

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА
БІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МІКРОБІОЛОГІЇ, ВІРУСОЛОГІЇ ТА БІОТЕХНОЛОГІЇ**

О.А. ДРЕГВАЛЬ, Т.В. СКЛЯР

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт і організації
самостійної роботи студентів

2024

УДК 60:502/504

Рекомендовано до друку кафедрою мікробіології, вірусології та біотехнології біолого-екологічного факультету ДНУ імені Олеся Гончара, протокол №13 від 04.03.24 р.	Ухвалено вченою радою біолого-екологічного факультету ДНУ ім. О. Гончара, протокол №9 від 18.03.24 р.
---	---

Автори:

Дрегваль Оксана Анатоліївна – к.б.н., доцент кафедри мікробіології, вірусології та біотехнології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Скляр Тетяна Володимирівна – к.б.н., доцент, завідувач кафедри мікробіології, вірусології та біотехнології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Рецензенти:

Лихолат Юрій Васильович – д.б.н., професор, завідувач кафедри фізіології та інтродукції рослин Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Хоменко Олена Миколаївна – к.б.н., доцент кафедри біохімії та фізіології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Дрегваль О.А., Скляр Т.В. Екологічні аспекти біотехнологічних виробництв. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт і організації самостійної роботи студентів / Дрегваль О.А., Скляр Т.В. – Дніпро, Вид-во Дніпровського національного університету, 2024, 33 с.

В даній роботі наведено рекомендації щодо виконання практичних робіт та організації самостійної роботи студентів, метою яких є опанування студентами нових знань щодо методів реалізації біотехнологічних виробництв екологічного спрямування в різних галузях промисловості та сільського господарства. Методичні рекомендації мають науково-практичне значення і можуть бути використані викладачами та студентами на практичних заняттях.

© Дрегваль О.А., Скляр Т.В.

Екологічні аспекти біотехнологічних виробництв. 2024

© Вид-во ДНУ ім. О. Гончара, 2024

Зміст

Практична робота № 1. Біологічні препарати для захисту рослин від шкідливих комах на основі монокультур та асоціації мікроорганізмів	4
Практична робота №2. Розрахунок об'єму аеротенків	8
Практична робота №3. Розрахунок очисних споруд знешкодження осадів стічних вод – метантенків	16
Практична робота №4. Ефективність перетворення біопалива в теплову або електричну енергію	25
Практична робота №5. Біотестування залишкової токсичності ґрунту	28
Методичні рекомендації до виконання самостійної роботи	31
Список рекомендованої літератури	33

Практична робота №1

БІОЛОГІЧНІ ПРЕПАРАТИ ДЛЯ ЗАХИСТУ РОСЛИН ВІД ШКІДЛИВИХ КОМАХ НА ОСНОВІ МОНОКУЛЬТУР ТА АСОЦІАЦІЇ МІКРООРГАНІЗМІВ

Мета: отримати рідкі форми препаратів на основі ентомопатогенних бактерій та грибів, визначити титр спор мікроорганізмів у препаратах та їх інсектицидну активність.

Матеріали та обладнання: мікробіологічна качалка, мікроскоп, камера Горяєва, накривні скельця, фізіологічний розчин, поживний агар, поживний бульон, пробірки, чашки Петрі, піпетки (на 1 мл та 10 мл), пробірки з культурами *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana*, личинки мух (домашньої, м'ясної), колби конічні, склянки, марля, вата, реактиви для вирощування мікроорганізмів: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, K_2HPO_4 , зелена патока, кукурудзяний екстракт; середовище для мух: молоко, дріжджі.

Теоретичні відомості

Бактеріальні препарати на основі *Bacillus thuringiensis* використовуються для захисту культурних рослин від яблуневої плодожерки, бавовняної совки, колорадського жука, капустяного білана тощо. Ці бактерії виділено від хворих комах, що населяють різні географічні зони. Діючою речовиною біопрепаратів виступають бактеріальні спори та кристали ендотоксинів. Потрапляючи в травну систему шкідників разом із кормом, кристали ендотоксинів спричиняють параліч кишечника. Крім того, спори проростають, клітини бактерій потрапляють у гемолімфу комах, де ростуть і викликають захворювання та загибель комах. В залежності від патотипу, розрізняють підвиди, що уражують лускокрилих, твердокрилих та двокрилих комах. Саме від складу білкових кристалів залежить інсектицидний спектр *B. thuringiensis*.

Серед грибних інсектицидних препаратів слід відзначити препарати на основі *Beauveria bassiana*, які на відміну від бактеріальних препаратів характеризуються контактною дією. Спори гриба проростають крізь неушкоджену кутикулу, утворюються короткі гіфи – гіфальні тільця, які поширюються по всьому тілу током гемолімфи. Деякі штами здатні утворювати токсин боверіцин. Загибель комах відбувається у разі токсичного ефекту та порушення циркуляції гемолімфи. Після загибелі комах на їх поверхні утворюються гіфи з конідіальним спорношенням. Гриб можна культивувати поверхневим способом для отримання конідій або глибинним, отримуючи бластоспори, які за дією подібні гіфальним тільцям, що утворюються під час інфекційного процесу в організмі комах.

Біопрепарати на основі ентомопатогенних мікроорганізмів специфічно діють на шкідливих комах, безпечні для людини, теплокровних тварин та корисної ентомофауни.

Завдання

1. Приготувати поживне середовище для глибинного культивування *B. thuringiensis* та *B. bassiana*. Підготувати інокулят та засіяти поживні середовища. Здійснити вирощування культур у глибинних умовах.
2. Визначити титр спор мікроорганізмів у культуральній рідині.
3. Визначити інсектицидну активність рідких препаратів на основі *B. thuringiensis* та *B. bassiana*. Порівняти інсектицидну активність отриманих рідких препаратів та їх комплексу відносно личинок мух.

Хід роботи

1. Глибинне культивування ентомопатогенних бактерій та грибів.

Для глибинного культивування *B. thuringiensis* та *B. bassiana* приготувати поживне середовище такого складу (г/л): зелена патока – 15; кукурудзяний екстракт – 13; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 2,32; K_2HPO_4 – 0,5. рН – 7,0. Середовище розлити по 100 мл в конічні колби об'ємом 500 мл.

Підготувати інокулят. *B. thuringiensis* вирощують протягом 18 годин у поживному бульйоні на мікробіологічній качалці (200 об/хв), *B. bassiana* – у середовищі з кукурудзяним екстрактом та зеленою патокою протягом 4-5 діб при 27-29 °С.

Засіяти колби з поживним середовищем у кількості 2 % від об'єма. Бактерії культивують 48 годин, гриби – 4-5 діб у тих самих умовах, що для отримання інокуляту.

2. **Визначення титру спор у рідких біопрепаратах.** Титр спор *B. thuringiensis* визначають висівом 10-ти кратних розведень рідкого препарату на поверхню поживного агару. Для приготування розведень використовують стерильний фізіологічний розчин (0,5 % хлориду натрію). Для цього в ряд пробірок наливають по 4,5 мл фізіологічного розчину. Потім у першу пробірку стерильною піпеткою наливають 0,5 мл рідкого препарату та отримують розведення 1:10, беруть нову стерильну піпетку та ретельно перемішують отриману суспензію, пропускаючи її декілька разів через піпетку та наливають 0,5 мл у другу пробірку (отримують розведення 1:10²). Таким чином роблять наступні розведення 1:10³, 1:10⁴, 1:10⁵, 1:10⁶ та 1:10⁷. Посів трьох останніх розведень здійснюють на поверхню щільного поживного середовища, яке розливають у чашки Петрі за 1-3 дні до посіву. Для кожного розведення беруть не менше 3 чашок. Об'єм посівного матеріалу – 0,05 мл, який ретельно розподіляють стерильним шпателем по поверхні середовища. Чашки інкубують в термостаті при 29 °С (бактерії протягом доби).

По закінченню терміну інкубації підраховують кількість колоній *B. thuringiensis* на кожній чашці. Кращим розведенням вважається те, при висіві з якого виростає від 50 – 150 колоній. Якщо колоній на чашці менше 10, то такі результати не враховують. Кількість бактерій в 1 мл препарату визначають за формулою (1.1):

$$M = (a \times K) / V, \quad (1.1)$$

де M – кількість спор в 1 мл препарату, a – середня кількість колоній, що виросли при висіві з даного розведення; K – розведення, з якого здійснили висів; V – об'єм суспензії, взятий для висіву.

Підрахунок титру бластоспор *B.bassiana* здійснюють за допомоги камери Горяєва-Тома.

Камера Горяєва-Тома – товсте скло, що розділене борозенками (рис.1). На центральну частину скла нанесена сітка. Площа квадрата сітки складає 1/25 мм² для великого квадрата та 1/400 мм² для малого квадрата сітки. Частина предметного скла, на якій нанесена сітка на 0,1 мм нижче розташована, ніж інші дві сторони. Це – глибина камери. Площа квадратів сітки та глибина камери зазначені на предметному склі.

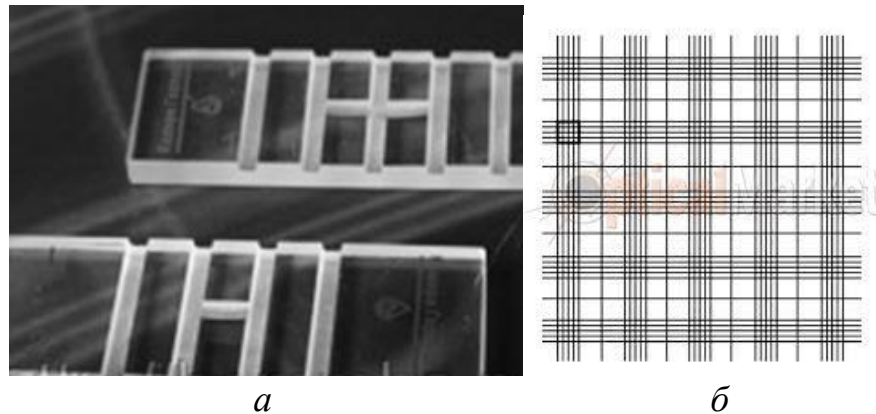


Рис. 1. Камера Горяєва-Тома (а), квадрати сітки камери під мікроскопом, виділено великий квадрат сітки, в якому підраховують кількість спор гриба (б)

Під час роботи з камерою необхідно дотримуватися певних правил її заповнення. Спочатку заглиблення із сіткою накривають накривним склом і, злегка притискуючи, зміщують його в протилежні боки до появи кілець Ньютона, що вказує на те, що накривне скло добре притерте до сторін камери. Тільки у цьому випадку забезпечується точність підрахунку клітин в одиниці об'єму. Після цього камеру заповнюють суспензією, що містить мікроорганізми. Суспензію вносять через борозенки камери за допомоги піпетки. Підрахунок бластоспор здійснюють через 3-5 хвилин після заповнення камери, використовуючи об'єктив 40×. Зазвичай підраховують бластоспори в 10 великих або 20 малих квадратах сітки, що розташовані по діагоналі. Враховують усі бластоспори, що знаходяться всередині квадрата, а також ті, що пересікають верхню та праву сторони квадрата. При підрахунку кількість бластоспор у великому квадраті не повинна перевищувати 20, а в малому – 10. Якщо значення перевищують цю кількість, суспензію треба розвести водопровідною водою, а ступінь розведення врахувати при визначенні титру бластоспор. Для отримання достовірного результату загальна кількість підрахованих спор повинна бути не менше 600.

Титр бластоспор визначають за формулою (1.2):

$$M = \frac{a \times 10^3}{hS} \times n, \quad (1.2)$$

де M – кількість бластоспор в 1 мл препарату, a – середня кількість бластоспор в квадраті сітки, h – глибина камери в мм, S – площа 1 квадрата, мм², 10^3 – коефіцієнт переведення кубічних сантиметрів в кубічні міліметри; n – розведення досліджуваної суспензії.

3. **Визначення інсектицидної активності біопрепаратів.** Личинок мух розміщують по 20 особин у склянки. Готують корм для личинок: молоко розводять водою у співвідношенні 1:1, додають 5 % дріжджів (для контрольних комах). Для дослідних комах замість води наливають розчин препаратів, що містить 10^8 спор/мл мікроорганізмів. В одному з варіантів досліду застосовують інфікування сумішшю препаратів у співвідношенні 1:1. Рідину абсорбують однаковими за розмірами шматочками вати та поміщають у склянки з личинками мух. Склянки зав'язують 2 шарами марлі, на марлю поміщають шматок вати, змочений водою і залишають при 25-27 °С до утворення імаго мух. Повторність кожного досліду 3-5 раз. Підраховують кількість імаго та визначають кількість загиблих личинок.

Інсектицидну активність виражають у % загибелі з поправкою на контроль за формулою Аббота (1.3):

$$A = (M_o - M_k / 100 - M_k) \times 100, \quad (1.3)$$

A - загибель комах (у%), M_o , M_k – відсоток загиблих особин в досліді і в контролі. Загибель у контролі не повинна перевищувати 15%.

Порівнюють інсектицидну активність отриманих рідких препаратів та їх комплексу відносно личинок мух і роблять висновки стосовно якості отриманих рідких препаратів та ефективності їх сумісного застосування.

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте біооб'єкти, які застосовують для отримання біологічних інсектицидів.
2. Як визначають титр бактеріальних препаратів?
3. Як проводять дослід із підрахунку бластоспор гриба в камері Горяєва-Тома? Яких вимог треба дотримуватися для отримання достовірного результату підрахунку спор?
4. Яким чином визначають інсектицидну активність препаратів?

Практична робота №2 РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМУ АЕРОТЕНКІВ

Мета: отримання практичних навичок з розрахунків очисних споруд біологічного призначення – аеротенків.

Теоретичні відомості

Аеротенк – це залізобетонний аерований резервуар відкритого типу висотою 3-6 м, обладнаний пристроями для аерації і з'єднаний з відстійником. Аеротенк розділено перегородками на 3-4 коридори. Процес очищення в аеротенку йде в міру протікання через нього аерованої суміші стічної води й активного мулу (рис.2).

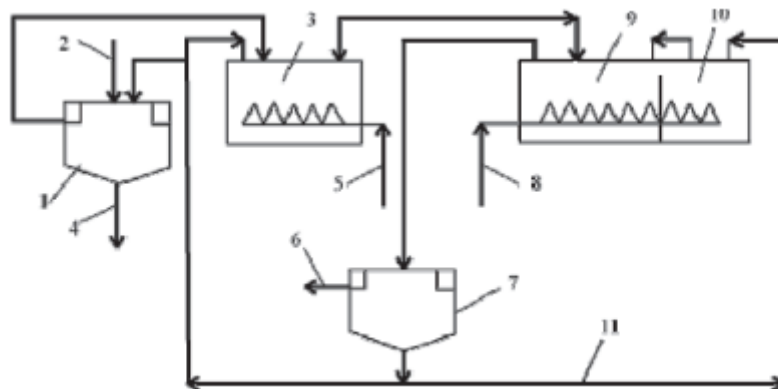


Рис. 2. Схема установки для біологічного очищення стічних вод: 1 – первинний відстійник; 2 – вхідні стічні води на очищення; 3 – преаератор; 4 – осад; 5, 8 – повітря; 6 – очищені стічні води; 7 – вторинний відстійник; 9 – аеротенк; 10 – регенератор; 11 – активний мул (Корнієнко І. М., 2012)

Активний мул – компактні пластівці, утворені зооглейними скупченнями бактерій, найпростіших, водних грибів, дріжджів і більш високоорганізованих представників фауни: коловороток, черв'яків, личинок комах, які розвиваються в аеробних умовах на частинках органічних забруднень. Аерація необхідна для насичення води киснем і підтримки мулу в зваженому стані. Стічну воду направляють у відстійник, куди для поліпшення осадження зважених часток можна подавати частину надлишкового мулу. Потім просвітлена вода надходить у преаератор-усереднювач, у який направляють мул із вторинного відстійника. Тут стічні води попередньо аеруються повітрям протягом 5-20 хв. У разі потреби в преаератор можуть бути введені нейтралізуючі добавки і живильні речовини. З усереднювача стічну воду подають в аеротенк, через який циркулює й активний мул.

Біохімічні процеси, що протікають в аеротенку можна розділити на два етапи:

- адсорбція поверхнею активного мулу органічних речовин і мінералізація легко окиснюваних речовин при інтенсивному споживанні кисню;
- доокиснення органічних речовин, які повільно окислюються, регенерація активного мулу. На цьому етапі кисень витрачається повільніше.

Аеротенк, як правило, розділений на дві частини: регенератор (25% від загального обсягу) і власне аеротенк, у якому йде основний процес очищення. Наявність регенератора дає можливість очищати більш концентровані стічні води і збільшити продуктивність агрегату.

Стічна рідина повинна містити не більш 150 мг/л зважених часток і не більш 25 мг/л нафтопродуктів. Температура вод, що очищаються, не повинна бути нижче 6 °С і вище 30 °С, а рН – у межах 6,5-9. Після перебування в аеротенку стічна вода з мулом надходить у вторинний відстійник, де відбувається відділення мулу від води. Більшу частину мулу повертають в аеротенк, а його надлишок направляють у преаератор.

У практиці застосовуються в основному два види аеротенків: витиснювачі і змішувачі. Вони відрізняються один від одного технологічними схемами (рис. 3).

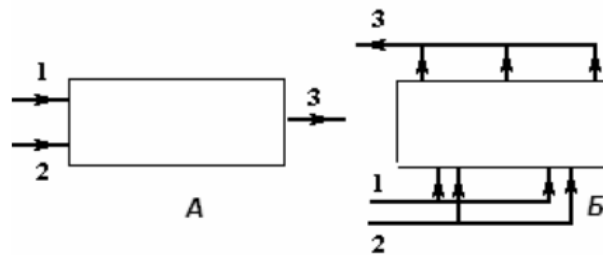


Рис. 3. Схеми роботи аеротенків: А – витиснювач; Б – змішувач; 1 – стічна вода; 2 – активний мул; 3 – мулова суміш (А.І. Горова та ін., 2012)

В аеротенку-витиснювачі підтримується режим, при якому стічні води послідовно переміщуються по коридорах без повного перемішування, а біохімічні процеси на кожному відрізку шляху проходять з різною швидкістю, тобто рівень забруднень за показником біологічної потреби кисню (БПК) зменшується поступово. Аеротенки-витиснювачі більш застосовні під час очищення стічних вод багатокомпонентного складу, що містять значну частку під час промислових скидів із концентрацією забруднювальних речовин за $BPK_{повн}$ не більше ніж 500 мг/дм³.

В аеротенках-змішувачах порції стічної рідини, що надходить, майже миттєво перемішуються з усією масою очищеної стічної води та активного мулу, це дозволяє рівномірно розподіляти кисень і навантаження в органічних речовинах на активний мул. У них забезпечується повне й швидке змішування стічних вод із масою активного мулу, в сталому режимі вони працюють із рівномірними швидкостями процесу очищення. Аеротенки-змішувачі використовують під час очищення висококонцентрованих промислових стічних

вод, подібних за складом до побутових (харчові комбінати, пивні та рибні заводи).

Завдання

1. Ознайомитися з ДБН В.2.5-74:2013 та методологією розрахунків аеротенків за наведеними формулами.
2. Розв'язати задачі за наведеним прикладом.
3. Самостійно розв'язати задачі за вказаним варіантом.

Хід роботи

Розрахунок аеротенків включає:

- 1) визначення ємності та габаритів спорудження,
- 2) обсягу необхідного повітря та надлишкового активного мулу;
- 3) тривалість аерації, у тому числі час, необхідний для очищення води в процесі регенерації активного мулу і необхідний час очищення води.

Тривалість аерації в аеротенках, що працюють як змішувачі, визначається за формулою:

$$t = \frac{L_a - L_t}{a \cdot (1 - S_L) \rho}, \text{ ГОД} \quad (2.1)$$

де L_a – БПК_{повн} (біологічна потреба кисню) стічної води, що надходить до аеротенку, мг/л;

L_t – БПК_{повн} очищеної води, мг/л;

a – доза мулу (г/л), для аеротенків, розрахованих на повне очищення міських стічних вод необхідно 1 – 3 г/л кількості мулу: при БПК_{повн} стічної води, що надходить до аеротенку до 100 → $a=1,2$; при $L_a = 101 - 150$ → $a = 1,5$; при $L_a = 151 - 200$ → $a = 1,8$; при L_a понад 201 → $1,8 < a < 3$; для аеротенків розрахованих на повну мінералізацію мулу $a=5$ г/л.

S_L – зольність мулу в частках одиниць, приймається для аеротенків з повною мінералізацією мулу 0,35;

ρ – середні розрахункові швидкості окиснювання в мг БПК_{повн} на 1г беззольної речовини мулу за 1год.

Значення t , підраховане за (2.1) справедливе, якщо середньорічна температура стічної води складає $T=15^\circ \text{C}$, при інших значеннях температури обчислена величина t збільшується на відношення $t=15/T$. Тривалість аерації приймається не менше ніж 2год.

Робочий обсяг аеротенку визначають за формулою:

$$V = t \frac{Q}{24}, \text{ м}^3 \quad (2.2)$$

де Q – розрахункова витрата стічної води, м³/добу.

При проектуванні аеротенків з регенераторами підраховують роздільно час і параметри споруджень, необхідні для очищення води t_a , загальний час

окиснення забруднень t_0 , і за різницею цих величин – час перебування мулу в регенераторі для закінчення окисних процесів переробки забруднень $t_{рег}$.

$$t_a = \frac{2,5}{a^{0,5}} \cdot \lg \frac{L_a}{L_t} \quad (2.3)$$

$$t_0 = \frac{L_a - L_t}{\alpha \cdot a_{рег} \cdot (1 - S_L) \rho} \quad (2.4)$$

$$t_{рег} = t_0 - t_a \quad (2.5)$$

$$\alpha = \frac{a}{a_{рег} - a} \quad (2.6)$$

де α – частка витрати циркулюючого мулу від розрахункової витрати стічної води;

a – доза мулу в аеротенку, г/л;

$a_{рег}$ – доза мулу в регенераторі, г/л, для умовних розрахунків $a_{рег} = 4$ г/л.

Обсяги споруджень аеротенків з регенераторами розраховуються подібним чином - різниця між загальним обсягом споруди та обсягом регенератора:

$$V_a = t_a (1 + \alpha) \cdot Q \quad (2.7)$$

$$V_{рег} = t_{рег} \cdot \alpha \cdot Q \quad (2.8)$$

$$V = V_a + V_{рег} \quad (2.9)$$

де Q – розрахункова витрата стічних вод, м³/Год;

$V_a, V_{рег}$ – обсяг аеротенку та регенератора відповідно, м³;

V – загальний обсяг системи з очищення стічної води, м³.

Ступінь регенерації активного мулу розраховують за формулою (2.10):

$$P_{рег} = \frac{t_0 - t_a}{t_0} \cdot 100, \% \quad \text{або} \quad P_{рег} = \frac{V_a}{V} \cdot 100, \% \quad (2.10)$$

Приріст мулу в аеротенках усіх систем при очищенні міських стічних вод визначається за формулою (2.11):

$$P_p = 0,8B + 0,3 L_a, \text{ мг/л} \quad (2.11)$$

де B – вміст зважених речовин у воді, що надходить до аеротенку, мг/л. Питома витрата повітря D (м³/м³) при очищенні в аеротенках визначають відношенням витрати кисню, що необхідний для обробки 1 м³ води, до витрати кисню, що використовується з 1 м³ повітря:

$$D = \frac{z \cdot (L_a - L_t)}{k_1 \cdot k_2 \cdot n_1 \cdot n_2 (C_p - C)}, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (2.12)$$

де z – питома витрата кисню у мг/мг БПК_{повн} (для повного очищення $z = 1,1$ мг/мг; для часткового очищення стічної води $z = 0,9$ мг/мг; для повної мінералізації $z = 2,2$ мг/мг;

k_1 – коефіцієнт, що враховує тип аератора, $k_1 = 1,47$;

k_2 – коефіцієнт, що залежить від глибини занурення аератора, $k_2 = 2,68$;

n_1 – коефіцієнт, що враховує температуру стічної води, $n_1 = 1,02$;

n_2 – коефіцієнт, що враховує відношення швидкості переносу кисню у муловій суміші до швидкості переносу його у чистій воді (для побутових стічних вод $n_2 = 0,85$, для промислових стічних вод $n_2 = 0,7$);

C_p – розчинність кисню повітря у воді ($C_p = 10,7$ мг/л);

C - середня концентрація кисню в аеротенку (приймається $C = 2$ мг/л).

Загальна витрата повітря розраховується за формулою (2.13):

$$D_{\text{заг}} = D \cdot Q, \quad (\text{м}^3/\text{м}^3)$$

Робочу глибину аеротенків приймають від 3 до 6 м, відношення ширини коридору до робочої глибини аеротенків набуває 1:1 або 2:1.

Для аеротенків і регенераторів кількість секцій повинна бути не менше двох. Для системи з очищення стічних вод в обсязі до 50 000 м³ /добу кількість секцій призначається від 4 до 6. При більшій продуктивності – від 8 до 10 секцій. Кожна секція складається з 2 до 4 коридорів.

У практиці проектування і будівництва аеротенків використовують типові проекти інженерного устаткування:

- робоча глибина типових аеротенків 3,2; 4,4; 5 м;
- ширина коридорів 4,5; 6; 9 м;
- довжина коридорів від 36 до 114 м з кроком у 6 м;
- число коридорів у секціях 2; 3; 4.

Приклад 2.1. Розрахувати аеротенк при наступних вихідних даних: витрата побутових стічних вод – 50 000 м³ / добу; БПК_{повн} стічної води, що надходить до системи очищення, $L_a = 145$ мг/л; БПК_{повн} очищеної стічної води $L_t = 15$ мг/л; середньорічна температура стічної води $T = 14$ °С; середня швидкість окислення $\rho = 20,8$ мг/г·год; концентрація зважених речовин при надходженні у систему $V = 150$ мг/л.

Розв'язання. Тривалість аерації стічних вод в аеротенку визначають за формулою (2.1). Оскільки величина $L_a < 150$ приймаємо дозу мулу $a = 1,5$ г/л.

$$t = \frac{L_a - L_t}{a \cdot (1 - S_L) \rho} = \frac{145 - 15}{1,5 \cdot (1 - 0,35) \cdot 20,8} = 6,4 \text{ год}$$

Оскільки формула (2.1) справедлива для середньорічної температури стічної води 15°C, вводять виправлення на фактичну температуру, що дорівнює 14°C та уточнюють необхідний час аерації:

$$t = t \cdot \frac{15}{T} = 6,4 \cdot \frac{15}{14} = 6,9 \text{ год.}$$

Робочий обсяг аеротенку визначають за формулою (2.2):

$$V = t \cdot \frac{Q}{24} = 6,9 \cdot \frac{50000}{24} = 14\,375 \text{ м}^3$$

Приймаємо аеротенк з робочою глибиною аеротенку – 3,2 м, кількість секцій – 6; кількість коридорів – 3; ширина коридору – 6 м. Довжину коридору необхідно розрахувати через інші підібрані параметри.

Об'єм одного коридору аеротенку

$$V_{\text{коридор}} = \frac{V}{K_{\text{коридор}}} = \frac{14375}{6 \cdot 3} = 798,6 \text{ м}^3$$

Довжину коридору аеротенку розраховують через його об'єм:

$$V_{\text{коридор}} = \text{Ш} \cdot \text{Д} \cdot \Gamma \rightarrow \text{Д} = \frac{V_{\text{коридор}}}{\text{Ш} \cdot \Gamma} = \frac{798,6}{6 \cdot 3,2} = 41,6 \text{ м}$$

Розрахункову довжину коридору секції аеротенку підібрано згідно типових розмірів з кроком 6. Отже довжина коридору складає 42м.

Приріст мулу в аеротенку розраховано за формулою (2.11):

$$Pr = 0,8 \cdot B + 0,3 \cdot L_a = 0,8 \cdot 150 + 0,3 \cdot 145 = 120 + 43,5 = 163,5 \text{ (мг/л)}$$

Питому витрату повітря розраховано за формулою (2.12):

$$D = \frac{z \cdot (L_a - L_t)}{k_1 \cdot k_2 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot (C_p - C)} = \frac{1,1 \cdot (145 - 15)}{1,47 \cdot 2,68 \cdot 1,01 \cdot 0,85 \cdot (10,7 - 2)} = 4,8 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Загальну витрату повітря розраховано за формулою (2.13):

$$D_{\text{заг}} = D \cdot Q = 4,8 \cdot 50\,000 = 240\,000 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Висновок: тривалість аерації при очищенні стічних вод в кількості 50 000 м³ /добу при БПК_{повн} стічної води, що надходить до системи очищення, 145 мг/л із середньою швидкістю окислення 20,8 мг/год. відбувається протягом 6,9 год. В таких умовах необхідний об'єм аеротенку 14 375 м³ з робочою глибиною 3,2 м кількістю секцій – 6, кількість коридорів в кожній секції – 3; ширина кожного коридору – 6 м, довжина – 42 м. Приріст мулу в аеротенку 163,5 мг/л; загальна витрата повітря в даному аеротенку складає 240 000 м³/м³.

Приклад 2.2. Розрахувати аеротенк з регенератором при наступних вихідних даних: витрата промислових стічних вод дорівнює 50 000 м³ /добу; БПК_{повн} очищених стічних вод 15 мг/л ; БПК_{повн} стічних вод, що надходять до системи очищення, 155 мг/л; середньорічна температура стічних вод 15 °С; середня швидкість окислення 20,8 мг/г·год; концентрація зважених речовин 160 мг/л.

Розв'язання. Для даних аеротенків з регенераторами необхідно окремо підрахувати час і об'єми споруджень. Час для очищення води t_a розраховано за формулою (2.3), загальний час окислення забруднень t_0 – за формулою (2.4), час перебування мулу в регенераторі для закінчення окисних процесів переробки забруднень t_{pez} – за формулою (2.5):

$$t_a = \frac{2,5}{a_a^{0,5}} \cdot \lg \frac{L_a}{L_t} = \frac{2,5}{1,8^{0,5}} \cdot \lg \frac{155}{15} = 1,9 \text{ (год)}$$

$$t_0 = \frac{L_a - L_t}{\alpha \cdot a_{pez} \cdot (1 - S_L) \rho} = \frac{155 - 15}{0,8 \cdot 4(1 - 0,35) \cdot 20,8} = 3,24 \text{ (год)}$$

$$t_{pez} = t_0 - t_a = 3,24 - 1,9 = 1,34 \text{ (год)}$$

Частку витрати циркулюючого мулу від розрахункової витрати стічної води a у формулі (2.4) розраховано за формулою (2.6) через дози мулу в аеротенку та регенераторі. Оскільки величина $L_a > 150$ приймаємо дозу мулу в аеротенку $a = 1,8$ г/л.

$$\alpha = \frac{a}{a_{pez} - a} = \frac{1,8}{4 - 1,8} = 0,8$$

Обсяги аеротенку V_a та регенератора V_{pez} відповідно знаходимо за формулами (2.7), (2.8), загальний об'єм системи з очищення стічної води V за формулою (2.9):

$$V_a = t_a \cdot (1 + \alpha) \cdot Q = 1,9 \cdot (1 + 0,8) \cdot 50000 = 171000 \text{ (м}^3\text{)}$$

$$V_{pez} = t_{pez} \cdot \alpha \cdot Q = 1,34 \cdot 0,8 \cdot 50000 = 53600 \text{ (м}^3\text{)}$$

$$V = V_a + V_{pez} = 171000 + 53600 = 224600 \text{ (м}^3\text{)}$$

Приріст мулу в аеротенку розраховано за формулою (2.11):

$$PP = 0,8 \cdot B + 0,3 \cdot L_a = 0,8 \cdot 160 + 0,3 \cdot 155 = 174,5 \text{ (мг / мг)}$$

Питому витрату повітря розраховано за формулою (2.12), а загальну витрату повітря - за формулою (2.13):

$$D = \frac{z \cdot (L_a - L_t)}{k_1 \cdot k_2 \cdot n_1 \cdot n_2 (C_p - C)} = \frac{1,1(155 - 15)}{1,47 \cdot 2,68 \cdot 1,02 \cdot 0,7 \cdot (10,7 - 2)} = 6,68 \text{ (м}^3 / \text{м}^3\text{)}$$

$$D_{заг} = D \cdot Q = 6,68 \cdot 50000 = 334000 \text{ (м}^3 / \text{м}^3\text{)}$$

Ступінь регенерації активного мулу розраховано за формулою (2.10) через об'єми споруд:

$$P_{pez} = \frac{V_a}{V} \cdot 100 = \frac{171000}{224600} \cdot 100 = 76,1 \%$$

Підбираємо робочі параметри аеротенку. Приймаємо, що аеротенк має кількість секцій 6, кількість коридорів 4, тоді об'єм коридору дорівнюватиме:

$$V_{\text{коридору}} = \frac{V}{24} = \frac{171000}{24} = 7125 \text{ (м}^3\text{)}$$

Приймаємо глибину коридору 4,4 м, ширину – 6 м. Тоді довжину коридору аеротенку необхідно розрахувати через його об'єм:

$$V_{\text{коридор}} = \text{Ш} \cdot \text{Д} \cdot \Gamma \rightarrow \text{Д} = \frac{V_{\text{коридор}}}{\text{Ш} \cdot \Gamma} = \frac{7125}{6 \cdot 4,4} = 269,9 \text{ м}$$

Отримана довжина коридору аеротенку є завеликою у порівнянні з типовим устаткуванням, тому змінюємо попередньо обрані параметри аеротенку. Приймаємо максимальну глибину та ширину коридору 5 м і 9 м, відповідно. Виконаємо уточнюючий розрахунок:

$$\text{Д} = \frac{V_{\text{коридор}}}{\text{Ш} \cdot \Gamma} = \frac{7125}{9 \cdot 5} = 158,3 \text{ м}$$

Навіть при максимальних параметрах довжина аеротенку не відповідає типовим умовам. Приймаємо аеротенк з більшою кількістю секцій – 9 шт., інші розміри без змін: кількість коридорів 4, глибина коридору 5 м, ширина – 9 м. Виконаємо уточнюючий розрахунок довжини коридору аеротенку:

$$V_{\text{коридору}} = \frac{V}{8 \cdot 4} = \frac{171100}{9 \cdot 4} = 4753 \text{ (м}^3\text{)}$$

$$\text{Д} = \frac{V_{\text{коридор}}}{\text{Ш} \cdot \Gamma} = \frac{4753}{9 \cdot 5} = 105,6 \text{ м}$$

Розрахункову довжину коридору секції аеротенку підбрано згідно розмірів, що відповідають типовим. Приймаємо довжину коридору секції аеротенку 108 м.

Висновок: розрахований час на очищення стічних вод в кількості 50 000 м³ /добу при БПК_{повн} стічної води, що надходить до системи очищення, 155 мг/л із середньою швидкістю окислення 20,8 мг/г·год складає 3,24 год., з них тривалість аерації складає 1,9 год., регенерації – 1,34 год. Для таких умов необхідний загальний об'єм споруди – 224 600 м³, аеротенку – 171 000 м³, регенератора – 53600 м³. Приріст мулу в аеротенку 174,5 мг/л; загальна витрата повітря в даному аеротенку складає 334000 м³/м³. Ступінь регенерації активного мулу 76,1%. Розраховані робочі параметри аеротенку: кількість секцій – 9, кількість коридорів в кожній секції – 4; глибина коридору – 5 м, ширина – 9 м, довжина – 108 м.

Контрольні запитання

1. Дати визначення аеротенк.
2. Що таке активний мул?
3. Охарактеризуйте біохімічні процеси, що протікають в аеротенку.
4. Як івиди аеротенків існують?
5. Що включає розрахунок аеротенку?

6. Як здійснюють розрахунок аеротенку з регенератором?

Варіанти для розв'язання задач

Варіант	Витрати води, м ³ /добу	L_a , мг/л	L_t , мг/л	T, °C	ρ , мг/г·год	B, мг/л
1.	10000	100	7	10	20	100
2.	15000	110	11	15	21	110
3.	20000	112	12	14	22	120
4.	25000	130	13	10	23	125
5.	30000	136	15	12	22	120
6.	35000	140	16	15	21	150
7.	40000	144	19	13	24	160
8.	45000	154	22	11	22	155
9.	50000	180	15	14	21	159
10.	55000	250	7	13	20	160

Практична робота №3

РОЗРАХУНОК ОЧИСНИХ СПОРУД ЗНЕШКОДЖЕННЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД – МЕТАНТЕНКІВ

Мета: виконання розрахунків очисних споруд знешкодження осадів стічних вод – метантенків.

Теоретичні відомості

Процес очищення протікає більш стійко і повно, коли ведуть спільне очищення виробничих і побутових стічних вод, оскільки побутові води містять біогенні елементи, а також розбавляють виробничі стічні води. Побутові стічні води надходять в усереднювач, а потім у відстійник. Після освітлення воду направляють у змішувач, де змішують з виробничою стічною водою, що надходить з відстійника. Далі суміш побутових і промислових вод надходить в аеротенк. Після відділення активного мулу у вторинному відстійнику, стічні води знешкоджують хлором, потім скидають у водойму чи направляють для використання у виробництві. Осад з відстійників надходить у метантенки.

Метантенки – герметичні реактори-змішувачі заповнені іммобілізованим активним мулом, в яких створюються умови для інтенсивного анаеробного розкладання органічної речовини осаду асоціацією анаеробних мікроорганізмів з утворенням біогазу.

Біоценоз анаеробного активного мулу містить майже $1,5 \times 10^{10}$ кислотоутворювальних та порядку 10^7 метаноутворювальних мікроорганізмів.

До його складу входить не більше 1 % аеробних мікроорганізмів, найпростіших (інфузорій) і грибів, які потрапляють у метантенк разом зі стічною водою. Метаноутворювальні бактерії відносяться до різних популяцій: термофіли (температурні умови їх життєдіяльності до 53°C) і мезофіли (до 32°C).

В процесі метанового бродіння органічні речовини осаду перетворюються на метан – цінний газ, що має велику теплоутворювальну здатність. Треба зауважити, що в метантенках неможливо досягти повного збродження органічних речовин, оскільки анаеробне окиснення проходить з малою інтенсивністю і не забезпечує глибокої деструкції, а також вимагає стабільних і сприятливих температурних умов. Ступінь розкладання органічних речовин унаслідок анаеробного збродження становить 40 % (при цьому вихід метану дорівнює 70 %). Важливою особливістю анаеробного процесу є незначний приріст мікробної маси (на порядок менше, ніж в аеробних умовах), що не потребує видалення значної надлишкової кількості активного мулу із реактора.

Збродження осадів міських очисних споруд каналізації найчастіше здійснюють у мезофільному режимі (33-37 ° C) при тривалості процесу 20-25 діб. Перевагою такої обробки є висока ступінь розпаду органічної речовини і, відповідно, високий вихід біогазу, мінімальна витрата тепла на підтримання необхідної температури. Однак тривалий час перебування осаду в метантенках вимагає великих капітальних витрат на будівництво установок. У термофільних умовах (50-55 °C) тривалість збродження осаду значно менше (5-7 діб), але ступінь розпаду органічної речовини недостатньо висока.

Виділений у процесі бродіння газ з метантенків направляють на спалювання в котельню. Осад бродіння знешкоджують і переробляють у добриво.

Завдання

1. Ознайомитися з методологією розрахунків за наведеними формулами.
2. Розв'язати задачі за наведеним прикладом.
3. Самостійно розв'язати задачі за вказаним варіантом.

Хід роботи

Розрахунок метантенків полягає в підрахунку кількості осаду, що утворюється на станції очищення стічних вод, обґрунтованому виборі режиму анаеробного збродження, визначенні необхідного обсягу споруджень, ступеня розпаду беззольної речовини осаду та об'єму біогазу, що отримується в результаті збродження осаду.

Кількість сухої речовини осаду $O_{сyx}$ і активного мулу $M_{сyx}$ в т/добу, розраховують за наступними формулами:

$$O_{\text{ох}} = \frac{C \cdot E \cdot K}{10^3 \cdot 10^3} \cdot Q, \quad (3.1)$$

$$M_{\text{ох}} = \frac{0,8 \cdot C \cdot (1 - E) + 0,3 \cdot L_a - b}{10^3 \cdot 10^3} \cdot Q, \quad (3.2)$$

де C – концентрація зважених речовин у воді, що надходить на первинні відстійники, мг/л;

E – ефективність затримки зважених речовин у первинних відстійниках, у частках одиниці;

K – коефіцієнт, що враховує збільшення обсягу осаду за рахунок великих фракцій зважених речовин, що не уловлюються при доборі проб для аналізу ($K=1,1 \div 1,2$);

L_a – БПК_{повн} стічної води, що надходить до аеротенку, мг/л;

b – винос активного мулу з вторинних відстійників, мг/л;

Q – середня витрата стічних вод, м³/добу.

Кількість беззольної речовини осаду $O_{\text{без}}$ і активного мулу $M_{\text{без}}$ обчислюють у т/добу за формулами:

$$O_{\text{без}} = \frac{O_{\text{ох}} \cdot (100 - B^O) \cdot (100 - Z_O)}{100 \cdot 100}, \quad (3.3)$$

$$M_{\text{без}} = \frac{M_{\text{ох}} \cdot (100 - B^M) \cdot (100 - Z_M)}{100 \cdot 100}, \quad (3.4)$$

де B^O , B^M – гігроскопічна вологість відповідно сирого осаду й активного мулу, приймається рівною 5%;

Z_O , Z_M – зольність сухої речовини осаду і мулу відповідно, зольність осаду приймається 30%, зольність активного мулу – 25%.

Витрата сирого осаду і надлишкового активного мулу розраховується в м³/добу за формулами:

$$V_O = \frac{100 \cdot O_{\text{ох}}}{(100 - W_O) \cdot \rho_O}, \quad (3.5)$$

$$V_M = \frac{100 \cdot M_{\text{ох}}}{(100 - W_M) \cdot \rho_M}, \quad (3.6)$$

де W_O , W_M – вологість сирого осаду та надлишкового активного мулу відповідно, %. При видаленні осаду з відстійників насосами його вологість можна прийняти рівною 94%, вологість ущільненого активного мулу – 97 %.

ρ_O , ρ_M – щільність відповідно осаду й активного мулу. При вологості сирого осаду та надлишкового активного мулу близькій до 100 % щільність осаду й активного мулу можна вважати рівною 1 т/м³.

Загальна витрата осадів на станції очищення стічних вод: за сухою речовиною (т/доба):

$$M'_{\text{ох}} = O_{\text{ох}} + M_{\text{ох}} \quad (3.7)$$

за беззольною речовиною (т/доба):

$$M'_{\text{без}} = O_{\text{без}} + M_{\text{без}} \quad (3.8)$$

за обсягом суміші фактичної вологості (м³/доба):

$$V_{\text{зас}} = V_o + V_M \quad (3.9)$$

Середні значення вологості суміші (B_c) і зольності ($З$) у % розраховують за формулами:

$$B_c = 100 \cdot \left(1 - \frac{M'_{\text{срх}}}{V_{\text{зас}}} \right), \quad (3.10)$$

$$З = 100 \cdot \left(1 - \frac{M'_{\text{без}} \cdot 100}{O_{\text{срх}} \cdot (100 - B^O) + M_{\text{срх}} \cdot (100 - B^M)} \right). \quad (3.11)$$

Знаючи фактичну вологість суміші, можна підрахувати необхідний об'єм метантенка у м³ згідно формули (3.12):

$$V = \frac{V_{\text{зас}} \cdot 100}{D}, \quad (3.12)$$

де D – добова доза завантаження осаду в метантенк у %, прийнята в залежності від обраного режиму зброджування та вологості суміші (табл.1).

Таблиця 1

Добова доза завантаження осаду в метантенк (D)

Вологість суміші (B_c), %	93	94	95	96	97
Добова доза завантаження осаду в метантенк (D), % (мезофільний режим, $t=33^{\circ}\text{C}$)	7	8	9	10	11
Добова доза завантаження осаду в метантенк (D), % (термофільний режим, $t=53^{\circ}\text{C}$)	14	16	18	20	22

Корисний обсяг типових залізобетонних метантенків складає 1000, 1600, 2500 та 4000 м³, для експлуатації обирають не менше 2 метантенків, сумарний фактичний об'єм яких не повинен бути меншим від розрахункового значення V .

Фактична доза загрузки (D') для обраних метантенків визначається за формулою:

$$D' = \frac{V_{\text{зас}} \cdot 100}{V_{\text{мт}} \cdot n}, \quad (3.13)$$

де $V_{\text{мт}}$ – обсяг обраного метантенку, n – кількість метантенків.

Розпад беззольної речовини осаду (%) в залежності від дози завантаження визначається за формулою:

$$R_r = R_{lim} - K_r \cdot D', \quad (3.14)$$

де R_{lim} – максимально можливе зброджування беззольної речовини осаду, що завантажується, %:

$$R_{lim} = \left(0,92 \cdot C_{fat} + 0,62 \cdot C_{gl} + 0,34 \cdot C_{prt} \right) \cdot 100, \% \quad (3.15)$$

де C_{fat} , C_{gl} , C_{prt} – відповідно вміст жирів, вуглеводів та білків у 1 г беззольної речовини, що визначається аналізом; K_r – коефіцієнт, що залежить від вологості осаду (табл. 2).

Таблиця 2

Значення коефіцієнту K_r в залежності від вологості осаду

Режим зброджування	Значення коефіцієнту K_r в залежності від вологості, %				
	93	94	95	96	97
Мезофільний	1,05	0,89	0,72	0,56	0,4
Термофільний	0,455	0,385	0,31	0,24	0,17

За відсутністю даних R_{lim} допускається приймати: для сирого осаду $R_{lim.oc.}$ (з первинних відстійниках) – 53 %; для активного мулу $R_{lim.м.}$ – 44 %; для суміші осадів – за середньоарифметичним співвідношенням змішуваних компонентів забеззольною речовиною:

$$R_{lim} = \frac{R_{lim.oc.} \cdot O_{б\acute{e}з} + R_{lim.м.} \cdot M_{б\acute{e}з}}{M'_{б\acute{e}з}}, \% \quad (3.16)$$

Маса беззольної речовини, що розпалася в процесі анаеробного зброджування осаду визначають за формулою:

$$M_{роз} = \frac{M'_{б\acute{e}з} \cdot R_r}{100}, \quad \text{т/добу} \quad (3.17)$$

Розпад беззольної речовини призводить до зменшення маси сухої речовини і збільшенню вологості осаду, причому сумарний об'єм суміші після зброджування практично не змінюється.

Масу беззольної речовини зброженого осаду розраховують за формулою:

$$M''_{б\acute{e}з} = \frac{M'_{б\acute{e}з} \cdot (100 - R_r)}{100}, \quad \text{т/ доба} \quad (3.18)$$

Маса сухої речовини в суміші після зброджування:

$$M''_{\text{сух}} = \left(M'_{\text{сух}} - M'_{\text{без}} \right) + M''_{\text{без}}, \text{ т/ доба} \quad (3.19)$$

Різниця $M'_{\text{сух}} - M'_{\text{без}}$ є зольною частиною суміші, що не змінюється в процесі зброджування.

Вологість збродженої суміші визначають за формулою:

$$B_c' = 100 - \frac{M''_{\text{сух}}}{V_{\text{газ}}} \cdot 100, \% \quad (3.20)$$

Зольність збродженої суміші:

$$Z' = 100 - \frac{M''_{\text{без}} \cdot 10000}{M''_{\text{сух}} \cdot (100 - P_g)}, \% \quad (3.21)$$

де P_g – гігроскопічна вологість збродженої суміші, яка рівна 6 %.

Об'єм біогазу, який отримується в результаті зброджування осаду:

$$V_c = 1000 \cdot q_c \cdot M_{\text{роз}}, \text{ м}^3/\text{доба} \quad (3.22)$$

де q_c – питомий вихід газу, що становить 1 м³ на 1 кг беззольної речовини осаду, що розпався.

Необхідний вміст газгольдерів для регулювання тиску та зберігання біогазу складає

$$W_{\text{гз}} = \frac{V_c \cdot t_3}{24}, \text{ м}^3, \quad (3.23)$$

де t_3 – тривалість перебування біогазу в газгольдерах, яка приймається в межах 2-4 год.

Кількість газгольдерів приймається не менше 2. Типові газгольдери мають об'єми 100, 300, 600, 1000, 3000, 6000 м³.

Приклад 3.1 Виконати розрахунок метантенків для станції повного біологічного очищення продуктивністю 50 000 м³/добу, якщо у воді, що надходить на станцію концентрація зважених речовин 200 мг/л, БПК_{повн} – 180 мг/л, ефективність освітлення в первинних відстійниках – 50%. Видалення осаду з відстійників відбувається насосами. Винос активного мулу з вторинних відстійників $b=15$ мг/л.

Розв'язання. За формулами (3.1) - (3.2) необхідно визначити витрати осаду і мулу за сухою речовиною:

$$O_{\text{ох}} = \frac{C \cdot E \cdot K}{10^3 \cdot 10^3} \cdot Q = \frac{200 \cdot 0,5 \cdot 1,1}{10^6} \cdot 50000 = 5,5 \text{ т/добу}$$

$$M_{\text{ох}} = \frac{0,8 \cdot C \cdot (1 - E) + 0,3 \cdot L_a - b}{10^3 \cdot 10^3} \cdot Q = \frac{0,8 \cdot 200 \cdot (1 - 0,5) + 0,3 \cdot 180 - 15}{10^6} \cdot 50000 = 5,95 \text{ т/добу}$$

За формулами (3.3) - (3.4) визначають витрати осаду і мулу за беззольною речовиною:

$$O_{\text{бес}} = \frac{O_{\text{сгх}} \cdot (100 - B^O) \cdot (100 - 3_O)}{100 \cdot 100} = \frac{5,5 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 30)}{10^4} = 3,66 \text{ т/добу}$$

$$M_{\text{бес}} = \frac{M_{\text{сгх}} \cdot (100 - B^M) \cdot (100 - 3_M)}{100 \cdot 100} = \frac{5,95 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 25)}{10^4} = 4,24 \text{ т/добу}$$

Витрата сирого осаду і надлишкового активного мулу розраховується за формулами (3.5) - (3.6):

$$V_O = \frac{100 \cdot O_{\text{сгх}}}{(100 - W_O) \cdot \rho_O} = \frac{100 \cdot 5,5}{(100 - 94) \cdot 1} = 91,7 \text{ м}^3/\text{добу}$$

$$V_M = \frac{100 \cdot M_{\text{сгх}}}{(100 - W_M) \cdot \rho_M} = \frac{100 \cdot 5,95}{(100 - 97) \cdot 1} = 198,3 \text{ м}^3/\text{добу}$$

За формулами (3.7) - (3.9) визначено сумарні витрати осаду і мулу:

$$M'_{\text{сгх}} = O_{\text{сгх}} + M_{\text{сгх}} = 5,5 + 5,95 = 11,45 \text{ т/добу}$$

$$M'_{\text{бес}} = O_{\text{бес}} + M_{\text{бес}} = 3,66 + 4,24 = 7,9 \text{ т/добу}$$

$$V_{\text{заг}} = V_O + V_M = 91,7 + 198,3 = 290,0 \text{ м}^3/\text{добу}$$

За формулами (3.10) - (3.11) визначено середні значення вологості і зольності:

$$B_c = 100 \cdot \left(1 - \frac{M'_{\text{сгх}}}{V_{\text{заг}}} \right) = 100 \cdot \left(1 - \frac{11,45}{290} \right) = 96\%$$

$$3 = 100 \cdot \left(1 - \frac{M'_{\text{бес}} \cdot 100}{O_{\text{сгх}} \cdot (100 - B^O) + M_{\text{сгх}} \cdot (100 - B^M)} \right) = 100 \cdot \left(1 - \frac{7,9 \cdot 100}{5,5 \cdot (100 - 5) + 5,95 \cdot (100 - 5)} \right) = 27,4\%$$

При вологості вихідної суміші 96% доза завантаження для мезофільного режиму складе 10%. Необхідний обсяг метантенку розраховано за формулою (3.12):

$$V = \frac{V_{\text{заг}} \cdot 100}{D} = \frac{290 \cdot 100}{10} = 2900 \text{ м}^3.$$

Для обробки осаду приймаємо 2 метантенка обсягом 1600 м³ кожний.

Фактичну дозу загрузки для обраних метантенків визначено за формулою (3.13):

$$D' = \frac{V_{\text{заг}} \cdot 100}{V_{\text{мт}} \cdot n} = \frac{290 \cdot 100}{1600 \cdot 2} = 9,0625$$

Фактичну дозу загрузки приймаємо за 9%.

Максимально можливе зброджування беззольної речовини осаду, що завантажуються визначено за формулою (3.16):

$$R_{lim} = \frac{R_{lim.OC} \cdot O_{\delta\epsilon\epsilon} + R_{lim.M} \cdot M_{\delta\epsilon\epsilon}}{M'_{\delta\epsilon\epsilon}} = \frac{53 \cdot 3,66 + 44 \cdot 4,24}{7,9} = 48,2 \%$$

Розпад беззольної речовини в залежності від дози завантаження визначено за формулою (3.14):

$$R_r = R_{lim} - K_r \cdot D' = 48,2 - 0,56 \cdot 9 = 43,16 \%$$

Кількість беззольної речовини, що розпалася, визначено за формулою (3.17):

$$M_{роз} = \frac{M'_{\delta\epsilon\epsilon} \cdot R_r}{100} = \frac{7,9 \cdot 43,16}{100} = 3,41 \text{ т/добу}$$

Масу беззольної речовини збродженого осаду визначено за формулою (3.18):

$$M''_{\delta\epsilon\epsilon} = \frac{M'_{\delta\epsilon\epsilon} \cdot (100 - R_r)}{100} = \frac{7,9 \cdot (100 - 43,16)}{100} = 4,49 \text{ т/добу}$$

Масу сухої речовини в суміші після зброджування визначено за формулою (3.19):

$$M''_{сух} = (M'_{сух} - M'_{\delta\epsilon\epsilon}) + M''_{\delta\epsilon\epsilon} = (11,45 - 7,9) + 4,49 = 8,04 \text{ т/добу}$$

Вологість збродженої суміші визначено за формулою (3.20):

$$B_c' = 100 - \frac{M''_{сух}}{V_{газ}} \cdot 100 = 100 - \frac{8,04}{290} \cdot 100 = 97,23 \%$$

Зольність збродженої суміші визначено за формулою (3.21):

$$Z' = 100 - \frac{M''_{\delta\epsilon\epsilon} \cdot 10000}{M''_{сух} \cdot (100 - P_g)} = 100 - \frac{4,49 \cdot 10000}{8,04 \cdot (100 - 6)} = 40,59 \%$$

Об'єм біогазу, який отримується в результаті зброджування осаду визначено за формулою (3.21):

$$V_c = 1000 \cdot q_c \cdot M_{роз} = 1000 \cdot 1 \cdot 3,41 = 3410 \text{ м}^3/\text{доба}$$

Необхідний вміст газгольдерів для регулювання тиску та зберігання біогазу визначено за формулою (3.22):

$$W_{22} = \frac{V_2 \cdot t_3}{24} = \frac{3410 \cdot 4}{24} = 568,3 \text{ м}^3$$

Приймаємо 2 газгольдера об'ємом 300 м³ кожний, що забезпечить збір газу за 4 год.

Висновок: витрати осаду і мулу за сухою речовиною на станції стічних вод складають відповідно 5,5 т/добу та 5,95 т/добу; витрати осаду і мулу за беззольною речовиною – 3,66 т/добу та 4,24 т/добу відповідно; витрати сирого осаду і надлишкового активного мулу – 91,7 м³/добу та 198,3 м³/добу відповідно; сумарні витрати осаду і мулу – 11,45 т/добу (за сухою речовиною) та 7,9 т/добу відповідно (за беззольною речовиною); необхідний обсяг метантенку – 2900м³ (обрано 2 метантенка з корисним обсягом 1600 м³ кожний); розпад беззольної речовини після метанового зброджування – 43,16 %; кількість беззольної речовини, що розпалася – 3,41 т; маса беззольної речовини зброженого осаду – 4,49 т/добу; маса сухої речовини в суміші після зброджування – 8,04 т/добу, об'єм біогазу, який отримується в результаті зброджування осаду – 3410 м³/добу (обрано 2 газгольдера на 300 м³, тривалість перебування газу в газгольдерах – 4 год).

Варіанти для розв'язання задач

Варіант	Продуктивність, тис. м ³ /добу	БПК _{повн} , мг/л	Зважені речовини, мг/л	Ефективність очищення, %	Винос активного мулу з вторинних відстійників, мг/л
1.	30	120	180	50	15
2.	40	130	190	48	15
3.	50	190	200	45	15
4.	30	140	150	50	15
5.	45	180	200	45	15
6.	35	150	180	40	15
7.	50	175	130	50	15
8.	40	180	200	45	15
9.	50	180	170	50	15
10.	35	160	150	50	15

Контрольні запитання

1. Що таке метантенк?
2. Які мікроорганізми входять у склад біоценозу анаеробного активного мулу?
3. Охарактеризуйте режими зброджування, якими здійснюють утилізацію осадів стічних вод в метантенках.

4. Які побічні продукти отримують в результаті утилізації осадів стічних вод анаеробним зброджуванням?
5. В чому полягає розрахунок метантенку?

Практична робота №4

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЕРЕТВОРЕННЯ БІОПАЛИВА В ТЕПЛОВУ АБО ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ

Мета: моделювання процесу визначення об'єму біогазогенератору для переробки відходів життєдіяльності тварин.

Теоретичні відомості

Деградація органічних речовин при метаногенезі здійснюється як багатоступінчатий процес, в якому вуглецеві зв'язки поступово руйнуються під дією різних груп мікроорганізмів. Згідно сучасним уявленням, анаеробне перетворення практично будь-якої складної органічної речовини на біогаз проходить через чотири послідовні стадії:

- стадія гідролізу складних біополімерних молекул (білків, ліпідів, полісахаридів і ін.) на простіші мономерні: амінокислоти, вуглеводи, жирні кислоти та ін.;
- стадія ферментації (бродиння) мономерів, що утворилися, до ще простіших речовин – нижчих кислот і спиртів, при цьому утворюються також вуглекислота і водень;
- ацетогенна стадія, на якій утворюються безпосередні попередники метану: ацетат, водень, вуглекислота;
- метаногенна стадія, яка веде до кінцевого продукту розщеплювання складних органічних речовин - метану.

На першому етапі анаеробного зброджування відбувається ферментативне гідролітичне розщеплювання органічних речовин широким спектром гідроліз-ферментів, що виділяються в середовище анаеробними бактеріями і отримали назву бактерій-гідролітиків. Під дією гідролітиків високомолекулярні з'єднання (полісахариди, жири, білкові речовини) трансформуються в низькомолекулярні. Останні під дією кислотогенних бактерій (другий етап) перетворюються на летючі жирні кислоти, органічні кислоти, спирти, альдегіди, аміак, сірководень, двооксид вуглецю, водень і воду. Органічні кислоти, що утворилися, за винятком оцтової і мурашкової, під дією особливої групи бактерій-ацетогенів – перетворюються на оцтову і мурашину кислоти, водень та ін. В результаті перших трьох етапів – гідролітичного, кислотного і ацетогенного – в середовищі накопичується оцтова і мурашина кислоти, метиловий спирт, метиламін, водень, оксид і

двооксид вуглецю, аміак, сірководень, оксид фосфору. Вказані з'єднання є основними субстратами для енергетичного обміну речовин особливої групи анаеробних бактерій, які вінчають складний процес розпаду біополімерів в анаеробних умовах – метаногенів.

Дана робота присвячена проблемі використання біопалива для перетворення його енергії в теплову або електричну в сільськогосподарських підприємствах і на фермах. Одним з можливих способів отримання біопалива є переробка відходів життєдіяльності тварин (гною) у біогазогенераторах. Завдяки цього можна одержувати біогаз, до складу якого (до 70 %) входить метан; теплота згоряння метану при нормальних фізичних умовах $Q_{н}^p = 28$ МДж/м³. Час повного зброджування субстрату, що складається з води, гною й ферментів, залежно від температури коливається від 8 до 30 діб. Щільність сухого матеріалу в субстраті становить $\rho_{сух} \approx 50$ кг/м³. Вихід біогазу від 1 кг сухого матеріалу на добу становить приблизно $v_{г} = 0,2 \div 0,4$ м³/кг. Швидкість подачі сухого матеріалу, який зброджується у біогазогенераторі (метантенк) залежить від виду тварин і їхньої кількості на фермі.

Завдання

1. Розв'язати задачу за наведеним прикладом.
2. Самостійно розв'язати задачу за вказаним варіантом.

Хід роботи

Якщо позначити через m_0 (кг/добу) подачу сухого матеріалу, що зброджується, тоді добовий обсяг рідкої маси, що надходить у біогазогенератор (м³/добу) можна визначити по формулі:

$$V_{доб} = m_0 / \rho_{сухий} \quad (1)$$

Обсяг біогазогенератору, що необхідний для ферми (м³):

$$V_{б} = \tau \cdot V_{доб} \quad (2)$$

де τ – час циклу зброджування.

Добовий вихід біогазу:

$$V_{г} = m_0 \cdot v_{г} \quad (3)$$

де $v_{г}$ – вихід біогазу із 1 кг сухої маси на добу.

Теплова потужність пристрою, що використовує біогаз (Мдж/добу):

$$N = \eta \cdot Q_{н}^p \cdot V_{г} \cdot f_{м} \quad (4)$$

де $Q_{н}^p$ – теплота згоряння метану при нормальних фізичних умовах; η – ККД горілочного пристрою; $f_{м}$ – об'ємна частка метану в біогазі (до 0,7).

Приклад. Визначити обсяг біогазогенератору V_6 і добовий вихід біогазу V_7 в установці, що утилізує гній від $n=24$ корів, а також забезпечувану нею теплову потужність N . Час циклу зброджування $\tau = 14$ діб при температурі $t = 25^\circ \text{C}$; подача сухого матеріалу, що зброджується, від однієї тварини йде зі швидкістю 2 кг/добу ; вихід біогазу із сухої маси $v_7 = 0,24 \text{ м}^3/\text{кг}$. Вміст метану в біогазі становить близько 70% (об'ємна частка – $0,7$). ККД горілочного пристрою $\eta = 0,7$. Щільність сухого матеріалу, розподіленого в масі біогазогенератора, $\rho_{\text{сухий}} \approx 50 \text{ кг/м}^3$. Теплота згоряння метану при нормальних фізичних умовах $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 28 \text{ МДж/м}^3$.

Розв'язання. 1. Знайдемо скільки подається сухого матеріалу на зброджування (m_0). Від однієї корови отримується гною 2 кг/добу , а від 24 корів – 48 кг/добу .

2. Добовий обсяг рідкої маси, що надходить у біогазогенератор визначаємо за формулою (1):

$$V_{\text{доб}} = m_0 / \rho_{\text{сухий}} = 48 : 50 = 0,96 \text{ м}^3 / \text{добу}$$

3. Обсяг біогазогенератора, що необхідний для ферми визначаємо за формулою (2):

$$V_6 = \tau \cdot V_{\text{доб}} = 14 \cdot 0,96 = 13,44 \text{ м}^3$$

4. Добовий вихід газу визначаємо за формулою (3):

$$V_7 = m_0 \cdot v_7 = 48 \cdot 0,24 = 11,52 \text{ м}^3 / \text{добу}$$

5. Теплову потужність пристрою, що використовує біогаз визначаємо за формулою (4):

$$N = \eta \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot V_7 \cdot f_m = 0,7 \cdot 28 \cdot 11,52 \cdot 0,7 = 158,05 \text{ МДж / добу}$$

Для визначення кількості виробленої електроенергії беруть до уваги, що $3,6 \text{ МДж}$ відповідає $1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, тоді $158,05 : 3,6 = 43,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ на добу.

Висновок: обсяг біогазогенератору для переробки відходів життєдіяльності тварин на фермі при даних умовах задачі складає $13,44 \text{ м}^3$, добовий вихід біогазу – $11,52 \text{ м}^3 / \text{добу}$, теплова потужність пристрою, що використовує біогаз – $158,05 \text{ МДж/добу}$, кількість виробленої електричної енергії – $43,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ на добу.

Для самостійного розв'язання задачі використати такі вихідні дані: утилізація гною від n корів (див. табл.), час циклу зброджування $\tau = 14$ діб при температурі $t = 25^\circ \text{C}$; подача сухого матеріалу, що зброджується, від однієї тварини йде зі швидкістю 2 кг/добу ; вихід біогазу із сухої маси $v_7 = 0,24 \text{ м}^3/\text{кг}$. Вміст метану в біогазі становить близько 70% (об'ємна частка – $0,7$). ККД горілочного пристрою η (див. табл.). Щільність сухого матеріалу, розподіленого в масі біогазогенератора, $\rho_{\text{сухий}} \approx 50 \text{ кг/м}^3$. Теплота згоряння метану при нормальних фізичних умовах $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 28 \text{ МДж/м}^3$.

Варіанти для розв'язання задачі

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	30	32	25	35	22	30	28	35	20	40
η	0,7	0,7	0,68	0,66	0,64	0,66	0,62	0,6	0,62	0,6

Контрольні запитання

1. Що представляє собою біогаз?
2. Які групи мікроорганізмів здійснюють деградацію гною тварин у біогазогенераторах?
3. Які продукти отримують під час переробки гною тварин?
4. Як застосовують біогаз?

Практична робота №5

БІОТЕСТУВАННЯ ЗАЛИШКОВОЇ ТОКСИЧНОСТІ ҐРУНТУ

Мета: здійснити аналіз ґрунту (компосту) на загальну токсичність за допомоги насіння редису.

Матеріали та обладнання: насіння редису, зразок ґрунту (компосту) чашки Петрі, фільтрувальний папір, вода дистильована, хімічний посуд, колби, качалка для колб, ваги, лінійка метрична.

Теоретичні відомості

На сьогодні основою моніторингу токсичних речовин у навколишньому середовищі приймають гранично допустимі концентрації цих токсикантів у воді, повітрі, ґрунті. Але не завжди можна встановити пряму залежність між вмістом забруднюючих речовин у середовищі та її придатністю для мешкання живих організмів. Токсичний вплив одних компонентів може бути нейтралізовано або усунено присутністю других. Тому важливо оцінити інтегральну токсичність, що відображає вплив усього комплексу забруднюючих речовин. Найбільш придатним методом визначення інтегральної токсичності є біоіндикація (біотестування).

Біоіндикація – виявлення біологічно та екологічно значимих антропогенних навантажень за реакціями живих організмів або їх спільнот. Об'єктами біоіндикаційних досліджень можуть бути рослини, тварини, в тому числі представники ґрунтової фауни, на долю яких припадає 95 % всіх видів, що входять в наземний зооценоз, мікроорганізми.

Необхідність визначення показника фітотоксичності ґрунтів частіше виникає при проведенні моніторингу хімічного забруднення ґрунтів або під час

оцінки можливостей використання різних відходів (компосту, осадів стічних вод або самих стічних вод) для меліорації або утворення ґрунтів. Для цього використовують простий метод паростків, що полягає в дослідженні реакції тест-культури при пророщуванні в ґрунтовій (компостній) витяжці. За цим методом у витяжці пророщують насіння і фіксують енергію проростання, довжину надземної та кореневої систем рослин, маси сухої речовини у надземній та підземній частинах рослин та ін. Порівнюють ростові показники тест-культури, насіння якої пророщують в стерильній воді (контроль).

Бажано мати тест культури, що швидко проростають і є звичними для господарств даного регіону. Так, для вивчення дерново-підзолистих ґрунтів використовують овес та горох; для степових ґрунтів це можуть бути пшениця, люцерна, боби, квасоля, редис, огірок тощо. При цьому бажано здійснювати тестування на культурах рослин, що здатні в симбіозі з бульбочковими бактеріями фіксувати азот (бобові) та на нефіксуючих азот рослинах.

Завдання

1. Підготувати пробу ґрунту (компосту) для аналізу.
2. Проростити насіння редису в ґрунтовій(компостній) витяжці.
3. Розрахувати фітотоксичний ефект.

Хід роботи

Визначення загальної токсичності ґрунту (компосту) проводять за наступною схемою.

1. Підготовка проби для аналізу: 10 г ґрунту або компосту вносять у колбу об'ємом 250 см³, додають 100 см³ дистильованої води. Колбу закривають пробкою і збовтують на качалці протягом 2 год при 60 коливання за хвилину. Отриману водну компостну витяжку фільтрують через складчасті фільтри в чисті колби. Для контролю використовують дистильовану воду.

2. Насіння розподіляють рівномірно по 25 шт. на одну чашку Петрі, дно якої кладуть фільтрувальний папір, наливають 10 см³ ґрунтової (компостної) витяжки. Пророщують насіння протягом 72 годин при кімнатній (21-23 °С) температурі.

3. За допомогою метричної лінійки вимірюють довжину стебла дослідної та контрольної групи рослин, визначають середнє значення довжини стебла у рослин контрольної та дослідної груп.

4. Визначити фітотоксичний ефект (ФЕ) у відсотках щодо довжини стебла за формулою:

$$\text{ФЕ} = \frac{M_k - M_d}{M_k} \cdot 100 \%$$

де M_k – середнє значення довжини стебла в контролі, M_d – середнє значення довжини стебла в досліді.

Користуючись таблицею 3 визначити рівень токсичності ґрунту (компосту).

Таблиця 3

Шкала рівнів токсичності ґрунту

Фітотоксичний ефект, %	Рівень токсичності
0-20,0	Відсутність або слабкий рівень
20,1-40,0	Середній рівень
40,1-60,0	Вище середнього
60,1-80,0	Високий рівень
80,1-100	Максимальний рівень

Контрольні запитання

1. Яким чином проводять моніторинг токсичних речовин у навколишньому середовищі? Що таке біоіндикація?
2. Які біологічні системи використовують як біоіндикатори?
3. В чому полягає метод паростків для визначення токсичності ґрунтів, компостів, осадів стічних вод або самих стічних вод для меліорації або утворення ґрунтів?
4. Які тест-культури рослин застосовують для оцінки токсичності ґрунтів?

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Мета самостійної роботи: формування в студентів навичок самостійної пошуково-аналітичної роботи при вирішенні ряду екологічних проблем за допомогою біотехнологічних методів.

В результаті виконання самостійної роботи студенти повинні навчитись аналізувати оптимальність використання методів біотехнології у природоохоронних, науково-дослідних цілях та для потреб моніторингу навколишнього природного середовища; оцінювати санітарно-мікробіологічний стан довкілля на території біотехнологічного виробництва; складати блок-схеми біотехнологічних виробництв екологічного спрямування. Самостійна робота по даній дисципліні виконується з метою закріплення і отримання знань, які отримуються при вивченні теоретичного матеріалу і виконанні практичних робіт.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СКЛАД САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Самостійна робота здійснюється методом індивідуального вивчення кожним студентом певних розділів робочої програми, навчальної програми з використанням рекомендованої літератури та консультаціями викладача.

САМОСТІЙНА РОБОТА ВИКОНУЄТЬСЯ ЗА ТАКИМИ РОЗДІЛАМИ:

1. Вивчення певних теоретичних питань, які відповідають темам лекцій, але не входять до них:

Тема 1: Зв'язок біотехнології з виробничими галузями.

Тема 2: Оцінювання санітарно-мікробіологічного стану довкілля на території біотехнологічного виробництва.

Тема 3: Санітарно-гігієнічне оцінювання біологічних об'єктів.

Тема 4: Блок-схеми біотехнологічних виробництв екологічного спрямування.

Тема 5: Біотехнологія виробництва рослинних кормів.

Тема 6: Роль біотехнології в регулюванні родючості ґрунтів.

Тема 7: Основні методи біоочищення довкілля від забруднень.

2. Виконання завдань, які виносяться на практичні заняття, згідно з методичними вказівками (Практичні роботи №1 - №5).

3. Підготовка до доповіді-презентації на одну із тем:

1. Біологічні об'єкти біотехнологічних виробництв екологічної спрямованості
2. Екологічні аспекти використання біокультур мікроводоростей
3. Застосування мікробних асоціацій у біотехнологіях захисту довкілля

4. Біоочищення стічних вод
5. Біотехнологія альтернативних видів палива – біогазу
6. Біотехнологія виробництва біоетанолу та біодизельного палива
7. Біотехнологічні методи переробки мінеральної сировини
8. Біотехнологічні аналітичні системи
9. Вермикомпостування
10. Біотехнологія препаратів – фіксаторів поживних елементів рослин
11. Біопрепарати для захисту рослин від шкідників
12. Біотехнологія виробництва рослинних кормів
13. Біодекструкція ксенобіотиків
14. Біотехнологічні альтернативи в сільському господарстві
15. Біотехнологічна переробка промислових відходів

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Біотехнологія з основами екології: навчальний посібник / І.М. Трохимчук, Н.В. Плюта, І.П. Логвиненко, Р.М. Сачук. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2019. – 304 с.
2. Біотехнології в екології: навч. посібник / А.І. Горова, С.М. Лисицька, А.В. Павличенко, Т.В. Скворцова. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 184 с.
3. Біотехнологія. Том 2. Генетична та клітинна інженерія. Екобіотехнологія. навч. посіб. / О.С. Воронкова, Т.В. Скляр, Ю.С. Воронкова, І.М. Зубарева. – Д.: Ліра, 2019. – 156 с.
4. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5 – 74:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 295 с.
5. Кляченко О.Л., Коломієць Ю.В., Янсе Л.А., Постоєнко В.О. Екологічна біотехнологія та біоінженерія: підручник. Частина 3. Промислова та екологічна біотехнологія. – Київ: Аграрна наука, 2021. – 340 с.
6. Кляченко О.Л., Мельничук М.Д., Іванова Т.В. Екологічні біотехнології: теорія і практика.: Навчальний посібник. – Вінниця, ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. – 254 с.
7. Пляцук Л.Д. Екологічна біотехнологія: принципи створення біотехнологічних виробництв : навчальний посібник / Л. Д. Пляцук, Є. Ю. Черниш. – Суми : Сумський державний університет, 2018. – 293 с.
8. Швед О.В. Екологічна біотехнологія. Книга І. / О.В. Швед, Р.О. Петріна, О.З. Комаровська-Порохнявець, В.П. Новіков. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 424 с.
9. Швед О.В. Екологічна біотехнологія. Книга ІІ. / О.В. Швед, Р. О. Петріна, О. З. Комаровська-Порохнявець, В.П. Новіков. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 368 с.