³; загальний фосфор < 0,5 мг/дм³. Продуктивність однієї касети із декількох модулів може досягати 1000 м³/добу.

Найважливішою характеристикою мембран є їх пропускна здатність за пермеатом, що знаходиться зазвичай у межах 10-40 дм³/(м².год) [4-7].

Під час фільтрування на поверхні спостерігається утворення кеку активного мулу, який спричиняє зменшення пропускної здатності фільтруючих мембран. Для відновлення пропускної здатності мембран вони періодично (приблизно 1 раз у 10 хвилин) піддаються зворотній промивці пермеатом, накопиченим у сіптенку. При цьому за допомогою пневмоавтоматики насос для відкачування пермеату переключається для роботи у реверсивному напрямку (із сіптенка пермеат подається у середину мембран). Після закінчення імпульсної промивки мембран цикл фільтрування автоматично відновлюється.



Рис. 3. Мембранный модуль ZeeWeed 500

На пропускну здатність мембран негативно впливають біологічні забруднення і солі жорсткості. Для запобігання цьому явищу через 6-60 діб (інтервал встановлюється експериментально пусконаладжувальною організацією) здійснюється спеціальна регенерація мембран.

Для боротьби із біологічним забрудненням мембран передбачається їх промивання розчином гіпохлориту натрію (NaOCl) (0,2 %), а для боротьби із відкладанням солей жорсткості – промивання сумішшю соляної (HCl) і лимонної кислот (0,2-0,3 %). Обидва промивання здійснюються не одночасно.

Приклад. 3.1. Розрахувати мембранний біореактор для очистки міських стічних вод на малогабаритних очисних спорудах. Середня добова витрата очищуваних стічних вод становить $Q_{\text{доб}} = 200 \text{ м}^3/\text{добу}$, середня годинна витрата – $Q_{\text{год}} = 8,4 \text{ м}^3/\text{год}$, а середня хвилинна витрата – $Q_{\text{хв}} = 0,14 \text{ м}^3/\text{хв}$. Максимальна годинна витрата при цьому становить $Q_{\text{годм}} = 25,2 \text{ м}^3/\text{год}$, а максимальна хвилинна – $Q_{\text{хвм}} = 0,42 \text{ м}^3/\text{хв}$. Максимальна добова витрата становить $Q_{\text{добм}} = 600 \text{ м}^3/\text{добу}$. Показники забруднень очищуваних стічних вод складають: БПК₅ – 200 мг/дм^3 , завислі речовини – 250 мг/дм^3 , загальний азот (N) – 50 мг/дм^3 , загальний фосфор (P) – 5 мг/дм^3 . Показники забруднень очищених стічних вод: БПК₅ – 5 мг/дм^3 , завислі речовини – 5 мг/дм^3 , загальний азот (N) – 10 мг/дм^3 , загальний фосфор (P) – $0,5 \text{ мг/дм}^3$.

Розв’язування. Технологічна схема біологічної очистки стічних вод із застосуванням мембранного біореактора включає вилучення крупних відходів на решітках, вилучення піску – в аерованих піскоуловлювачах і усереднення стічних вод в усереднювачі. Розрахунок вказаних вище споруд у даному прикладі не розглядається.

Біологічна очистка стічних вод передбачається за схемою з попередньою денітрифікацією. Розрахунковий об’єм денітрифікатора визначається за об’ємним навантаженням на денітрифікатор [4] за азотом (N), яке не повинно перевищувати $q_{\text{он}} = 0,2 \text{ кг (N)/(м}^3\cdot\text{добу)}$.

Добова кількість азоту, що надходить з очищуваними стічними водами становить

$$N_{\text{доб}} = C_N \cdot Q_{\text{доб}} / 1000 = 50 \cdot 200 / 1000 = 10 \text{ кг (N)/добу}.$$

Розрахунковий об'єм денітрифікатора становить

$$W_{\text{дн}} = N_{\text{доб}} / q_{\text{дн}} = 10 / 0,2 = 50 \text{ м}^3.$$

Розрахунковий об'єм нітрифікатора визначається за об'ємним навантаженням на нітрифікатор за азотом (N), яке не повинно перевищувати $q_n = 0,25 \text{ кг (N)/(м}^3\text{.добу)}$.

Розрахунковий об'єм нітрифікатора становить

$$W_n = N_{\text{доб}} / q_n = 10 / 0,25 = 40 \text{ м}^3.$$

Пластини мембран біореактора розміщуються безпосередньо в нітрифікаторі. Необхідна площа мембран визначається за максимальною добовою витратою очищуваних стічних вод – $Q_{\text{добм}} = 600 \text{ м}^3\text{/добу}$ і розрахунковою пропускною здатністю мембран, яка становить $q_n = 1,2 \text{ м}^3\text{/(м}^2\text{.добу)}$. Таким чином, загальна розрахункова площа мембран Kubota становитиме

$$S_m = Q_{\text{добм}} / q_n = 600 / 1,2 = 500 \text{ м}^2.$$

При площі однієї пластини мембрани $S_1 = 0,8 \text{ м}^2$, розрахункова кількість пластин становить

$$n_m = S_m / S_1 = 500 / 0,8 = 625 \text{ шт.}$$

Вміст азоту в надлишковому активному мулі становить $a = 6\%$, а приріст мулу, як встановлено експериментально, складає $Pr = 45\%$ від знятої БПК₅. В такому випадку концентрація азоту для видалення шляхом денітрифікації буде становити

$$N_{\text{дн}} = N_z - Q_{\text{доб}} \cdot Pr. \quad a = 50 - 200 \cdot 0,45 \cdot 0,06 = 44,6 \text{ мг/дм}^3.$$

При денітрифікації буде виділятися кисень, який використовуватиметься для окислення органічних речовин стічних вод. Його кількість становить $2,9 \text{ кг O}_2\text{/кг N}$ або

$$O_{\text{дн}} = 2,9 \cdot N_{\text{дн}} \cdot Q_{\text{доб}} / 1000 = 2,9 \cdot 44,6 \cdot 200 / 1000 = 25,9 \text{ кг O}_2\text{/добу.}$$

Потреба в кисні для окислення органічних забруднень стічних вод буде становити

$$O_{\text{орг}} = 1,27(BPK. Q_{\text{доб}}/1000 - O_{\text{дн}}) = 1,27(200 \cdot 200/1000 - 25,9) = 17,9 \text{ кг O}_2\text{/добу,}$$

де $1,27$ – питома витрата кисню, $\text{кг O}_2\text{/кг БПК}_5$; 200 – БПК₅ очищуваних стічних вод, мг/дм^3 ; $Q_{\text{доб}} = 200$ – витрата очищуваних стічних вод, $\text{м}^3\text{/добу}$.

Потреба в кисні на нітрифікацію амонійного азоту становить

$$O_n = 4,3 \cdot N_{\text{дн}} \cdot Q_{\text{доб}} / 1000 = 4,3 \cdot 44,6 \cdot 200 / 1000 = 38,3 \text{ кг O}_2\text{/добу.}$$

При розрахунку мембранних біореакторів необхідно враховувати також і потребу в кисні на ендогенну респірацію, яка становить

$$O_{\text{ер}} = W_n \cdot k_{\text{ер}} \cdot X \cdot b = 40 \cdot 0,07 \cdot 15 \cdot 0,7 = 29,4 \text{ кг O}_2\text{/добу,}$$

де $W_n = 40$ – об’єм нітрифікатора, м³; $k_{ep} = 0,07$ – коефіцієнт ендогенної респірації, кг O₂/кг беззольної речовини мулу; $X = 15$ концентрація активного мулу в мембранному біореакторі, кг/м³; $b = 0,7$ – частка беззольної речовини в активному мулі.

Таким чином, сумарна потреба в кисні становитиме

$$O_2 = O_{ope} + O_n + O_{ep} = 17,9 + 38,3 + 29,4 = 85,6 \text{ кг O}_2/\text{добу}.$$

Вміст кисню в атмосферному повітрі становить 0,27 кг/м³, а коефіцієнт використання кисню може прийнятий рівним 3%. У цьому випадку розрахункова кількість повітря, що має подаватися в нітрифікатор, має становити

$$Q_{пов} = 85,6 / 0,27 \cdot 0,03 = 10568 \text{ м}^3/\text{добу} \\ \text{або } 10568 / 24 = 440 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Кількість повітря, що подається в нітрифікатор, має бути перевірена на створення необхідної швидкості руху рідини вздовж поверхні мембранних картриджів, яка має становити $q_{пов} = 10$ дм³/хв на один картридж. Витрата повітря для забезпечення такої швидкості має становити

$$Q_1 = n_m \cdot q_{пов} \cdot 60 / 100 = 625 \cdot 10 \cdot 60 / 1000 = 375 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Таким чином, витрата повітря, що подається в нітрифікатор, буде достатньою для підтримання оптимального режиму перемішування в мембранному біореакторі.

Приріст мулу в мембранному біореакторі, як встановлено експериментально, складає 45% від знятої БПК₅. В такому випадку маса сухої речовини надлишкового активного мулу буде становити

$$M_{cp} = Q_{доб} \cdot БПК \cdot Пр / 1000 = 200 \cdot 200 \cdot 0,45 / 1000 = 18,0 \text{ кг/добу}.$$

При концентрації надлишкового активного мулу 15 кг/м³ його добовий об’єм буде становити

$$Q_{нам} = 18 / 15 = 1,2 \text{ м}^3.$$

Як показано раніше, розрахунковий об’єм денітрифікатора становить 50 м³, нітрифікатора – 40 м³. Виходячи із висоти мембранного блоку приймаємо гідравлічну висоту нітрифікатора і денітрифікатора рівною 2,5 м.

Коефіцієнт рециркуляції мулової суміші прийнятий рівним 4.

Приклад 3.2. Розрахувати споруди для очистки стічних вод підприємства з виробництва кулінарних соусів із застосуванням мембранного біореактора. Згідно завдання на проектування на очистку надходитиме $Q_{доб} = 280$ м³/добу суміші виробничих і

господарсько-побутових стічних вод із наступними показниками: ХПК – 3930 мг/дм³; БПК₅ – 1790 мг/дм³; завислі речовини – 2140 мг/дм³; мінералізація – 6430 мг/дм³; жири – 1600 мг/дм³; загальний азот за Келдалем – 180 мг/дм³; нітрати – 90 мг/дм³; загальний фосфор – 36 мг/дм³; рН – 5-12. Максимальна годинна витрата очищуваних стічних вод становитиме 40 м³/год. Концентрації забруднень в очищених стічних водах не повинні перевищувати: ХПК – 50 мг/дм³; БПК₅ – 5,0 мг/дм³; завислі речовини – 5,0 мг/дм³; мінералізація – 1000 мг/дм³; амонійний азот – 0,5 мг/дм³; нітрити – 0,4 мг/дм³; нітрати – 45,0 мг/дм³; сульфати – 100,0 мг/дм³; фосфати – 3,5 мг/дм³; загальний фосфор – 1,5 мг/дм³.

Для очистки висококонцентрованих стічних вод підприємства пропонується застосувати технологію, що передбачає: вилучення крупних покидьків на решітках; усереднення стічних вод за витратами і концентраціями забруднень, нейтралізацію і біокоагуляцію надлишковим активним мулом в усереднювачі із пневматичним перемішуванням; вилучення основної маси завислих речовин і жирів у напірній флотаційній установці; корегування у стічних водах вмісту біогенних елементів; біологічну очистку в аеротенку із нітрифікацією амонійного азоту і денітрифікацією; розділення мулової суміші і одночасну глибоку доочистку стічних вод на мембранних біореакторах; знезаражування ультрафіолетовим опроміненням.

Для видалення із очищуваних стічних вод крупних покидьків передбачається встановлення автоматизованої барабанної решітки марки ROTO SIEVE із прозорами 1 мм продуктивністю 50 м³/год.

Добова кількість відходів, що затримуватимуться на решітках, становить

$$Q_{відх} = Q_{доб} \cdot 3P \cdot q_{відх} / 65.1000.365 = 280.2140.34 / 65.1000.365 = 0,86 \text{ м}^3/\text{добу},$$

де $Q_{доб} = 280$ – добова витрата очищуваних стічних вод, м³/добу; $3P = 2140$ – концентрація завислих речовин в очищуваних стічних водах, мг/дм³; $q_{відх} = 34$ – кількість відходів, що затримується на решітках із прозорами 1 мм у розрахунку на одного жителя, л/рік ([2], табл. 18); 65 – питома кількість завислих речовин, що надходять у каналізаційну мережу від одного жителя ([2], табл. 16), г/добу.

Затримані відходи збираються у контейнер і далі вивозяться автотранспортом для утилізації у спеціально відведені і узгоджені із санепідслужбою місця за межі очисних споруд. Стічні води, звільнені від відходів, самопливом надходять у підкачувальну насосну станцію.

Для забезпечення усереднення очищуваних стічних вод за концентраціями забруднень і витратою приймаємо усереднювач об'ємом 300 м³. Перемішування вмісту усереднювача передбачається здійснювати за допомогою крупнобульбашкової системи аерації (при високому рівні рідини), або за допомогою мішалки (при низькому рівні рідини).

Нейтралізація стічних вод в усереднювачі здійснюється в автоматичному режимі на основі показань датчика рН-метра, шляхом дозування розчинів лугу (NaOH) або кислоти (HCl).

Пластмасові резервуари для зберігання розчинів лугу та кислоти мають об'єм по 5000 дм³ кожен. Дозування розчинів лугу та кислоти здійснюється насосами дозаторами фірми Prominent.

Усереднювач обладнується датчиком рівня.

Для біокоагуляції забруднень із аеротенка об'ємом 600 м³ в усереднювач подається надлишковий активний мул, для чого використовуються два занурені насоси (робочий і резервний) марки KSB, продуктивністю по 20 м³/год кожен. В усереднювач скидаються також осад із флотаційної установки та мулова вода із фільтр-пресу для зневоднювання осаду.

Для подачі стічних вод на флотаційну установку в усереднювачі встановлені два занурені насоси (робочий і резервний) марки KSB, продуктивністю 30 м³/год кожен.

Реагентна обробка стічних вод здійснюється з метою коагуляції забруднень перед їх наступною очисткою в напірній флотаційній установці. Передбачається дозування готового розчину коагулянту (FeCl₃) із поліетиленового резервуару об'ємом 5000 дм³ за допомогою насоса-дозатора марки Prominent. Змішування розчинів коагулянту із очищуваними стічними водами здійснюватиметься у трубчастому флокуляторі марки PFL-030, який встановлюється в безпосередній близькості від флотаційної установки.

Для флотаційної очистки стічних вод від грубодисперсних домішок і жирів передбачається застосування напірної флотаційної установки марки CPP 35 продуктивністю 35 м³/год,

розміром у плані 2900х1900 мм і висотою 2700 мм, що випускається голландською фірмою K-PACK WATER TREATMENT BV під торговою маркою K-PACK™.

Очищувані стічні води надходять у флотаційну установку через вхідний патрубок, перед яким змішуються із рециркуляційною робочою рідиною, насиченою повітрям. Утворення флотокомплексів частинок зависі і жирів із бульбашками повітря діаметром 30-50 мкм відбувається у вхідній камері, розміщеній уздовж флотаційної установки. Повільно рухаючись угору, флотокомплекси спливають на поверхню флотаційної установки, а стічна вода далі рухається вниз між пакетом пластин, встановлених під кутом 60°, де відбувається подальше відділення флотокомплексів із очищуваних стічних вод. Відведення очищених стічних вод здійснюється із нижньої частини флотаційної установки у водозбірний лоток з водозливом.

Відбір очищених стічних вод, які використовуються в якості рециркуляційної робочої рідини, здійснюється безпосередньо із флотаційної установки за допомогою відцентрового флотаційного насоса, який змонтований на рамі установки. Насичення робочої рідини повітрям здійснюється у похилому напірному баку, повітря подається у бак компресором.

Видалення флотошламу із поверхні флотаційної установки здійснюється ланцюговим скребком з електроприводом у бокову кишеню. Для видалення осаду із дна установки передбачений спеціальний дірчастий трубопровід.

Технологічні параметри флотаційної установки: коефіцієнт рециркуляції робочої рідини - 0,2; - гідравлічне навантаження на поверхню - 1,81 м³/(м².год); тиск насичення робочої рідини - 0,6 МПа; площа вільної поверхні - 2,75 м²; ефективність очистки стічних вод: -за ХПК - 60%; - за БПК₅ - 50%; - за завислими речовинами - 90%; - за жирами - 95%.

При зазначених вище ефективностях очистки стічних вод у флотаційній установці, показники якості очищених стічних вод будуть становити:

$$\text{ХПК } 3930(100 - 60)/100 = 1572 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\text{БПК}_5 1790(100 - 50)/100 = 895 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\text{завислі речовини } 2140(100-90) = 214 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\text{жири } 1600(100 - 95)/100 = 80 \text{ мг/дм}^3.$$

Флотаційний насос в установці має подачу 8 м³/год, напір 60 м, потужність електродвигуна 5,5 кВт. Насичення робочої рідини повітрям, яке подається компресором (18 л/хв., напір 80 м), здійснюється в напірному баку.

Осад, що затримується у флотаційній установці, автоматично періодично скидається у дренажний резервуар, звідки перекачується насосами в усереднювач.

Флотошлам періодично скидається у спеціальний резервуар, звідки видаляється для утилізації за межі очисної станції.

Для забезпечення у стічних водах сприятливого для біологічної очистки співвідношення БПК:N:P, передбачається внесення у стічні води фосфатів у вигляді ортофосфорної кислоти. Ортофосфорна кислота дозуватиметься у трубопровід, по якому стічні води із флотаційної установки надходять в аеротенк, за допомогою насоса-дозатора марки Prominent із пластмасового резервуару об'ємом 1000 дм³.

Передбачається здійснювати розділення мулової суміші на мембранній фільтраційній установці, що дозволить збільшити дозу активного мулу в аеротенку до 10 г/дм³. Інші параметри процесу біологічної очистки стічних вод в аеротенках становлять: об'ємне навантаження на аеротенк – 0,6 кг БПК₅/(м³.добу); навантаження на активний мул 0,08 кг БПК₅/(кг.добу).

У цьому випадку розрахунковий об'єм аеротенка повинен становити

- при розрахунку за об'ємним навантаженням

$$W_a = 895.280 / 0,6.1000 = 418 \text{ м}^3;$$

- при розрахунку за навантаженням на активний мул

$$W_a = 895.280 / (10.0,8.0,08.1000) = 392 \text{ м}^3,$$

Де 895 – БПК₅ стічних вод, очищених у флотаційній установці, мг/дм³; Q_{доб} = 280 – добова витрата очищуваних стічних вод, м³/добу; 0,6 – об'ємне навантаження на аеротенк кг БПК₅/(м³.добу); 10 – доза мулу в аеротенку, г/л; 0,8 – вміст беззольної речовини в активному мулі, частка одиниці; 0,08 – навантаження на активний мул, кг БПК₅/(кг.добу).

З деяким запасом об'єм аеротенка прийнято рівним 450 м³.

За допомогою перегородки аеротенк розділяється на дві послідовно гідравлічно з'єднані частини: першу, об'ємом 150 м³, у якій здійснюється біологічна очистка і нітрифікація амонійного

азоту, і другу, об'ємом 300 м³, де здійснюється біологічна денітрифікація шляхом переривчастої аерації з періодом 2 год.

Подача мулової суміші із аеротенка в резервуар, де встановлюються мембранні фільтраційні установки, здійснюється насосом через фільтр із діаметром отворів 1 мм для запобігання попаданню на мембрани домішок, що можуть міститися у муловій суміші.

Основою мембранної фільтраційної установки є модуль із великої кількості полімерних пустотілих волокон, з'єднаних верхніми та нижніми колекторами. Декілька модулів збираються у касети, які занурюються безпосередньо у спеціальний резервуар, куди подається мулова суміш. Для створення необхідної турбулентності навкруги фільтруючих волокон у нижній частині касети є дірчастий повітропровід. Очищені стічні води фільтруються усередину волокон і видаляються через верхні колектори.

Розмір пор фільтруючих волокон знаходиться у діапазоні приблизно 0,3-0,05 мкм, що забезпечує затримання розчинних і переважної кількості колоїдних забруднень, частини органічних макромолекул, бактерій і вірусів. За принципом дії сам процес є аналогом зворотноосмотичних процесів, а за ефективністю він подібний до ультрафільтрації та мікрофільтрації.

У мембранному резервуарі із нержавіючої сталі розміром 3х3х3 м, де встановлені касети із мембранами, відбувається власне процес фільтрування із відділенням фільтрату від мулової суміші.

Рівень рідини у мембранному резервуарі підтримується за допомогою лотка із водозливом. Відмітка водозливу (дно відділення 0,00) становить 2550 мм, максимальний рівень рідини у резервуарі становить 2600 мм. Із лотка мулова суміш самопливом повертається в аеротенк.

У мембранному резервуарі встановлені три касети із мембранами марки ZW-500с-15, площа фільтруючої поверхні яких становить 500 м², а добова продуктивність за пермеатом (очищеними стічними водами) – 300 м³/добу. У касету із мембранами постійно подається стиснене повітря від повітродувки продуктивністю 340 м³/год. У нижній частині мембранного резервуару влаштований прийомок для спорожнення.

Відведення пермеату (очищених стічних вод, що пройшли мембрани) із касети із мембранами здійснюється через верхній колектор за допомогою робочого і резервного насосів для відкачування пермеату. Продуктивність насосу становить 20 м³/год, висота всмоктування 6 м, потужність електродвигуна – 5,5 кВт. Фільтрат накопичується у спеціальному резервуарі промивної води (СИРТАНК) об'ємом 2 м³ і далі надходить на знезаражування.

Під час фільтрування на поверхні спостерігається утворення кеку активного мулу, який спричиняє зменшення пропускної здатності фільтруючих мембран. Для відновлення пропускної здатності мембран вони періодично (приблизно 1 раз у 10 хвилин) піддаються зворотній промивці пермеатом, накопиченим у сіптенку. При цьому за допомогою пневмоавтоматики насос для відкачування пермеату переключається для роботи у реверсивному напрямку (із сіптенка пермеат подається у середину мембран). При цьому насос для відкачування пермеату має продуктивність 13 м³/год. Після закінчення імпульсної промивки мембран цикл фільтрування автоматично відновлюється.

На пропускну здатність мембран негативно впливають біологічні забруднення і солі жорсткості. Для запобігання цьому явищу через 6-60 діб (інтервал встановлюється експериментально пусконаладжувальною організацією) здійснюється спеціальна регенерація мембран.

Для боротьби із біологічним забрудненням мембран передбачається їх промивання розчином гіпохлориту натрію (NaOCl) (0,2 %), а для боротьби із відкладанням солей жорсткості – промивання сумішшю соляної (HCl) і лимонної кислот (0,2-0,3 %). Обидва промивання здійснюються не одночасно.

Процес промивання мембран здійснюється наступним чином:

- 1) припиняється подача у мембранний резервуар мулової суміші і він спорожнюється;

- 2) включається у реверсивному напрямку насос для відкачування пермеату, який заповнює мембранний резервуар на 10-20 %. В момент включення насоса для відкачування пермеату у його напірну лінію подається 10-20 % від усього об'єму реагентів, призначених для промивки;

- 3) мембрани витримуються у розчині певний час;

4) далі знову включається у реверсивному напрямку насос для відкачування пермеату, який подає у мембранний резервуар ще 10-20 % від його об'єму, під час роботи насосу вводяться реагенти, далі мембрани витримуються у розчині і цикл повторюється;

5) після повного заповнення мембранного резервуару він спорожнюється, промивається пермеатом і мембранна установка відновлює свою роботу.

Об'єм резервуару пермеату для забезпечення промивання мембран повинен бути не менше 27 м³.

Промивання мембранної установки здійснюється в автоматичному режимі. Тривалість промивки у середньому складає 2-3 години. У цей час стічні води на очистку не подаються, а накопичуються у приймальному резервуарі.

Знезаражування стічних вод передбачається здійснювати розчином гіпохлориту натрію.

Відпрацьовані розчини хімічних реагентів збираються у спеціальному резервуарі, після чого нейтралізуються і подаються в усереднювач.

II. САМОСТІЙНА РОБОТА

Самостійна робота студента є основним засобом засвоєння студентом навчального матеріалу в час, вільний від обов'язкових навчальних занять. Пізнавальна діяльність студентів у процесі виконання самостійної роботи характеризується високим рівнем самостійності та сприяє залученню студентів до творчої активності.

Підсумком самостійної роботи над вивченням навчальної дисципліни «Розробка і вдосконалення комплексних біотехнологій» є самостійне опрацювання рекомендованих тем:

1. Головні напрямки розробки і вдосконалення комплексних біотехнологій
2. Збільшення кількості біомаси в біореакторах шляхом влаштування біотенків.
3. Збільшення кількості біомаси шляхом використання мембранних біореакторів.
4. Застосування біотенків із вільноплаваючим завантаженням.
5. Очистка стічних вод в біореакторах типу шахтних аеротенків.

Підсумком самостійної роботи над вивченням навчальної дисципліни є складання письмового звіту за темами, вказаними вище.

Звіт оформлюється на стандартному папері формату А4 (210х297) з одного боку. Поля: верхнє, праве, ліве – 20 мм, нижнє – 22 мм, ліве. У тексті повинні бути зазначені посилання на використану літературу.

Звіт може бути рукописним або друкованим і виконується українською мовою.

На титульній сторінці звіту мають бути зазначені назва кафедри, навчальна дисципліна, прізвище та ініціали здобувача вищої освіти, група, прізвище та ініціали викладача, який приймає роботу, посада. Загальний обсяг звіту – 10-15 сторінок. Звіт включає план, основну частину, висновки, список використаної літератури та додатки (за необхідності).

Захист звіту про самостійну роботу проводиться у терміни, спільно обумовлені викладачем і здобувачем вищої освіти.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сіньов О. П. Інтенсифікація роботи і реконструкція каналізаційних очисних споруд : навч. посібник. К. : ІСДО, 1994.
2. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ, Мінрегіонбуд, 2013. 132 с.
3. Теоретичні основи очищення води: навчальний посібник / Н. І. Куликов, Я. А. Найманов, Н. П. Омельченко, В. М. Чернишев. Донецьк: вид-во «Ноулідж» (Донецьке відділення), 2009.
4. Judd S. The MBR book: principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment / S. Judd, C. Judd. Elsevier, 2006. 325 p.
5. Wang L. K. Advanced Biological Treatment Processes (Handbook of Environmental Engineering, Volume 9) / L. K. Wang, N. K. Shammas, Y-T. Hung. Humana Press, 2009. 738 p.
6. Ковальчук В. А. Перспективи застосування мембранних технологій для біологічної очистки та доочистки міських і промислових стічних вод. *Науковий вісник будівництва*. Вип. 66. Харків : ХДТУБА, ХОТВАБУ, 2011. С. 290-295.
7. Ковальчук В. А., Марчук Ю. В., Ковальчук О. В. До питання про розрахунок мембранних біореакторів. *Вісник Національного*

університету водного господарства та природокористування.
Випуск 4 (64). Збірник наукових праць. Рівне, 2013. С. 194–201.