

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ
ІМЕНІ С.З.ГЖИЦЬКОГО**

Кафедра біотехнології та радіології

**ЕКОБІОТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВ:
НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК
щодо виконання лабораторних робіт для
студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти
за спеціальністю 101 «Екологія»**

Львів, 2021

УДК 573.6:631.3

Навчальний посібник розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри (протокол № 13 від 28.02.2019 року) та на засіданні методичної комісії факультету харчових технологій та біотехнології (протокол № 2 від 28.02.2021 року)

Укладачі:

д. с.-г. наук, професор Буцяк В.І., к. с.-г.н., доцент Буцяк Г.А.

Рецензенти:

доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри технології виробництва молока і яловичини ЛНУВМтаБТ імені С.З.Гжицького Шаловило С.Г.

© Буцяк В.І., Буцяк Г.А., 2021 р.

ВСТУП

Лабораторний практикум до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни “Екобіотехнологія виробництв”, яка розглядає широке коло екобіотехнологічних процесів, технічних засобів та біологічних агентів, що використовуються для отримання різних біологічно-активних сполук, про принципи та методи конструювання об’єктів біотехнології, а також знешкодити наслідки негативного впливу людини на навколишнє природне середовище і забезпечити людству хорошу якість проживання в екологічно чистих екосистемах.

Виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни “Екобіотехнологія виробництв” – один із напрямів подолання розриву між теорією і практикою, формування пізнавальної активності, адаптації до різних практичних ситуацій. Це позитивно проявляється у майбутній професійній діяльності та дає можливість оволодіти основними методами роботи щодо засвоєння теоретичних основ та формування відповідних практичних навиків у альтернативних біотехнологіях щодо проектування і оцінювання біотехнологічної складової технологічних процесів виробництва та переробки сировини для вирішення проблем, що виникають у навколишньому природному середовищі в результаті господарської діяльності людини.

Практична частина включає в себе засвоєння теоретичних основ та формування відповідних практичних навиків щодо оволодіння методиками та алгоритмами, які необхідні для впровадження біотехнологічних підходів у сфері захисту довкілля та біобезпеки суспільства, а також забезпечення властивостей біоагентів, спрямованих на інтенсифікацію виробництва, створення нових джерел енергії, вирішення екологічних та продовольчих проблем.

Завдання дисципліни: це технологічні процеси, що здійснюються завдяки використанню живих організмів та інших біологічних агентів і спрямовані на захист і відновлення порушеного людиною довкілля, збереження функціональної стійкості біосфери в цілому або її певних компонентів (природних екосистем), зрештою – забезпечення сталого та гармонійного розвитку ноосфери: біологічне очищення та організація раціонального використання водних ресурсів; біоремедіація ґрунтів; біологічне очищення й дезодорація

газоповітряних викидів; поповнення запасів сировини та енергоресурсів.

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування у здобувачів вищої освіти необхідні компетентності:

- загальні компетентності:

- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК₁);
- здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК₂);
- здатність генерувати нові ідеї (креативність) (ЗК₃);
- здатність розробляти та управляти проектами (ЗК₄);
- здатність спілкуватися іноземною мовою (ЗК₅);
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК₆);
- здатність мотивувати людей та рухатись до спільної мети (ЗК₇).

- спеціальні (фахові) компетентності:

- обізнаність на рівні новітніх досягнень, необхідних для дослідницької та/або інноваційної діяльності у сфері екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування (СК₁);
- здатність застосовувати міждисциплінарні підходи при критичному осмисленні екологічних проблем (СК₂);
- здатність доводити знання та власні висновки до фахівців та нефахівців (СК₅);
- здатність до організації робіт, пов'язаних з оцінкою екологічного стану, захистом довкілля та оптимізацією природокористування, в умовах неповної інформації та суперечливих вимог. (СК₇);
- здатність оцінювати рівень негативного впливу природних та антропогенних факторів екологічної небезпеки на довкілля та людину (СК₁₀).

Програмні результати навчання (ПРН)

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен бути здатним продемонструвати такі результати навчання:

- демонструвати здатність до організації колективної діяльності та реалізації комплексних природоохоронних проектів з урахуванням наявних ресурсів та часових обмежень. (ПРН₅);

- знати новітні методи та інструментальні засоби екологічних досліджень, у тому числі методи та засоби математичного і геоінформаційного моделювання (ПРН₆);

- уміти використовувати сучасні інформаційні ресурси з питань екології, природокористування та захисту довкілля. (ПРН₁₁);
- уміти оцінювати потенційний вплив техногенних об'єктів та господарської діяльності на довкілля (ПРН₁₃);
- застосовувати нові підходи для вироблення стратегії прийняття рішень у складних непередбачуваних умовах (ПРН₁₄).

Методичні поради щодо організації і проведення лабораторних робіт

Теоретичні узагальнення та урахування точки зору практиків показали, що ефективність вирішення завдань в умовах професійної підготовки підвищується за умови використання різних видів самостійної пізнавальної діяльності, організованих на засадах поступового ускладнення і наскрізного характеру, серед яких лабораторні роботи посідають чинне місце.

Використання лабораторних робіт у навчальному процесі дозволяє збільшити частку самостійної діяльності тих, хто навчається, надає можливість поєднувати репродуктивне і пошукове навчання й саме у такому сенсі є потужним засобом підвищення самостійної пізнавальної активності. За своїм змістом лабораторні роботи мають безпосередню належність до «самостійної роботи», яку в теорії навчання визначають як дидактичний засіб навчання, штучну педагогічну ситуацію, за допомогою якої викладач організує діяльність.

Проведення лабораторних робіт у процесі вивчення окремих тем із дисципліни підвищує інтенсивність і самостійність навчальної діяльності студентів. Цей процес відбувається через необхідність досягнення конкретної мети та досягнення шляхів її вирішення, що спонукає до використання різноманітних додаткових джерел інформації, а це, у свою чергу, вимагає певних зусиль, підкріплених мотивацією.

Окрім того, розв'язання поставленої задачі, як правило, ініціює взаємодію з одногрупниками, викладачами, а відтак сприяє розвитку і удосконаленню комунікативної компетенції. Проведення лабораторних робіт на заняттях створює передумови усвідомлення ролі і практичного значення набутих знань, виявленню аналітичних, організаторських здібностей, а головне включає студентів у різні

види самостійно-пізнавальної діяльності – практичної, інтелектуальної, предметної.

Головне завдання лабораторних робіт – подолання розриву між теорією і практикою, посилення міжпредметних зв'язків, формування пізнавальної активності, адже саме на практичних роботах теоретичні знання зазнають корекції, адаптації, визначається можливість їхнього застосування у різних практичних і побутових ситуаціях.

Отже у такий спосіб відбувається можливість застосування набутих знань у нових ситуаціях, наочно виявляється їх значення у майбутній професійній діяльності.

Функції, що покладаються на лабораторні роботи:

- 1) формування навичок самостійної роботи;
- 2) поглиблення, розширення та конкретизація теоретичних знань;
- 3) розвиток експериментальних умінь та навичок самостійної експериментально-пошукової діяльності;
- 4) набуття умінь планувати діяльність, фіксувати і зіставляти проміжні та кінцеві результати; оцінювати їх вірогідність;
- 5) можливість самостійно перевірити, впевнитися з окремих екологічних аспектів, які поширені в повсякденному житті і будуть мати безпосереднє відношення до майбутньої професійної діяльності.

Обсяг знань, які передбачаються до засвоєння на лабораторних роботах ґрунтується на поєднанні різних видів розумової і фізичної діяльності студентів.

Структура їх проведення ідентична тим, що проводяться на заняттях: визначається тема, формулюється мета і завдання, планується зміст, визначаються форми і методи виконання, термін подання звіту. У такий спосіб, відбувається значне збільшення частки самостійної діяльності, посилюється відповідальність, з'являється можливість у більшому ступені враховувати індивідуальні особливості, інтереси та рівні навчальних досягнень студентів. Відповідальність за якість виконання таких робіт значно підвищиться за умови, коли студенти наперед будуть знати про необхідність доповісти про її результати.

Методичним вказівкам з кожної теми передують теоретичний матеріал, який поглиблюється вставками з додатковою інформацією різного напрямку; визначено мету, перелік обладнання, вказано послідовність виконання дій та операцій, оформлення отриманих результатів роботи, сформульовані питання для закріплення.

Алгоритм лабораторної роботи: Робота № → Тема → Теоретична частина (аналітична інформація з проблеми) → Мета → Об'єкт дослідження → Предмет дослідження → Обладнання, реактиви, матеріали → Хід роботи → Схема запису результатів → Висновки → Запитання.

Отже зміст кожної практичних робіт умовно можна поділити на три складові:

1. Організаційно-підготовча.
2. Змістовно-процесуальна.
3. Узагальнюючо-заключна.

Перша складова передбачає підготовку до проведення практичних робіт, коли виконавці ознайомлюються із темою роботи, метою, якої необхідно досягти, отримують відповідні вказівки, конкретизуються завдання, за необхідністю відбувається поділ на підгрупи, отримуються методичні рекомендації щодо проведення роботи.

Змістовно-процесуальна частина – розв'язання поставлених завдань, яке може відбуватися під керівництвом викладача, який надає поточні консультації, допомагає. Робота також може виконуватися самостійно. В процесі виконання роботи поточні результати записують, вносять у таблиці, будують графіки. Доцільно запропонувати до використання додаткову літературу, конспекти.

Узагальнююча (заключна) складова роботи передбачає формулювання висновків, підготовку звітів. Доцільно запровадити захист проведеної практичної роботи, в процесі якого виконавець коротко доповідає про отримані результати і зроблені висновки та відповідає на запитання викладача.

Правила роботи і техніка безпеки в лабораторії

Виконання експериментальної роботи в лабораторії в першу чергу завжди вимагає дотримання правил техніки безпеки, а саме:

1. Студенти повинні ознайомитись з розміщенням засобів пожежогасіння і першої медичної допомоги. До приміщення лабораторії заборонено заходити без спеціального одягу – халату. Приступати до роботи можна тільки за присутності викладача та лаборанта.

2. Уважно вивчити завдання щодо виконання дослідів, звернувши увагу на правила, які створюють умови для безпечного виконання роботи, а також ознайомитись зі властивостями речовин, які використовуються в лабораторії (горючість, токсичність тощо).

3. У процесі виконання експериментальних досліджень у лабораторії необхідно підтримувати чистоту, акуратність, бути уважним, виключити потрапляння речовин на шкіру та одяг, не торкатись руками обличчя і очей, мити руки із милом.

4. У лабораторії не дозволяється вживати їжу, пити воду з лабораторного посуду, куштувати на смак речовини. Нюхати речовини можна обережно, рухами рук направляти до себе пари чи газ.

5. Категорично забороняється працювати у лабораторії наодинці.

6. Не можна проводити досліди у брудному посуді.

7. Органічні сполуки у вигляді пару чи газу можуть вибухати у суміші з повітрям. Не допускайте утворення таких сумішей.

8. При проведенні робіт із застосуванням лугів, металічного натрію, концентрованих кислот завжди слід користуватись захисними окулярами, гумовими рукавичками.

9. Роботу з більшістю органічних речовин слід проводити тільки у витяжних шафах.

10. Залишки реактивів слід зливати до спеціальних ємності для відходів.

11. При роботі з бромом слід пам'ятати, що це дуже отруйна речовина, яка небезпечна для слизової оболонки і утворює на шкірі опіки, які важко загоюються. Всі роботи слід проводити у витяжній шафі. У випадку опіку бромом, обпечене місце обробляють спиртом, потім направляють до медичного закладу.

12. При потраплянні кислот на шкіру необхідно швидко промити уражене місце водою, а потім 3% розчином соди. При опіках лугами потрібно промити уражене місце водою, а потім 3% розчином оцтової кислоти. При попаданні кислоти або лугу до очей необхідно промити великою кількістю води, а потім обробити тампоном, який змочений у розчині соди або борної кислоти і знову промити водою.

13. Концентровані кислоти, луги, отруйні та з сильним запахом речовини зберігають обов'язково в добре вентиляльованій шафі.

14. Легкозаймісті та вибухонебезпечні речовини повинні зберігатись у металевих шафах у кількостях, які не перевищують щоденну потребу.

15. У випадку загорання одягу необхідно відразу накинути на постраждалого халат, простирadlo тощо. Ні в якому випадку не давати йому можливості бігти, оскільки це підсилить полум'я. При виникненні пожежі необхідно відразу вимкнути вентиляцію чи електроенергію і прийняти заходи до ліквідації пожежі. При необхідності викликати пожежну команду.

При загоранні бензолу, ефіру не можна застосовувати для гасіння воду. У цих випадках полум'я гасять піском чи азбестовим простирadлом.

16. При роботі зі склом і хімічним посудом необхідно бути обережним.

17. Забороняється змішувати органічні речовини і проводити досліди, які не пов'язані з програмою.

18. При використанні біологічного матеріалу не дозволяється ставити посуд, який містить матеріал для дослідження, безпосередньо на стіл. Для цього використовуються підноси або кювети, посуд попередньо протирають ззовні дезінфікуючим розчином.

19. Необхідно пильно слідкувати за чистотою рук – після закінчення роботи руки дезінфікуються, проводити вологе прибирання і періодичну дезінфекцію робочого місця.

20. Після виконання лабораторної роботи здати реактиви, посуд і обладнання лаборанту чи викладачу.

ТЕМАТИКА І ЗМІСТ ЛЕКЦІЙ

Тема 1. Предмет, методи, завдання, системи, об'єкти, принципи та продукти екобіотехнологічних виробництв. Предмет, методи й завдання екобіотехнологічних виробництв. Біологічні системи та принципи екобіотехнології. Компоненти біотехнологічної системи. Загальна характеристика біооб'єктів-продуцентів. Методи, що застосовуються у біотехнології. Продукти біотехнологічного процесу. Сировинна база для екобіотехнологічних виробництв

Тема 2. Напрямки використання екологічної біотехнології. Екобіотехнології біологічного очищення води, у тому числі очищення стічних вод; утилізація і поховання твердих і рідких відходів промислового і сільськогосподарського виробництва; захист від забруднень і поліпшення родючості ґрунту; захист від забруднень атмосферного повітря

Тема 3. Біохімічні методи очищення стічних вод. Загальні положення. Біологічне очищення стічних вод у природних умовах. Біологічні ставки. Біологічне очищення стічних вод в аеробних умовах у штучних спорудженнях. Анаеробні процеси очищення стічних вод. Механізм анаеробного очищення стічних вод. Анаеробні реактори.

Тема 4. Біотехнологія утилізації органічних відходів за допомогою вермікультивування. Загальні відомості й біологічні особливості дощових черв'яків. Способи вирощування черв'яків. Підготовка субстрату (корму) для черв'яків. Методика формування лож і техніка закладки маточного поголів'я в субстрат. Умови утримання та оцінка стану популяції черв'яків у ложах. Методика розділення лож. Технологія вермікультивування взимку. Вермікультивування на присадибних ділянках. Вермікультура, її склад та використання. Біогумус його склад і використання.

Тема 5. Біотехнологія одержання біогазу шляхом анаеробного зброджування відходів. Біометаногенез та його етапи. Фактори, які впливають на біометаногенез і їх оптимізація. Технологічні аспекти

виробництва біогазу. Будова та розповсюдження БГУ у світі. Конструкційні особливості реактора БГУ. Класифікація БГУ за принципом дії. Біогаз, його склад та використання. Шлам, його склад та використання. Шляхи вдосконалення біогазового виробництва. Сучасний стан виробництва біогазу в світі. Стан виробництва біогазу в Україні.

Тема 6. Екобіотехнологічні особливості одержання біодизелю. Сировинна база для одержання біодизелю. Технологічні особливості виробництва біодизелю. Потенціал України у виробництві біодизелю. Переваги та недоліки біодизелю як пального. Питання охорони довкілля за виробництва біодизелю.

Тема 7. Екобіотехнологічна трансформація відходів харчової промисловості. Утилізація відходів деяких галузей харчової промисловості. Утилізація відходів спиртових заводів. Біоконверсія відходів плодоовочевої продукції. Біоутилізація відходів компостуванням. Механізм компостування відходів. Біохімізм процесу компостування відходів. Параметри біотехнології компостування твердих відходів. Біосистеми компостування. Технологічні системи компостування. Механізовані технологічні системи компостування. Склад і використання готового компосту.

Лабораторна робота №1

Тема: „Гідробіологічний аналіз біоценозу активного мулу”

Мета: провести гідробіологічний аналіз активного мулу та біоплівки очисних споруд.

Програмні питання: ознайомитись з методикою видалення із стічних вод органічних речовин шляхом біологічного очищення із використанням аеротенків, біофільтрів, анаеробних біореакторів; активний мул як субстанція, утворена зооглейними скупченнями бактерій, найпростіших, водних грибів, дріжджів і більш високоорганізованих представників фауни: коловерток, черв'яків, личинок комах; відбір проб активного мулу та біоплівки із аеротенка для мікроскопіювання.

Матеріали та обладнання: мікроскоп біологічний, предметні та покривні скельця, піпетки, пробірки, зразки активного мулу та біоплівки.

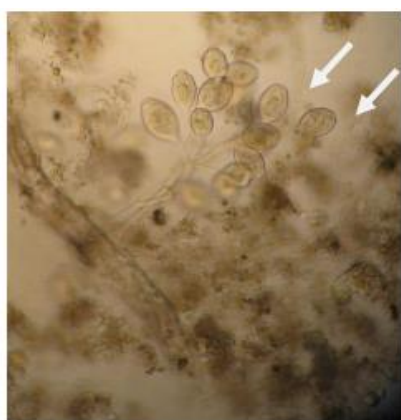
Хід роботи

Для видалення із стічних вод органічних речовин використовують споруди біологічного очищення: аеротенки, біофільтри, анаеробні біореактори. Постійні спостереження за ходом біологічного очищення води показали, що склад активного мулу та біоплівки свідчить про якість роботи очисних споруд. Аеротенк – резервуар, в якому стічна вода та активний мул насичуються повітрям і перемішуються, внаслідок чого відбувається очищення стічної води.

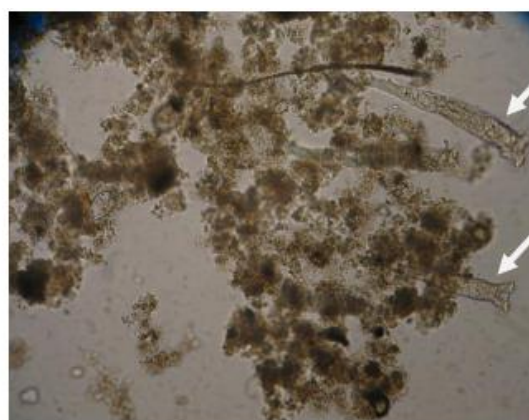
Активний мул – компактні пластівці, утворені зооглейними скупченнями бактерій, найпростіших, водних грибів, дріжджів і більш високоорганізованих представників фауни: коловерток, черв'яків, личинок комах, які розвиваються в аеробних умовах на частинках органічних забруднень (рис. 1.1).

Головна роль у споживанні органічних сполук належить бактеріям. Найпростіші споживають бактерій та тонкодисперсні частинки, чим сприяють освітленню рідини. Інші представники біоценозу також беруть участь в очищенні стічної води. Для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів у аеротенк потрібно безперервно подавати кисень повітря.

Активний мул являє собою біоценоз мікроорганізмів-деструкторів і найпростіших, здатних сорбувати на своїй поверхні й окиснювати в присутності кисню органічні речовини стічної води. Для активного мулу характерна висока активна площа поверхні, що досягає 100 м² на 1 г сухої речовини мулу. Домінуюча роль у активному мулі належить різноманітним групам бактерій, здатних не тільки вилучати із води розчинені і завислі частинки, а й самоорганізовуватися у агломерати – пластівці, що можна відокремити від води відстоюванням. Бактерії в умовах аеротенків у результаті метаболізму органічних речовин утворюють зооглейні скупчення різноманітної форми і консистенції, зазвичай це компактна або рихла маса.



а – інфузорії



б – коловертки

Рис. 1.1. Активний мул (x200)

У спорудах аеробного очищення господарсько-побутових стічних вод найчастіше зустрічаються представники таких родів: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Bacterium*, *Flavobacterium* та ін. Часто в мулах спостерігають зооглейні скупчення бактерій *Zoogloea ramigera*.

У задовільно працюючому активному мулі присутні:

- представники саркодових: голі амеби, черепашкові *Arcella*, *Centropyxis*;
- рухливі безбарвні дрібні джгутикові: *Flagellata*, *Oicomonas*, *Vodo*;
- різноманітні війчасті інфузорії: надзвичайно активні *Aspidisca*, *Euplotes*, *Oxytricha*, *Stylonychia pustulata*; більш пасивні *Paramecium caudatum* (інфузорія туфелька), *Cyclidium*, *Colpoda steini*; прикріплені

до поверхні мулу за допомогою стебелець (одиначних або гіллястих) дзвіночки сувійок *Vorticella*, *Carchesium*, *Opercularia*, *Epistylis*;

- смоктальні хижі інфузорії: *Tokophrya*, *Acineta*, *Podophrya*;

- мікроскопічні тварини – коловертки: *Philodina roseola*, *Cathypna luna*, *Callidina vorax*, *Vdelloidea*;

- черви: круглі *Nematoda*; малощетинкові *Aeolosoma*.

Найголовнішою їжею війчастих інфузорій слугують бактерії. Так, *Carchesium* за 1 годину пропускає крізь свій організм близько 30000 бактерій, перетравлює і засвоює поживні речовини, які містяться в клітинах бактерій. Коловертки харчуються бактеріями, органічним детритом, різноманітними найпростішими. Вони є аеробами і надзвичайно чутливі до нестачі кисню.

Показником погіршення якості мулу є присутність нитчастих форм бактерій, зникнення коловерток, сувійок і поява дрібних амеб. Розвиток у активному мулі нитчастих бактерій спричиняє погане осадження мулу при відстоюванні та утворення стійкої піни.

Отже, знання якісного і кількісного складу мікроорганізмів, співвідношення різних груп в активному мулі необхідне для регулювання технологічного режиму роботи споруд біологічного очищення стічних вод з метою створення оптимальних умов для розвитку мікроорганізмів. Якість мулу залежить від співвідношення між масою органічних забруднюючих речовин (за показником ХСК чи БСК), які містяться в стічній воді, і масою активного мулу (за сухою або беззольною речовиною) в одиницю часу. Цей показник одержав назву навантаження на мул за органічною речовиною.

Як правило, 1 г мулу (за беззольною речовиною) зберігає свою нормальну активність за добового навантаження на нього 150-500 мг БСК_{повн}. При більших навантаженнях – понад 500 мг/(г·добу), аеротенк є високонавантаженим і працює на неповне очищення, а активний мул варто регенерувати. За менших навантажень – 65-150 мг БСК_{повн} на 1 г беззольної речовини мулу за добу, має місце так звана «продовжена аерація», за якої відбувається самоокиснення клітинної речовини активного мулу.

Для біологічної очисної стічних вод часто використовують споруди (затоплений біофільтр), технологічна схема якої наведена на рис. 1.2. В основі роботи затопленого біофільтру щодо очищення стічних вод підприємств є використання різних типів гідробіонтів, зокрема, трубочників. У конструкції затопленого біофільтру

передбачений агрегат, де відбувається вилучення та мінералізація основної маси органічних сполук, що містяться у стічних водах.

Масу мулу в аеротенку виражають через його питомий вміст в муловій суміші (в перерахунку на г сухої речовини мулу) в 1 дм³ рідини. Концентрацію активного мулу, яку підтримують в аеротенку, називають «дозою активного мулу».

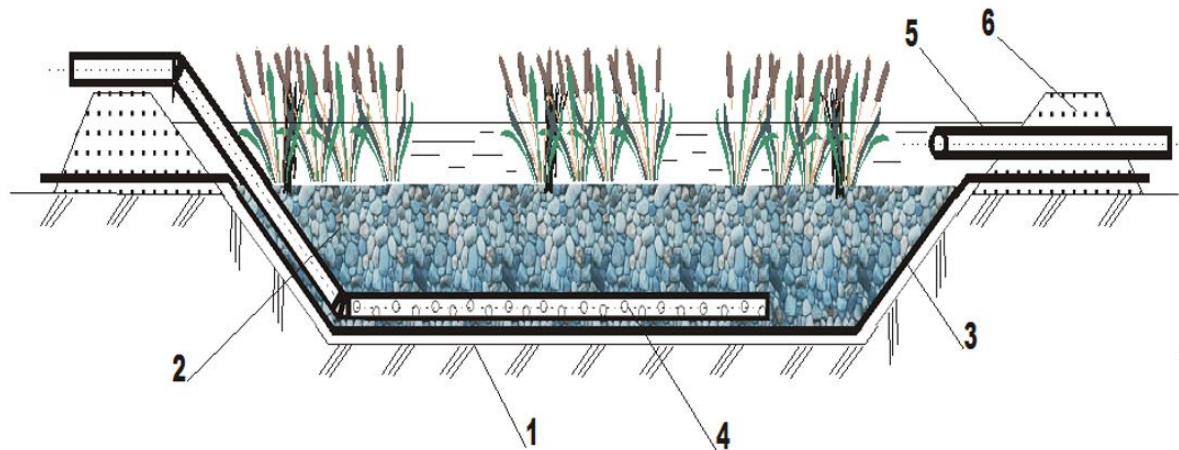


Рис. 1.2. Схема затопленого фільтра

1 – котлован, 2 – фільтруюче завантаження. 3 – гідроізоляція, 4 – розподільна система, 5 – відвідний трубопровід, 6 – облаштування.

Біоплівка утворюється в процесі обростання поверхонь або спеціального інертного завантаження споруд біологічного очищення. На відміну від активного мулу біоценоз біоплівки має значно більшу різноманітність форм гідробіонтів. При постійному очищенні води в біофільтрі змінюється біоценоз біоплівки та спостерігається зміна зон сапробності. У верхньому горизонті біофільтра створюються умови для полісапробної або альфамезосапробної зон.

У біоплівці переважають гриби, різноманітні бактерії, особливо багато нитчастих бактерій. З найпростіших переважають безбарвні джгутикові (роди *Oicomonas* та *Vodo*) та вільноплаваючі інфузорії виду рівновійчастих, особливо *Paramecium*, з кругловічастих інфузорій тільки *Opercularia*. В біофільтрі іноді спостерігаються представники зелених водоростей та джгутикових: *Selenastrum* та *Peranema*.

З багатоклітинних – в незначній кількості зустрічаються коловертки та круглі черви. При проходженні рідини через біофільтр в біоплівці зменшується кількість бактерій, грибів та безбарвних

джгутикових, збільшується кількість вільноплаваючих крупних черевовійчастих інфузорій, з'являються різноманітні прикріплені інфузорії, збільшується кількість коловерток та круглих червів. В біоплівці переважають форми, притаманні мезосапробній зоні.

Завдання 1. Відбір проб активного мулу та біоплівки із аеротенка для мікроскопіювання:

а) активний мул.

З аеротенка відбирається мулова рідина і переноситься в пробірку в кількості 7-10 см³. Мул відстоюванням відділяється від рідини (2-3 хвилини) і потім піпеткою з широким отвором відбирається для мікроскопіювання.

б) біоплівка.

З різних горизонтів біофільтра відбирається засипний матеріал (шлак, щебінь, керамзит, волокно та ін.), вміщується в фарфорову чашку і заливається невеликою кількістю дистильованої води. Для мікроскопіювання біоплівка відбирається піпеткою з широким отвором.

Послідовність опису активного мулу і біоплівки.

1. Швидкість осідання мулу.
2. Колір мулу (бурий, чорний, білуватий тощо).
3. Вода над мулом (прозора, каламутна, забарвлена). Подальший опис ведуть при мікроскопіюванні. Необхідно продивитися не менш ніж 10 полів зору.
4. Щільність та розмір пластівця (щільний, роздроблений, крупний, дрібний).
5. Присутність сторонніх вкраплень.
6. Склад гідробіонтів (визначається за).
7. Кількість гідробіонтів за п'ятибальною системою (див. нижче).
8. Наявність грибів та нитчастих бактерій.
9. Наявність вільноплаваючих бактерій (багато, мало).
10. Форми бактерій, які переважають (дрібні палички, крупні палички, спірили і тощо).

Пункти 4-7 описуються за малого збільшення (об'єktiv 4, 10), а 8 та 9 – за великого збільшення (об'єktiv 40). Кількість досліджуваних організмів оцінюється за п'ятибальною системою табл. 1.1.

Спостерігається також за станом організмів, їхня рухливість, робота війчастого апарату. З отриманих результатів роблять висновки чи задовільний стан роботи аеротенків.

Кількість виявлених мікроорганізмів у активному
мулі та біоплівці

| Субстрат | поодинокі | мало | чимало | багато | масовий розвиток |
|--------------|-----------|------|--------|--------|------------------|
| Активний мул | | | | | |
| Біоплівка | | | | | |

Завдання 2. Провести гідробіологічний аналіз запропонованих зразків, зробити висновки, щодо стану роботи споруд біологічного очищення стічної води.

Контрольні питання:

1. Назвати переважаючих представників гідробіонтів активного мулу. Дати кількісну оцінку розвитку гідробіонтів за п'ятибальною системою.

2. Зробити висновок про стан активного мулу і біоплівки.

3. Як можна охарактеризувати активний мул в різних умовах роботи очисних споруд?

4. Які умови необхідно підтримувати в аеротенку для задовільної роботи споруди?

5. Які види називають індикаторними, для яких умов вони характерні?

Лабораторна робота №2

Тема: „*Розрахувати проектну потужність вермігосподарства за використання як субстрат посліду птиці*”

Мета: *ознайомитись з методикою розрахунків параметрів біоконверсії відходів сільськогосподарського виробництва шляхом вермікультивування.*

Програмні питання: *оволодіти методами математичного розрахунку параметрів проектної потужності вермігосподарства на базі конкретного сільськогосподарського підприємства та опрацювати методика переробки органічних відходів з одночасним отриманням компосту за допомогою вермікультури,*

Матеріали та обладнання: *контейнер для проведення компостування, ніж, лопатки, ґрунт, вермікультура, органічний субстрат, таблиці з фізіологічними показниками тварин та нормативними даними, формули розрахунків.*

Хід роботи

На сьогодні актуальними є питання використання екобіотехнологій для одержання конкурентоспроможної продукції та захисту довкілля від забруднення його тваринницькими, рослинницькими, побутовими та промисловими відходами. Ефективним та екологічно безпечним методом утилізації різних відходів є метод вермікультивування, тобто використання дощових черв'яків, і особливо червоного каліфорнійського гібрида.

Отримання біогумусу ґрунтується на здатності дощових черв'яків використовувати органічні рештки, трансформувати їх у кишечнику і виділяти у вигляді копролітів. Дощові черв'яки – найбільші представники безхребетних, які входять до складу ґрунтової макрофауни. Їх частка становить не менш як половину всієї біомаси ґрунту. Значення черв'яків у екосистемі ґрунту полягає у редукції об'єму органіки, яка надходить у його верхній шар, її мінералізації, концентруванні мінеральних речовин у копролітах, що робить їх більш доступними для рослин.

З допомогою дощових черв'яків органічні речовини відходів трансформуються у повноцінний білок тваринного походження (біомаса черв'яків) та високоякісне гумусне добриво – біогумус. Метод вермікультивування набув широкого розповсюдження у

країнах світу Китаї, Японії, Австралії, Франції, США, Італії, Німеччині, Швейцарії тощо.

Ефективність вермікультивування залежить від багатьох факторів, основними з яких є підготовка субстрату (корму) для черв'яків та створення оптимальних умов для їх життєдіяльності (умови утримання, годівлі, тощо). Основу будь якого субстрату складає гній від різних видів сільськогосподарських тварин, який пройшов ферментацію.

Завдання 1. Визначення кількості субстрату для вермікультури та його підготовка.

Як поживне середовище для каліфорнійських черв'яків можна використовувати гній всіх видів сільськогосподарських тварин, який містить усі поживні речовини, необхідні для росту та розвитку олігохет. Тому, в основу проектування потужності вермігосподарства покладено кількість гнойової біомаси, яка утворюється в господарстві.

Добрим кормом для черв'яків є тверда фракція або шлам після одержання біогазу, який не потребує спеціальної обробки (ферментації).

1.1. Встановлення строків початку ферментації гнойової біомаси. Важливою ланкою в організації вермікультивування в господарстві є підготовка субстрату (корму) для черв'яків. Кормом можуть бути будь-які органічні відходи (рослинні, харчові, промислові, гнойова біомаса), які пройшли процес ферментації. Роботу з підготовки субстрату (гнойової біомаси) необхідно розпочинати з визначення строку (календарної дати) закладки гною для проходження процесу ферментації (перепрівання).

Таблиця 2.1.

Час ферментації гнойової біомаси від різних видів тварин

| Гній | Час ферментації, місяців |
|---------------|--------------------------|
| Коней | 5-6 |
| ВРХ: корови | 6-7 |
| Молодняку ВРХ | 10-11 |
| Овець | 3-4 |
| Свиней | 9-10 |
| Кролів | 0-4 |
| Птиці | 16-19 |

Обумовлено це тим, що тривалість ферментації гною залежить від виду тварин (табл. 2.1), а максимальний термін зберігання проферментованого гною у буртах – не більше 2-х років.

1.2. Визначення площі під бурти для ферментації гнойової біомаси. Для проведення ферментації гнойової біомаси її буртують на площадці з допустимим нахилом 1-3°. Бурти можуть мати різні розміри: ширина – 1,7-2,0, довжина 15-80 і висота 1,5-2,0 м. Це залежить від наявної робочої сили і засобів механізації. Розміщують їх із півночі на південь.

Час саморозігріву у буртах літом 7-10 діб, а зимою – 10-15 діб. Ферментація гною проходить у двох режимах – спочатку у мезофільному, а потім – термофільному (до 60°C). Така температура утримується 5-10 діб. Вона згубно діє на патогенні мікроорганізми, яйця та личинки гельмінтів, насіння бур'янів. У подальшому компостування проходить знову у мезофільному режимі (t = 25-35°C). Площа під бурти для ферментації гнойової біомаси визначається за формулою:

$$S_6 = Q_r \cdot K$$

де: S_6 – площа під бурти для ферментації гнойової біомаси, м²;

Q_r – річний вихід гною;

K – коефіцієнт, який враховує час ферментації і додаткову лошу на проїзд техніки буртами (табл. 2.2).

Таблиця 2.2.

Коефіцієнт, який враховує час ферментації і площу на проїзд між буртами

| Вид тварин | Коефіцієнт (K) |
|------------|----------------|
| Корови | 1 |
| Коні | 1 |
| Вівці | 0,5 |
| Кури | 2,5 |
| Свині | 2,0 |
| Телята | 2,0 |

1.3. Визначення маси мінеральних речовин як добавки до субстрату. Для забезпечення потреби черв'яків у мікромінеральних факторах живлення, до субстрату необхідно вносити різні мінеральні домішки – глину, дефекат, цеоліт, сапоніт, крейду тощо у дозі до 4%

від загальної маси субстрату. Це також сприяє оптимізації рН середовища, кращому гумусоутворенню.

Кількість мінеральних речовин визначається за формулою:

$$K_M = (Q_G - M_M) : 100$$

де: K_M – маса природних мінералів на рік, т;

Q_G – річна маса гною, яка може бути субстратом для черв'яків, тонн;

M_M – кількість мінеральної добавки, %.

1.4. Визначення маси субстрату із природними мінералами.

Визначається за формулою:

$$Q_{CM} = Q_G + K_M$$

де: Q_{CM} – маса субстрату з мінеральними добавками, т;

Q_G – гнойова біомаса за рік, т;

K_M – маса природних мінералів на рік, тонн.

1.5. Визначення кількості речовин, багатих на целюлозу, при використанні як субстрат посліду птиці. Показником готовності субстрату до згодовування черв'якам є співвідношення Карбону до Нітрогену (C:N), яке має бути в межах 20. Послід птиці містить значну кількість Нітрогену – 2,0-6,0% від сухої речовини, вміст клітковини становить лише 13-15%. Для того, щоб забезпечити співвідношення C:N 20:1, або вмісту целюлози 20-25%, до посліду птиці додають солому, полу, лушпиння насіння соняшнику, папір тощо, тобто компоненти, багаті на Карбон. Можна використовувати також тирсу, за виключенням тирси хвойних порід.

Кількість відходів, багатих на клітковину, яку необхідно додати до гнойової біомаси, визначається за формулою:

$$M_K = (Q_G - C) : 100$$

де: M_K – маса речовин багатих на клітковину, т;

Q_G – гнойова біомаса за рік або період, т;

C – відсоток введення речовин, багатих на клітковину, % (10-30%).

1.6. Визначення маси субстрату із речовинами, багатими на клітковину, при використанні посліду птиці. Визначається за формулою:

$$Q_{CK} = Q_{CM} + M_K$$

де: Q_{CK} – маса готового субстрату із посліду птиці, т;

$Q_{с.м}$ – маса субстрату з мінеральними добавками, т;
 M_k – кількість речовин, багатих, на клітковину, т.

Завдання 2. Розрахунок основних параметрів формування лож. Лож – це площа субстрату., заселена черв'яками, розміром у 2 м² (2м х 1м). Це визначення покладено в основу вимірів і перейшло від американських дослідників, які вперше проводили дослідження з біотехнології вермікультивування.

2.1. Визначення кількості базового субстрату. Базовий субстрат – це першо-початковий субстрат, який закладаються в нові ложа. При формуванні лож у господарстві, в них закладають відходи, які пройшли ферментацію базовим субстратом. Він виконує різні функції: захищає черв'яків від підстильного ґрунту і тому товщина його коливається від 15 см влітку до 25-30 см взимку. Крім цього, базовий субстрат з кормом для черв'яків повинен мати достатню кількість целюлози (20-25%), оптимальну вологість (70-80%), температуру (19-20°C) та рН (6,8-7,2), а також треба його дослідити тестом 50 черв'яків. Суть тесту полягає у тому, що в ящики розміром 50х60х15 або у 2-4 літрову скляну ємність закладають базовий субстрат та 50-ма черв'яками і витримують 24 години за 20°C. Потім черв'яків вибирають, підраховують та візуально визначають їх стан. Якщо усі черв'яки живі і нормально рухливі, то це є свідченням придатності субстрату для живлення черв'яків. Тільки після цього ложа з основним субстратом заселяють черв'яками.

2.2. Визначення виходу базового субстрату за рік. Формування (закладка) лож розпочинається визначенням перш за все вихідної кількості базового субстрату, який буде у господарстві. Визначається за формулою:

$$M_{бср} = (Q_{с.м} K_б) : 100$$

де $M_{бср}$ – маса базового субстрату за рік, т;

$Q_{с.м}$ – загальна маса про ферментованого субстрату (відходів з мінеральними добавками), тонн;

$K_б$ – кількість базового субстрату від загальної маси про ферментованого субстрату, % в середньому (35-40%).

2.3. Визначення кількості базового субстрату для закладки перших лож. Кількість базового субстрату, необхідного для

закладки перших лож, залежить від загальної маси базового субстрату та від того, сезонне чи цілорічне вермікультивування у господарстві. При цілорічному вермікультивуванні у квітні проводиться перше 3-разове розділення лож (формування нових лож із попередніх); друге розділення – липневе 2-разове, а в жовтні проводиться 3-разове розділення лож, які були закладені в квітні місяці, і 4-разове – сформованих у липні.

Визначається за формулою:

$$B_c = M_{\text{бср}} : n$$

де: B_c – кількість базового субстрату, який використовують для закладки перших лож, тонн;

$M_{\text{бср}}$ – маса базового субстрату за рік, тонн;

n – коефіцієнт, який враховує кратність розділення одного ложа: при цілорічному вермікультивуванні $n=17$, а сезонному – $n=11$.

2.4. Визначення кількості базового субстрату при використанні посліду птиці за рік. Визначається за формулою:

$$M_{\text{бср}} = (Q_{\text{с.к}} K_{\text{б}}) : 100$$

де: $M_{\text{бср}}$ – маса базового субстрату за рік при використанні посліду птиці, тонн; $Q_{\text{с.к}}$ – маса субстрату із посліду птиці, тонн; $K_{\text{б}}$ – відсоток, який припадає на базовий субстрат, % (35-40).

2.5. Розрахунок кількості лож. Розрахунок кількості лож проводиться за формулою:

$$K_{\text{л1}} = B_c : M_{\text{Бс}}$$

де: $K_{\text{л1}}$ – кількість лож, яка необхідна для початку роботи, шт;

B_c – кількість базового субстрату, який використовують для закладки перших лож, т;

$M_{\text{Бс}}$ – маса базового субстрату, який настиляють першим шаром на одне ложе (0,34-0,57 тонн) залежно від висоти шару.

$$K_{\text{л}} = (B_c : M_{\text{Бс}}) k$$

де: $K_{\text{л}}$ – кількість лож, які необхідно закласти за рік, шт.;

B_c – кількість базового субстрату, який використовують для закладки перших лож, тонн;

$M_{\text{Бс}}$ – маса базового субстрату, який настеляють першим шаром на одне ложе (0,34-0,57 тонн); k – коефіцієнт, який враховує розділення лож ($k = 11$ або $k = 17$).

2.6 Розрахунок площі під ложа. При визначенні, яку площу

необхідно планувати під ложа, необхідно брати до уваги площу самого ложа, а також спосіб вирощування каліфорнійських черв'яків. Черв'яків можна вирощувати на відкритому ґрунті, коли бурти закладають поверх розстеленої на землі сітки або у приміщенні, де ложа розміщують ярусами. Визначається за формулою:

$$S_{л} = K_{л} \cdot k$$

де $S_{л}$ – площа під ложа, м²;

$K_{л}$ – кількість річних лож, шт.;

k – коефіцієнт, який враховує особливості технології (табл. 2.3)

Таблиця 2.3

Показник, який враховує особливості технології вермікультивування

| Спосіб розміщення лож | Коефіцієнт (k) |
|------------------------|----------------|
| На відкритому ґрунті | 4 |
| В приміщенні (2 яруси) | 2 |
| В приміщенні (3 яруси) | 1 |

2.7. Розрахунок площі сітки під ложа на відкритому ґрунті. Черв'яки – мало захищені істоти, їх добре поїдають кроти. З метою запобігання потрапляння у ложа із черв'яками кротів, ґрунт, на якому розміщують бурт із субстратом, вистеляють сіткою із розміром вічок 1,5x1,6см. Площа сітки обраховується за формулою:

$$S_{с} = K_{л} \cdot 2,2$$

де: $S_{с}$ – площа сітки, м²;

$K_{л}$ – кількість лож, шт.;

2,2 – коефіцієнт, який враховує площу ложа, а також загинання сітки по краях.

2.8. Розрахунок площі під стелажі. Розрахунок площі стелажів проводять за такою формулою:

$$S_{ст} = K_{л} \cdot 2$$

де: $S_{ст}$ – площа стелажів, м²;

$K_{л}$ – кількість лож, шт.;

2 – площа одного ложа, м².

Завдання 3. Живлення черв'яків та закладка маточного поголів'я в субстрат.

3.1. Розрахунок кількості субстрату для годівлі черв'яків. Через 20–25 діб після заселення черв'яків проводять першу підкормку,

тобто внесення нових порцій субстрату, а потім регулярно через кожні 7–10 діб вносять нові порції корму шаром 5–7 см. Підкормка повинні бути перевірена на якість, в тому числі і за тестуванням 50-ти черв'яків.

3.1.1. Кількість підкормки, яку вносять до розділення лож. Розрахунки проводять за формулою:

$$Q_n = (K_{л1} \cdot K_n) \cdot M_n$$

де: Q_n – маса субстрату, який використовується для підкормки, тонн;

K_n – кількість підкормок з квітня по липень: 10 (з інтервалом в 7 діб), 7 (з інтервалом в 10 діб);

M_n – маса підкормки на одне ложе (0,114-0,159 тонн);

$K_{л1}$ – кількість лож, яка необхідна для початку роботи.

3.1.2. Кількість підкормки, яку вносять на всі лежа (за сезон, рік). Визначається за формулою:

$$Q_{п1} = (K_{л} \cdot K_{п1}) \cdot M_n$$

де: $Q_{п1}$ – маса підкормки, яку вносять на усі лежа,

$K_{л}$ – кількість лож по вермігосподарству, шт.;

$K_{п1}$ – кількість підкормок (9-14), шт.;

M_n – маса підкормки (0,114-0,159), тонн.

3.2. Заселення субстрату черв'яками.

3.2.1. Кількість маточного поголів'я черв'яків для заселення початкових лож у квітні.

На одне ложе 2 м² заселяють різну кількість черв'яків (від 5 до 30 тис. шт.). Від пари черв'яків можна одержати до 1500 молодих особин за рік. Кількість черв'яків для заселення початкових лож визначається за формулою:

$$K_{ч} = K_{л1} \cdot N_3$$

де: $K_{ч}$ – кількість черв'яків для заселення, шт.;

$K_{л1}$ – кількість лож на початку роботи, шт.;

N_3 норма заселення на 2 м² (4, 5, 6, 7... тощо).

3.2.2. Кількість черв'яків для заселення усіх лож у вермігосподарстві. При визначенні кількості черв'яків, якими необхідно заселити усі лежа, враховують кількість лож, які плануються в господарстві за рік, і норму заселення:

$$K_{ч1} = K_{л} \cdot N_3$$

де: $K_{ч1}$ – кількість черв'яків для заселення усіх лож в

господарстві, шт.;

K_L – кількість лож по всьому вермігосподарству;

N_3 – норма заселення одного ложа (4-30 тис.).

Завдання 4. Одержання біотехнологічної продукції – черв'ячної біомаси та біогумусу.

4.1. Визначення кількості біогумусу, одержаного із квітневих лож. Біогумус – продукт переробки органічних відходів червоними каліфорнійськими черв'яками. Накопичення його у ложі проходить поступово, час дозрівання біогумусу становить близько 6 місяців. Враховуючи те, що із однієї тонни субстрату виходить 50-60% біогумусу, коефіцієнт трансформації становить 0,5-0,6. Визначається за формулою:

$$B_i = (B_c + Q_n) K_T$$

де: B_i – маса біогумусу, тонн;

B_c – маса базового субстрату, який використовується для закладки перших лож, тонн; K_T – коефіцієнт трансформації (0,5-0,6);

Q_n – маса субстрату, який використовується для підкормки.

4.2. Визначення кількості біогумусу, який можливо одержати при переробці усього субстрату за рік. Для визначення цього показника необхідно сумувати масу базового субстрату, а також масу підкормки, яку використовуємо для вермікультивування впродовж сезону. Субстрат, який згодували у липні – жовтні, у квітні вже буде готовим біогумусом. Визначення за формулою:

$$B_{ip} = (M_{бср} + Q_{пi}) K_T$$

де: B_{ip} – кількість біогумусу, яку можливо отримати при переробці накладеного субстрату, тонн;

$M_{бср}$ – маса базового субстрату за рік., тонн;

$Q_{пi}$ – маса підкормки за рік, сезон; тонн;

K_T – коефіцієнт трансформації (0,5-0,6).

4.3. Визначення кількості черв'яків, які одержуємо за сезон. Враховуючи те, що одна особина може дати до 700 штук черв'яків за рік, то за сезон з квітня по жовтень (6 міс.) цей показник становить 300-350 штук. Визначення цього показника проводимо із врахуванням початкової кількості черв'яків, яку заселили у квітні. Розрахунок проводиться за формулою:

$$K_{чз} = K_{ч} \cdot П_{в}$$

де: $K_{чз}$ – кількість одержаних черпаків за сезон в господарстві, виходячи із початкової кількості заселення лож, шт.;

$K_ч$ – кількість черв'яків для заселення, шт.;

$P_в$ – кількість потомства від одного черв'яка за сезон (300-350), шт.

Завдання 5. Проведіть процес вермікомпостування використовуючи різні види органічних субстратів та зробіть висновки.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте основні етапи вермікультивування.
2. Організми яких видів використовують для вермікомпостування? Назвіть основних представників.
3. Біологічні особливості дощових черв'яків та способи їх вирощування.
4. Наведіть основні вимоги до умов культивування *E. foetida* та процесу вермікомпостування.
5. Методика формування лож. Підготовка субстрату та техніка закладки маточного поголів'я в процесі вермікультивування.
6. Умови утримання та оцінка стану популяцій черв'яків у ложах.
7. Охарактеризуйте склад і властивості біогумусу, отриманого методом вермікомпостування.
8. Вермікультивування на присадибних ділянках.

Лабораторна робота №3

Тема: „Визначити основні поживні речовин у компості”

Мета: визначити вміст сполук нітрогену (амонію, нітратів), фосфору, вмісту гумусу та органічного вуглецю у компості.

Програмні питання: опрацювати методику визначення вмісту амонію та нітратів у компості та визначити вміст амонію та нітратів у досліджуваному компості; опрацювати методику визначення концентрацій фосфору у компості, визначити вміст фосфору у досліджуваному компості; опрацювати методики визначення вмісту гумусу і органічного вуглецю в компості, визначити вміст гумусу (у відсотках) та органічного вуглецю у дослідних зразках компосту двома методами.

Матеріали та обладнання: конічні колби на 100 см³, 250-300 см³, мірні колби на 50 см³, 1 н розчин хлориду калію (KCl), фільтрувальний папір, синя стрічка, 0,05% розчин сульфату калію (K₂SO₄), 0,2 н розчину HCl, аналітичні ваги, йоніметр, електроди для визначення, сушильна шафа, зразки компосту (грунту), аналітичні ваги, бюретки, колби на 100 см³ з корком-холодильником, електрична плита, промивалка, муфельна піч, скляні бюкси, фарфорові тиглі, кришки на тиглі, 0,4 н розчин біхромату калію (K₂Cr₂O₇) у розведеній (1:1) сульфатній кислоті (H₂SO₄); 0,2 н розчин солі Мора (NH₄)₂SO₄FeSO₄·6H₂O; розчин фенілантранілової кислоти, 0,2% розчин карбонату натрію (Na₂CO₃), спектрофотометр та кювети товщиною 5 см, ваги лабораторні аналітичні, таймер або годинник пісочний, колби мірні 100, 500, 1000 см³, піпетки мірні градуйовані об'ємом 2, 5, 10, 25 см³, циліндри мірні об'ємом 25, 50, 100 см³, фільтри паперові знезолені «синя стрічка», розчин дигідрофосфату калію (KH₂PO₄), розчин аскорбінової кислоти, концентрована сульфатна кислота H₂SO₄ конц, розчин молібденовокислого амонію ((NH₄)₂MoO₄), розчин калію антимонілтартрату (SbOKC₄H₄O₆·0,5H₂O).

Хід роботи

Безпосередньо доступними для живлення рослин є мінеральні сполуки нітрогену – аміачні солі та нітрати. Солей азотистої кислоти – нітритів у ґрунті мало, проте їхня роль у живленні рослин

недостатньо виявлена. За деякими даними, нітрити шкідливі для рослин. Аміачні солі та нітрати розчиняються у воді і можуть бути вилучені з ґрунту водними витяжками. Аміачний нітроген визначають в сольовій витяжці, при цьому у розчин переходить не водорозчинний, але й не зв'язаний амоній.

Співвідношення амонійного і нітратного нітрогену в ґрунті досить динамічне і залежить від мікробіологічної активності. Тому судити про забезпеченість ґрунтів нітрогеном по одиничному визначенню не коректно і лише повторні визначення протягом вегетаційного періоду дають уявлення про азотний режим ґрунту.

Амонійний нітроген екстрагують з ґрунту 1 н розчином КС1. У витяжку переходить амоній що знаходиться в обмінному стані, а також амоній розчинних у воді амонійних солей. Оскільки амоній водорозчинних солей становить лише невелику частину амонію, що переходить у сольову витяжку, цей метод вважають методом визначення обмінного амонію.

Фосфор входить до складу органічних і мінеральних сполук ґрунту. Вміст загального фосфору в ґрунтах становить 0,05-0,15% P_2O_5 . Органічні сполуки фосфору представлені в основному фосфоліпідами, нуклеїновими кислотами та їхніми похідними, гексозофосфатами, фосфопротеїдами.

Фосфор входить до складу гумінових і фульвокислот гумусу. У чорноземних ґрунтах вміст фосфору органічних сполук переважає над мінеральними, а в дерновопідзолистих – навпаки. Значна частина фосфору ґрунту перебуває у важкодоступних формах, які стають доступними рослинам внаслідок дії на них корневих екзометаболітів рослин і мікроорганізмів. Фосфор органічних сполук доступний рослинам після гідролітичного розкладання їх фосфатазами мікроорганізмів. Внесення добрив сприяє нагромадженню в ґрунті органічних і мінеральних сполук фосфору.

У живленні рослин основна роль належить мінеральним сполукам фосфору, які представлені залишками апатиту, фосфориту, солями фосфорних кислот. Мінеральні сполуки фосфору в ґрунті, що перебувають у постійній взаємодії та динамічній рівновазі, можна поділити на три групи: сполуки фосфору, які є в ґрунтовому розчині; осаджені або адсорбовані сполуки фосфору на поверхні твердих фаз ґрунту; важкорозчинні фосфати, які є в мінеральному скелеті ґрунту в первинних і вторинних мінералах (ця група є резервом, за рахунок

якого можуть поповнюватися запаси фосфатів адсорбованих на поверхні твердих фаз).

У живленні рослин важлива роль належить також сполукам фосфору, які перебувають у ґрунтовому розчині. Основними сполуками, які найкраще засвоюються, є солі фосфатної кислоти. Метафосфати і пірофосфати меншою мірою засвоюються рослинами.

Рослини найкраще засвоюють дигідрофосфати ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, KH_2PO_4 , NaH_2PO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), які вважають водорозчинними. Менш доступні для рослин гідрофосфати (CaHPO_4 , MgHPO_4), які розчинні у слабких кислотах. Фосфати ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) розчинні у сильних кислотах. Засвоюваність фосфору рослинами значною мірою залежить від процесів поглинання сполук фосфору. Внаслідок поглинання аніони фосфатної кислоти спочатку адсорбуються обмінними колоїдами ґрунту.

У кислому середовищі глинисті мінерали адсорбують фосфат-іони. Аніони карбонатів і органічних кислот та гумат натрію витісняють адсорбовані фосфат-іони. Цим і пояснюється велика доступність адсорбованих фосфатіонів. Обмінно-поглинуті фосфат-іони поступово переходять у хімічно осаджені.

Внаслідок хімічного осадження дигідрофосфати переходять у гідрофосфати, що зумовлює меншу розчинність і доступність сполук фосфору для рослин. У нейтральних і карбонатних ґрунтах утворюються в значній кількості фосфати кальцію і магнію, у кислих – фосфати заліза та алюмінію. Фосфор фосфату алюмінію більш доступний для рослин, ніж фосфор фосфату заліза. Фосфати кальцію і магнію, що утворилися, спочатку перебувають в аморфному стані, їх фосфор лише частково доступний рослинам.

Залежно від мети і завдань, які стоять перед дослідником, у ґрунті можуть визначати: загальний вміст фосфору, вміст органічних і мінеральних сполук фосфору, вміст і рухливість сполук фосфору, ступінь рухливості фосфатів, груповий і фракційний склад фосфатів тощо.

Визначення вмісту органічних речовин в компості базується на ДСТУ Б В.2.1-16:2009. Методи лабораторного визначення вмісту органічних речовин у ґрунті. Національний стандарт України.

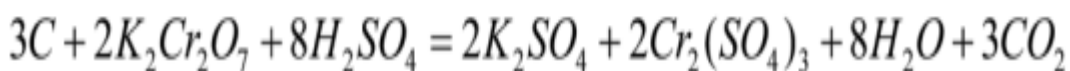
Гумус – сукупність всіх органічних сполук у ґрунтовому профілі, які втратили зв'язок з елементами структурної організації клітин і тканин. Для встановлення кількості гумусу визначають вміст вуглецю

органічних речовин, що розклалися у ґрунті, – органічного вуглецю. Для визначення органічного вуглецю застосовують методи:

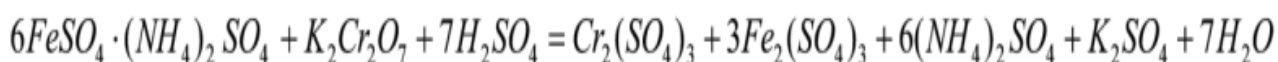
- оксидометричний;
- спалювання.

Оксидометричний метод застосовують для визначення органічного вуглецю в піщаних і глинистих ґрунтах, які містять менше ніж 10% гумусу, а в ґрунтах, які містять хлориди, – після видалення останніх. Органічну речовину окиснюють калій бихроматом у сильно кислому середовищі до утворення вуглекислоти, надлишок калій бихромату потім визначають титруванням розчином солі Мора. Визначають вміст органічного вуглецю в ґрунті за різницею об'ємів солі Мора, витрачених на титрування двохромовокислого калію в досліді без ґрунту та у досліді з ґрунтом.

Реакція окиснення відбувається за рівнянням:



Надлишок двохромовокислого калію титрують сіллю Мора, внаслідок чого протікає реакція:



За різницею між результатами холостого визначення та результатами, отриманими для наважки ґрунту, визначають кількість гумусу в ґрунті.

Таким методом можна визначити вміст гумусу до 10%. Тому для проведення досліді з компостом його розводять прожареним піском в 4 рази.

Таблиця 3.1

Маса проби ґрунту для аналізу залежить від вмісту гумусу.

| Забарвлення сухого ґрунту | Вміст гумусу, % | Маса наважки, г |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|
| Дуже чорне або темно-коричневе | 10-15 | 0,05-0,1 |
| Чорне або коричневе | 7-10 | 0,1-0,15 |
| Темно-сіре | 4-7 | 0,15-0,2 |
| Сіре | 2-4 | 0,2-0,6 |
| Світло-сіре | 1-2 | 0,5-1,0 |
| Білясте | < 1 | 1,0 |

Метод не допускається застосовувати для визначення органічного вуглецю в піщаних і глинистих ґрунтах морського, лиманного, старичного, озерного та болотного походження. Вміст органічного вуглецю в ґрунті визначають у відсотках сухої речовини проби та перераховують на кількісний вміст гумусу, застосовуючи коефіцієнт 1,724. Вміст вуглецю в чорноземах коливається в межах 3-6%, найвищі значення до 12%.

Метод спалювання. Метод заснований на зменшенні маси компосту при прожарюванні за температури 900°C, яке відбувається внаслідок того, що під час прожарювання компост втрачає гумус і адсорбовані газу. Тому порівнюючи різницю у масі висушеного до видалення гігроскопічної води (5 год за 105°C) та прожареного компосту (1 год за 900°C) можна вирахувати масу органічної речовини компосту.

Попередньо висушують компост (ґрунт) у сушильній шафі за 105°C до постійної маси.

Завдання 1. Визначення вмісту амонію.

Зважують 10 г компосту (ґрунту) і переносять у колбу на 250 см³. Наважку компосту заливають 100 см³ 1 н розчину КСІ. Збовтують на качалці протягом 30 хв, а потім фільтрують суспензію в мірну колбу на 200 см³. Коли вся суспензія буде відфільтрована, в колбу з компостом додають 20 см³ 1 н розчину КСІ і зливають його порціями на фільтр, намагаючись змити всі частинки компосту, що залишилися на стінках колби. Цю операцію повторюють 4-5 разів. Кожну нову порцію 1 н розчину КСІ доливають лише тоді, коли попередня порція повністю профільтрувалася.

На закінчення тим же розчином КСІ доводять вміст колби до мітки і, заклавши корком, збовтують для перемішування. В отриманій пробі за допомогою йоніметра визначають концентрацію NH₄⁺, та роблять перерахунки. Вміст амонію в компості визначають за формулою:

$$A = \frac{a \cdot 20}{b},$$

де А – вміст NH₄⁺, мг/100г компосту;

а – вміст амонійного нітрогену в наважці, мг/дм³;

б – маса наважки компосту, що відповідає об'єму взятого фільтрату, (10 г);

20 – коефіцієнт для перерахунку на 100 г компосту.

Завдання 2. Визначте вмісту нітратів.

Водні та сольові витяжки можуть бути підготовані при будь-якому співвідношенні води і компосту (грунту). Однак прийнято готувати витяжки при співвідношенні 1:5, тобто на 1 частину наважки брати 5 частин води або сольового розчину. Беруть 30 г компосту і 150 см³ 0,05 % водного розчину сульфату калію. Потім перемішують протягом 10 хвилин і фільтрують через щільний паперовий фільтр (синя стрічка). В отриманій пробі за допомогою йонміра визначають концентрацію – NO₃⁻. Вміст нітратів в компості визначають за формулою:

$$A = \frac{a \cdot V \cdot 100}{b \cdot 1000},$$

де А – вміст – NO₃⁻, мг/100г компосту;

а – вміст нітрату в розчині; мг/дм³;

б – маса наважки компосту;

100 – коефіцієнт для перерахунку на 100 г компосту;

V – об'єм розчинника.

Завдання 3. Визначте вміст амонійних сполук та нітратів в компості, отриманому шляхом вермікомпостування в попередній лабораторній роботі.

Порівняйте отримані результати зі значеннями, які характерні для різних типів компосту або ґрунту.

Завдання 4. Визначте вміст сполук фосфору в ґрунті.

Визначення сполук фосфору в ґрунті складається з кількох етапів.

1. Переведення фосфору з твердої фази ґрунту в розчин, внаслідок чого отримують ґрунтові витяжки, які містять ті чи інші сполуки фосфору. Це можна здійснити за допомогою сплавлення наважки ґрунту з содою, розкладанням її плавиковою кислотою, обробкою при нагріванні або на холоді концентрованими і розбавленими мінеральними кислотами, буферними чи сольовими розчинами тощо.

2. Підготовка ґрунтових витяжок до аналізу: знебарвлення, окиснення, випарювання, відновлення, осадження та ін.

3. Визначення фосфору в розчинах різними методами: гравіметричним, титриметричним, фотометричним. Найбільш поширеним, зручним і швидким є фотометричний метод визначення сполук фосфору в ґрунтових витяжках. Для різних ґрунтів характерні певні сполуки фосфору.

Залежно від їхнього складу вибирають конкретний метод визначення сполук фосфору. Враховуючи переважаючі сполуки фосфору у ґрунті і їхню доступність рослинам, застосовують різні екстрагенти для вилучення рухомих сполук фосфору (0,2 н розчин соляної кислоти, розчини оцтової і сульфатної кислот тощо). Тому основною відмінністю методик визначення рухомих сполук фосфору є розчинник, який застосовують для вилучення певних рухомих сполук фосфору з ґрунту.

Кількісно визначають фосфор у більшості методик колориметричним методом. Наприклад, рухомі сполуки фосфору в дерново-підзолистих і сірих лісових ґрунтах визначають методом Кірсанова, в чорноземах некарбонатних – за методом Чирікова, в карбонатних ґрунтах – за методами Мачигіна, Олсена, в кислих, нейтральних і карбонатних ґрунтах – за методом Брейя і Куртца [2].

Фракційний склад мінеральних сполук фосфору визначають за методами Чанга – Джексона, Гінзбург – Лебедевої, груповий склад – за методом Чирікова. Оптимальний вміст рухомого фосфору в кислих і нейтральних ґрунтах становить 100-150 мг P_2O_5 на 1000 г ґрунту, в карбонатних – 30-35 мг.

Для визначення рухомого фосфору в кислих підзолистих ґрунтах широко застосовують метод Кірсанова. Метод заснований на екстрагуванні фосфору з ґрунту 0,2 н розчином соляної кислоти при відношенні ґрунту до розчину 1:5 з наступним визначенням концентрації фосфору на спектрофотометрі. Забезпеченість рухомим фосфором (у мг/100 г ґрунту) ґрунтів оцінюється за шкалою:

- дуже низька < 3,0;
- низька 3,1-8,0;
- середня 8,1-15,0;
- підвищена 15,1-20,0;
- висока 20,1-30,0.

При взаємодії ортофосфат-іонів з молібдатом в кислому середовищі утворюється жовта гетерополікислота, яка під дією відновників перетворюється в інтенсивно забарвлену синю сполуку. Були запропоновані різні відновники, але з них найбільш стійкі,

постійні за складом продукти реакції дає лише аскорбінова кислота, яка є слабким відновником.

Однак відновлення аскорбіновою кислотою, відбувається тільки при підвищеній температурі, тобто в умовах, коли поліфосфати і органічні ефіри фосфорної кислоти гідролізують з утворенням ортофосфорної кислоти.

Введення в розчин солі стибію призводить до утворення більш складної сполуки, до складу якої входить стибій у співвідношенні $Sb:P=1:1$. Реакція тоді проходить швидко і при кімнатній температурі, підвищується інтенсивність забарвлення, а поліфосфати і складні ефіри фосфорної кислоти в цих умовах в реакцію не вступають, результати показують лише вміст ортофосфат-йонів в пробі.

Ортофосфати після реакції з молібдатом в середовищі сульфатної кислоти, в присутності іонів тривалентного стибію і після відновлення аскорбіновою кислотою забарвлюють розчин у синій колір, що дає можливість виміряти їх вміст.

Методика встановлює алгоритм кількісного визначення фосфатів у розчинах з діапазоном вмісту 2-5 мг/дм³ у перерахунку на P_2O_5 . Методика є обов'язковою для аналітичної служби органів державного контролю за рівнем забруднення та станом навколишнього природного середовища.

Приготування реактивів:

1. Основний розчин дигідрофосфату калію (KH_2PO_4) – готують таким чином, щоб 1 см³ розчину відповідав 0,1 мг P_2O_5 .
2. Стандартний розчин KH_2PO_4 отримують з основного розбавленням точно в 10 разів; 1 см³ містить 0,01 мг P_2O_5 .
3. Змішаний реактив готується безпосередньо перед проведенням визначення концентрації фосфатів. Усі розчини (крім розчину сульфатної кислоти) зберігаються у холодильнику.

Приготування реактивів для змішаного розчину:

1. Розчин сульфатної кислоти готують шляхом доливання 70 см³ концентрованої сульфатної кислоти до 400 см³ дистильованої води, проводять перемішування, а потім після охолодження доводять об'єм розчину до 500 см³ дистильованою водою.
2. Розчин аскорбінової кислоти: 2,68 г аскорбінової кислоти розчиняють в 100 см³ дистильованої води.
3. Розчин молібденовокислого амонію: 3 г молібденовокислого амонію ($(NH_4)_2MoO_4$) розчиняють у 100 см³ дистильованої води.

4. Розчин калію сурм'яновиннокислого (калію антимонолітартрат): 0,048 г $\text{SbOKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ розчиняють у 100 cm^3 дистильованої води. Змішаний розчин готують шляхом змішування 25 cm^3 розчину сульфатної кислоти, 10 cm^3 розчину аскорбінової кислоти, 10 cm^3 розчину молібденовокислого амонію та 5 cm^3 розчину калію сурм'яновиннокислого.

Побудова градуувального графіка:

Готують серію 5-8 розчинів з різною концентрацією фосфат-іонів 0,0; 0,02; 0,05.....1,00 mg/dm^3 , для чого послідовно відбирають 0,0; 1,0; 3,0; 5,0.....50,0 cm^3 робочого розчину фосфату калію у 100 cm^3 мірні колби, додають трохи дистильованої води і перемішують. Далі у кожну колбу по черзі додають 5 cm^3 змішаного реактиву та доводять дистильованою водою до 100 cm^3 та перемішують. Через 15 хвилин визначають оптичну густину на спектрофотометрі при $\lambda=690$ нм. Оптичну густину розчинів вимірюють у кюветах (5 см), обнуляючи за оптичною густиною холостого визначення. Будують калібрувальний графік.

Проведення дослідження:

10 г компосту (грунту), зважують на технічних вагах і пересипають в колбу на 100 cm^3 . Туди ж доливають 50 cm^3 0,2 н розчину HCl . Збовтують протягом 1 хв. Дають відстоятися 15 хв. і фільтрують через складчастий фільтр. Відбирають піпеткою 5-10 cm^3 фільтрату в мірну колбу на 100 cm^3 , доливають до половини дистильованою водою, додають 5 cm^3 змішаного реактиву і доводять до мітки дистильованою водою. Перемішують, відстоюють 15 хв і вимірюють оптичну густину розчину на спектрофотометрі при $\lambda=690$ нм.

Вміст фосфору розраховують за формулою:

$$P = \frac{a \cdot V \cdot 100 \cdot 100}{V_1 \cdot b \cdot 1000}$$

де P– кількість P_2O_5 в мг на 100 г повітряно-сухого компосту (грунту);

a – значення концентрації з градуувального графіка, mg/dm^3 ;

b – маса наважки компосту (грунту), г;

V – загальний об'єм екстрагента, cm^3 ;

V_1 – аліквота (об'єм фільтрату, відібраний для аналізу), cm^3 ;

100 – коефіцієнт для перерахунку на об'єм аналізованого розчину;

100 – коефіцієнт для перерахунку на 100 г компосту (грунту).

Роблять висновки про якість ґрунту (компосту) для вирощування сільськогосподарських культур.

Завдання 5. Визначте вміст сполук фосфору в компості, отриманому шляхом вермікомпостування в попередній лабораторній роботі.

Завдання 6. Визначте вміст вуглецю (органічного) та гумусу в компості.

1 Оксидометричний метод.

Приготування реактивів:

1. Розчин біхромату калію $K_2Cr_2O_7$ в розведеній сульфатній кислоті готують наступним чином: 40 г тонко подрібненого в фарфоровій ступці кристалічного $K_2Cr_2O_7$ розчинити приблизно в 500-600 cm^3 дистильованої води (можна підігріти для кращого розчинення), профільтрувати. Довести об'єм дистильованою водою до 1 dm^3 .

Розчин перелити у велику термостійку колбу і туди долити невеликими порціями (приблизно по 100 cm^3) 1 dm^3 H_2SO_4 , обережно перемішуючи (температура розчину підвищується). Розчин закривають і залишають стояти добу до повного охолодження.

2. Розчин солі Мора 0,2 н: 80 г солі Мора перенести в термостійку (відбувається екзотермічна реакція) колбу, об'ємом 1 dm^3 , додати 1 н розчин сульфатної кислоти до 2/3 колби, профільтрувати, після цього довести об'єм до мітки 1 dm^3 дистильованою водою і добре перемішати.

3. Робочий розчин фенілантранілової кислоти: приготувати 0,2% розчин карбонату натрію (Na_2CO_3); розчинити 0,2 г фенілантранілової кислоти в 100 cm^3 розчину Na_2CO_3 (спочатку до кислоти додають кілька краплин 0,2% розчину Na_2CO_3 , розтирають паличкою до кашоподібного стану і далі доливають решту розчин перемішуючи). Розчин фенілантранілової кислоти може зберігатися тривалий час (декілька місяців у холодильнику).

Виконання аналізу.

1. Підготувати компост (ґрунт) – висушити до повітряно-сухого стану, видалити всі органічні включення – корінці, листки, розтерти і

просіяти через сито з отворами 0,25 мм, та змішати сухий компост з попередньо прожареним за 800°C піском у співвідношенні 1:3: взяти наважки 0,1 г повітряно-сухого компосту та 0,3 г піску. Суміш старанно перемішати.

2. Наважку отриманої суміші 0,05 г поміщають у суху конічну колбу об'ємом 100 см³.

3. Додають у колбу 10 см³ 0,4 н розчину K₂Cr₂O₇ у сульфатній кислоті (хромова суміш).

4. Колбу закривають корком зі зворотним холодильником та ставлять на електричну плитку. По мірі нагрівання з рідини виділяються бульбашки CO₂, після цього розчин закипає. Кипіння повинно бути слабким та продовжуватися не більше 5 хвилин.

При кип'ятінні забарвлення розчину повинно змінюватися від жовтогарячого до бурувато-коричневого. Якщо з'являється зелене забарвлення, це свідчить про повну витрату хромової кислоти та можливу нестачу її на окислення гумусу. В такому випадку дослід слід повторити, зменшивши наважку компосту (грунту).

5. Після кипіння колбу охолоджують. Дистильованою водою обливають корок та горло колби, доводячи об'єм у ній до 30-40 см³. Додають 4 краплі індикатора – розчину фенілантранілової кислоти і титрують 0,2 н розчином солі Мора до переходу червоно-бурого забарвлення через фіолетове в прозоро-зелене. Після забарвлення розчину у фіолетово-сірий колір титрування треба вести по одній краплині, ретельно розмішуючи суміш.

6. Визначають скільки солі Мора йде на титрування 10 см³ розчину K₂Cr₂O₇ – холосте визначення (зробити все у тій же послідовності, тільки без наважки ґрунту, насипаючи замість неї добре прокалений (при 800°C) пісок).

7. Обчислюють відсотковий вміст вуглецю (C) у компості (грунті) за формулою:

$$C = \frac{100 \cdot (a - b) \cdot N \cdot 0,003}{m},$$

де а – об'єм солі Мора, витраченої на холосте титрування, см³;

б – об'єм солі Мора, витраченої на титрування досліджуваного зразка, см³;

Н – нормальна концентрація солі Мора (0,2);

m – маса наважки компосту (грунту), г.

Отримане значення для компосту потрібно помножити на 4 (кратність розведення проби піском).

8. Вміст гумусу обчислюють за формулою (вміст органічного вуглецю у гумусі близько 58%):

$$H = C \cdot 1,724.$$

2 Метод спалювання.

Виконання аналізу.

1. Зважують у фарфоровому тиглі 1,0 г повітряно-сухого компосту, просіяного через сито.

2. Тигель з наважкою поміщають в холодну муфельну піч та прожарюють при температурі 900°C 1 годину (час рахують з моменту розігріву печі до потрібної температури).

3. Виймають тигель з муфельної печі, закривають кришкою та ставлять у ексикатор для охолодження.

4. Потім зважують тигель на аналітичних вагах. Прожарений ґрунт надзвичайно гігроскопічний та активно вбирає вологу. Тому для точних вимірів компост (ґрунт) прокалюють повторно протягом 10-20 хв (тигель можна ставити у вже нагрітій муфель).

Якщо для зважування використовують механічні ваги, то при повторному зважуванні встановлюють ваги на відповідність значенню маси попереднього зважування, потім швидко встановлюють тигель і зважують. За правильну вагу приймають найменшу.

5. Паралельно встановлюють вміст гігроскопічної вологи в компості. Для цього в закритому бюксі зважують 1,0 г повітряно-сухого компосту, відкривають і ставлять до сушильної шафи, розігрітої до температури 105°C, на 5 годин (у двох повторностях). Протягом сушіння не можна відчиняти шафу.

6. Після висушування бюкси охолоджують в ексикаторі та зважують.

7. Розраховують вміст гігроскопічної води в компості за різницею у масі (абсолютне значення) та у відсотках. Розраховують середнє значення у двох повторностях.

8. Розраховують вміст гумусу у компості як масову різницю втрати маси при прожарюванні та вмісту гігроскопічної води. Порівнюють дані щодо вмісту гумусу в компості, отримані двома методами.

Завдання 7. Визначте вміст гумусу в досліджуваному компості двома методами та порівняйте отримані значення.

Зробіть висновки, щодо точності визначення вмісту гумусу за використання запропонованих методик. Порівняйте отримані значення вмісту органічної речовини в компості зі значеннями вмісту гумусу в ґрунтах України.

Контрольні питання:

1. У складі яких сполук нітроген присутній у ґрунті та може засвоюватися рослинами?
2. Що є основним чинником, який впливає на те, які сполуки нітрогену переважають у складі ґрунту?
3. Опишіть послідовність визначення вмісту амонію та вмісту нітратів в компості.
4. Як впливають сполуки фосфору на ріст та розвиток рослин?
5. В яких сполуках у живих організмах міститься фосфор та в яких формах?
6. Як впливають сполуки фосфору на водні екосистеми?
7. На якому принципі базується метод визначення сполук фосфору?
8. Як впливають органічні сполуки на ріст та розвиток рослин?
9. На якому принципі заснований метод спалювання?
10. Як обчислюють відсоток вуглецю у ґрунті?

Лабораторна робота №4

Тема: „Енергетичний потенціал метаноутворення за мезофільного анаеробного розкладання органічної складової мулового осаду”

Мета: розрахувати вихід біогазу за анаеробного збродження мулового осаду

Програмні питання: охарактеризувати органічні відходи мулового осаду та ознайомитись з методикою розрахунків виходу біогазу в процесі утилізації мулового осаду; дослідити вплив абіотичних факторів на процес утворення біогазу та визначити об'єм біогазу за анаеробного збродження мулового осаду.

Матеріали та обладнання: схеми, таблиці та нормативні документи, формули розрахунків.

Хід роботи

В процесі очищення стічних вод утворюються багатотоннажні тверді відходи (осади стічних вод первинних та вторинних відстійників, відходи біологічних очисних споруд – надлишковий активний мул), які мають різний хімічний склад та фізико-механічні властивості, а також відносяться до різних класів небезпеки.

Муловий осад стічних вод на 70-80% складається з органічних компонентів, більшість яких піддаються розкладанню в часі в умовах їх депонування на мулових майданчиках в результаті природних хімічних і біологічних процесів.

Оскільки відходи мулового осаду складаються і знаходяться депонованими на мулових майданчиках (картах) тривалий час, екосистема міст складування динамічна, тобто змінюється в часі.

Біохімічні процеси розкладання органічної частини мулового осаду мікроорганізмами називають ферментацією. Процес ферментації може протікати в аеробних умовах (аеробна ферментація), або в анаеробних умовах (анаеробна ферментація).

В результаті реакції гідролізу утворюються низькомолекулярні органічні речовини, які протягом короткого часу (декілька тижнів) проходять стадію киснево-нітратного окислення і розкладаються в аеробних умовах до води, діоксиду вуглецю і азоту. Процеси розкладання органічних речовин приведені на рис. 4.1. Для

анаеробних умов характерна стадія розпаду продуктів гідролізу. Тривалість цієї стадії – від 1 до 6 місяців.

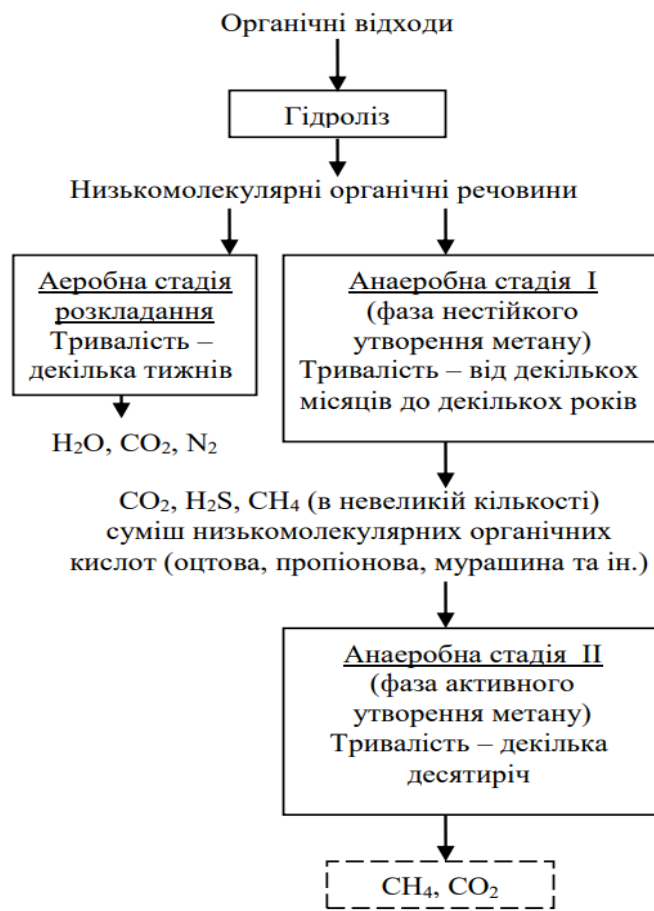


Рис. 4.1. Принципова схема розкладання органічних речовин мулового осаду стічних вод

В результаті процесів ферментації та відновлення сульфатів органічні речовини руйнуються до низькомолекулярних кислот (утворюється, зокрема, оцтова кислота), діоксиду вуглецю і сульфїду водню, в невеликих кількостях виділяється метан (CH₄). При цьому утворюються проміжні продукти – карбонові кислоти і спирти.

В анаеробних умовах більш високому вмісту вологи в муловому осаді відповідають більш активні біологічні процеси. Субстрат як поживне середовище для мікроорганізмів відіграє важливу роль в процесах розкладання органічного складової мулового осаду (рис. 4.2). В загальному виді процес розкладання органічних речовин мулового осаду може бути розділений на три стадії. На першій стадії органічні розчинені речовини гідролізуються і під впливом ферментів мікробів розщеплюються до проміжних продуктів – жирних кислот, спиртів, водню і діоксиду вуглецю.

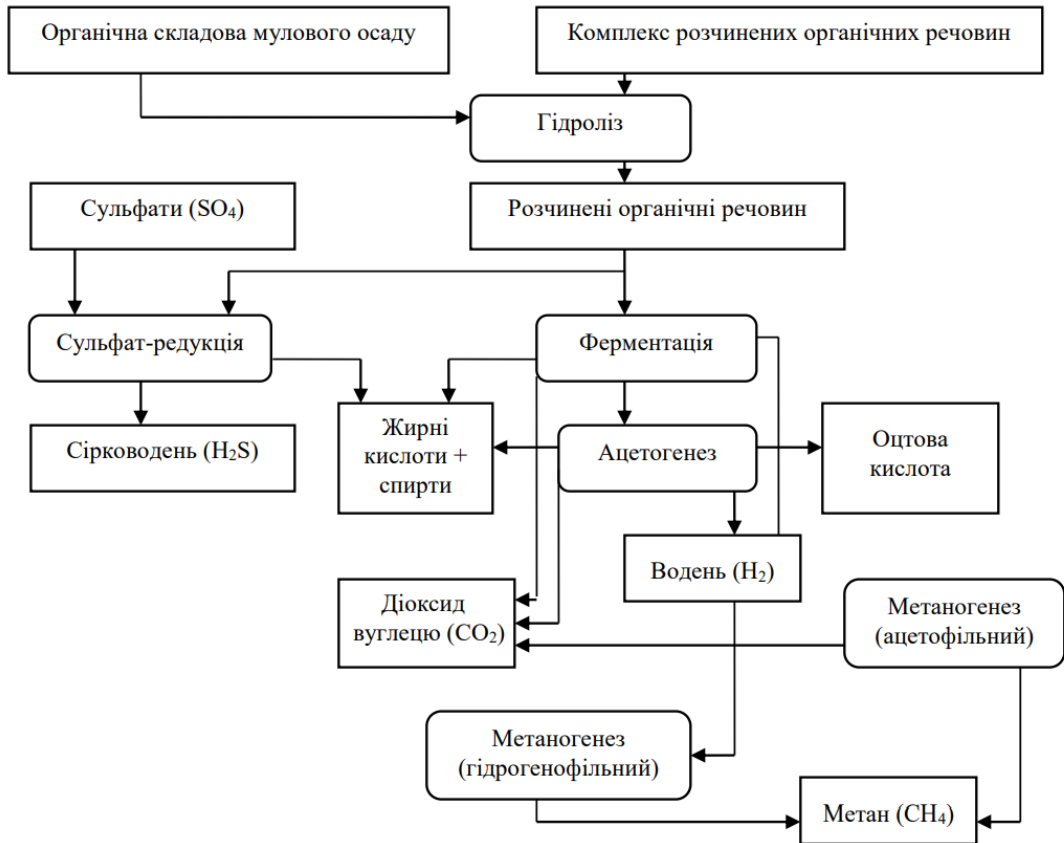


Рис. 4.2. Субстрати і головні мікробіальні групи метаногенеруючої екосистеми

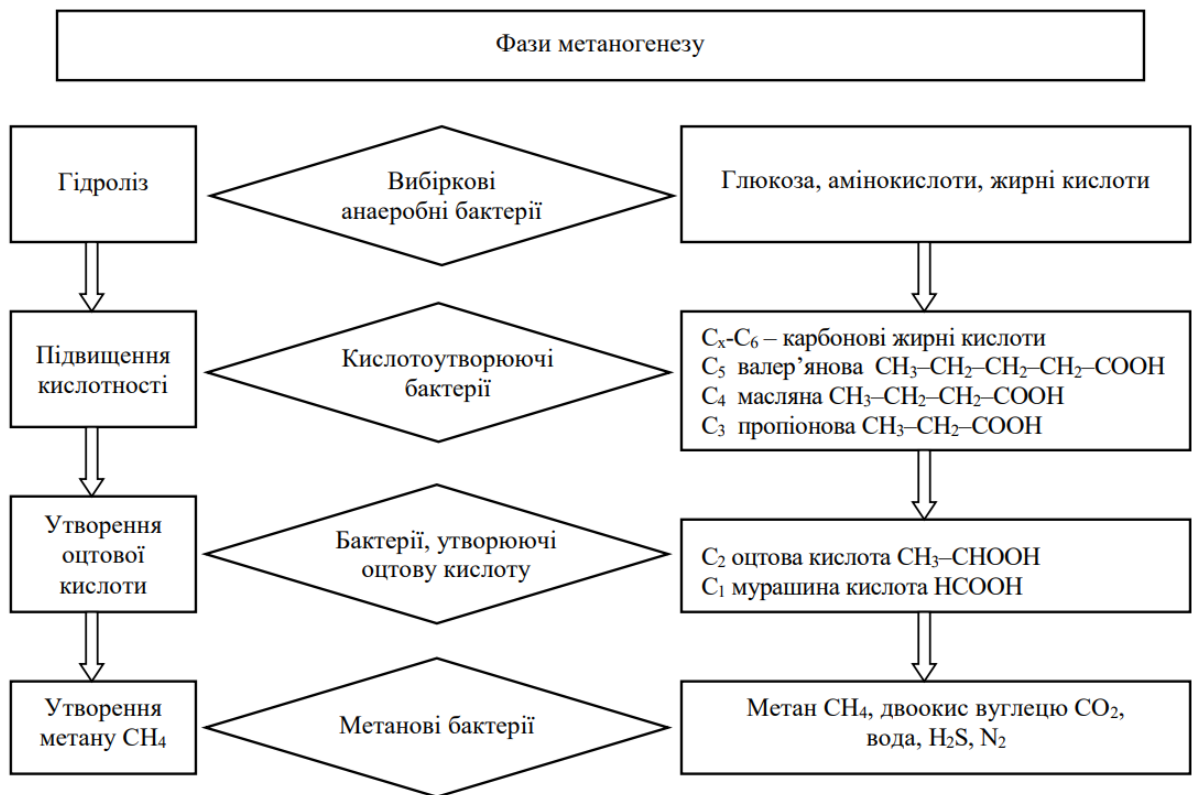
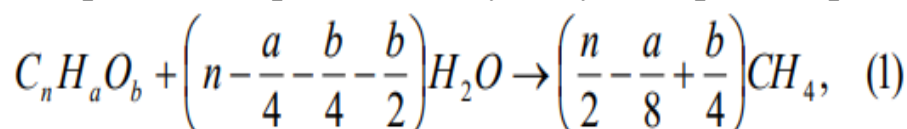


Рис. 4.3. Процеси утворення біогазу

На другій стадії ацетогенічні групи мікробів перетворюють проміжні продукти, одержані на першій стадії, в оцтову кислоту, водень і діоксид вуглецю. На третій стадії (заклучній), яка має назву метанового зброджування, органіка перетворюється в метан CH_4 і двоокис вуглецю CO_2 , а з вільних (CO_2) (H_2) також утворюється метан (рис. 4.3).

Завдання 1. Дослідити вплив абіотичних факторів на процес утворення біогазу.

Стехіометрично ці процеси можуть бути виражені рівнянням (1):



де n, a, b – стехіометричні коефіцієнти.

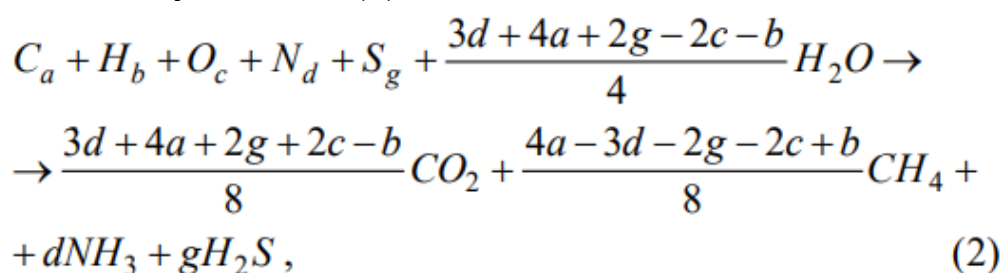
На процеси утворення метану CH_4 впливають абіотичні фактори:

- кисень. Метаноутворюючі бактерії розвиваються в анаеробній зоні. Наявність кисню в значних концентраціях може гальмувати процес генерації метану CH_4 .

- водень. При високих концентраціях водню з CO_2 і етанолу утворюються масляна і пропіонова кислоти. При зниженні тиску водню ці кислоти в кінцевому результаті перетворюються в метан. - рН та лужність. Метаногенеруючі бактерії при мезофільному анаеробному розкладанні органічної складової відходів мулового осаду ефективно працюють при рН=6...8. Із всіх абіотичних факторів рН має найбільше значення, оскільки при кислих значеннях рН процес метаноутворення може бути пригніченим.

- вологість. Багатьма дослідженнями доведено збільшення виходу метану (CH_4) з підвищенням вологості органічної складової відходів мулового осаду від 20 до 60%.

В анаеробних умовах більш активно проходять біологічні процеси. Основну хімічну формулу анаеробного процесу можна записати в такому вигляді (2):



де a, b, c, d, g – кількість грам-молей відповідного хімічного елемента.

Знаючи молекулярну масу утворених сполук: CO₂ (44), CH₄ (16), NH₃ (17), H₂S (34), H₂O (18), можна визначити маси речовин, що утворюються при анаеробному розкладанні 1 кг органічних відходів. Дані таких розрахунків наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Кількість грам-молей основних хімічних елементів
в органічних відходах

| Хімічний знак елемента | Маса в 1 кг органічних відходів, г | Кількість грам-молей | Умовне позначення кількості грам-молей |
|------------------------|------------------------------------|----------------------|--|
| C | 102,16 | 8,51 | a |
| H | 13,87 | 13,87 | b |
| O | 70,70 | 4,40 | c |
| N | 2,50 | 0,18 | d |
| S | 0,32 | 0,01 | g |
| Всього: | 189,55 | | |

Метаноутворюючі бактерії можуть існувати тільки в анаеробних умовах, для їх відтворення необхідно більше часу, ніж для кислотоутворюючих бактерій. Швидкість анаеробного зброджування залежить від метаболічної активності метанових бактерій, яка в свою чергу залежить від:

- температури (оптимум $t = 33-54$ °C);
- відношення C/N (оптимум в діапазоні 10-16);
- величини рН (оптимум біля 6,5) та інших зовнішніх умов, наприклад, наявності в муловому осаді солей важких металів, аміаку, нітратів, сульфатів та ін.

При відхиленні від вказаних вище оптимальних умов збільшується виникнення летючих кислот і зменшується вихід метану CH₄.

Завдання 2. Визначити об'єм біогазу за анаеробного зброджування мулового осаду

Для розрахунку кількісних і якісних характеристик утворення біогазу в якості вихідних даних приймається склад органічної

частини мулового осаду, вміст основних хімічних елементів (табл. 4.1, 4.2) і кількість сухої речовини органічної складової осаду, здатної до розкладання в анаеробних умовах.

Аналіз літературних (технічних) даних дозволяє зробити висновок, що в середньому в 1 кг відходів суха органічна речовина складає 212,4 г.

Таблиця 4.2

Склад основних компонентів в % мас та характеристика біогазу

| Характеристика | Компоненти біогазу | | | | Базова суміш (60% CH ₄ + 4-40% CO ₂) |
|--|--------------------|-----------------|----------------|------------------|---|
| | CH ₄ | CO ₂ | H ₂ | H ₂ S | |
| Об'ємна частка, % | 50-60 | 30-40 | < 1 | < 3 | 100 |
| Об'ємна теплота згоряння, МДж/м ³ | 35,8 | – | 10,8 | 22,8 | 21,5 |
| Температура запалювання, °С | 65-750 | – | 585 | – | 650-750 |
| Критичний тиск, МПа | 4,7 | 7,5 | 1,3 | 8,9 | 7,5-8,9 |
| Оптимальна щільність, г/л | 0,72 | 1,93 | 0,09 | 1,54 | 1,2 |
| Критична температура, °С | -82,5 | 31,0 | – | 100 | 2,5 |
| Критична щільність, г/л | 102 | 468 | 31 | 349 | 320 |

В розрахунках прийнято, що біогаз виходить з відходів при температурі 30°C. Перерахунок щільності газів при цій температурі визначається за формулою (3):

$$\frac{PV}{T_0} = const, \quad (3)$$

де P – тиск газу, p = 760 мм в.ст.;

V – об'єм газу, $V = m / \rho$, m – маса газу;

T – абсолютна температура газу (за шкалою Кельвіна), $T = t + 273$, t – температура за шкалою Цельсія.

Щільність CO₂ (при 30°C) складає 1,7596 кг/м³; CH₄ – 0,6380; NH₃ – 0,6863; H₂S – 1,3699.

Об'єм суміші утворюваних газів визначається за формулою (4):

$$V_c = \sum_i^n V_i, \quad (4)$$

де V_i – парціальний об'єм визначеного газу.

Щільність суміші газів визначається за формулою (5):

$$P_c = \frac{M_c}{V_c}, \quad (5)$$

де M_c – маса суміші газів.

Наведені об'єми утворення газів можна вважати лише потенційними, оскільки на практиці ні аеробного, ні анаеробного процесу в чистому виді не буває, ці процеси завжди йдуть одночасно.

Біологічні процеси являються ключовими і виражені фазами аеробного і мезофільного анаеробного розкладання органічної складової мулового осаду з утворенням біогазу. Підраховано, що з 1 т відходів мулового осаду утворюється біля 200-250 м³ біогазу.

Спрощений процес утворення біогазу відображає реакція (конверсія глюкози в метан):



Основні компоненти біогазу: метан – 40-75% (як правило, 50-60%), діоксид вуглецю – 30-40%, азот – 5-15%, кисень – 0-2%, сірководень та інші токсичні сполуки в невеликих кількостях.

В залежності від вмісту метану біогаз має теплоту згоряння від 15 до 20 МДж/м³ (3600- 4800 ккал/м³), що відповідає 50% теплоти згоряння природного газу. В середньому теплота згоряння біогазу складає 17,6 МДж/м³.

На підставі узагальнених результатів численних лабораторних досліджень, складена математична модель визначення питомого виходу біогазу за період його активної стабілізованої генерації. Ця модель описується формулою (6):

$$Q_{t1} = \frac{1,8G_o(1-10^{kt})}{\left(\frac{59-W}{13}\right)^4}, \quad (6)$$

де Q_{t1} – питомий вихід біогазу, м³ /т відходів;

G_o – 1,868 Сакт (0,014Т + 0,28);

Сакт. – активний органічний вуглець, г/т відходів;

Т – температура депонованого мулового осаду, °С (температура коливається від 28 до 32°С);

k – постійна розкладання, що дорівнює відношенню вуглецю до загального азоту (C/N);

t – тривалість періоду стабілізованого виходу біогазу, рік;

W – природна вологість відходів мулового осаду, %.

Для практичних розрахунків зручніше користуватися відомим рівнянням виходу біогазу при метановому бродінні (7):

$$Q_{t2} = 10^{-6} R(100 - W)(0,92Ж + 0,62У + 0,34Б), \quad (7)$$

де Q_{t2} – питомий вихід біогазу за період активного виходу, кг/кг відходів;

W – середня вологість відходів осаду, %;

R – вміст органічної складової у відходах, на суху масу, %;

$Ж$ – вміст жироподібних речовин в органічних відходах мулового осаду, %;

$У$ – вміст карбонвмісних речовин в органічних відходах, %;

$Б$ – вміст білкових речовин в органічних відходах осаду, %;

$W, R, Ж, У, Б$ – визначаються аналізами відібраних проб відходів.

Після виконання кожного із завдань зробити узагальнення та висновки, які записати у робочий зошит.

Контрольні питання

1. У чому виявляються конструкційні особливості біогазових установок?

2. Охарактеризуйте види метанових біореакторів.

3. У яких галузях національної економіки доцільно використовувати біогазові реактори?

4. Назвіть екологічні переваги виробництва й використання біогазу.

5. Які перспективи використання біогазових установок в Україні?

6. Надайте загальну характеристику біометаногенезу.

7. Як функціонують біогазові установки безперервної дії?

8. Охарактеризуйте сучасний стан біогазових технологій.

9. Які бувають способи анаеробної ферментації?

10. Як використовують тверду і рідку фракції по закінченню біометаногенезу?

Лабораторна робота №5

Тема: „Інтенсивність продукування водню популяціями мікроорганізмами залежно від якості субстрату (органічних відходів АПК)”

Мета: дослідити вплив якісного складу відходів сільськогосподарської сировини на процес продукування водню угрупованням мікроорганізмів.

Програмні питання: провести аналіз продуктивності одержання водню основними продуцентами (отримання водню шляхом анаеробної ферментації (темного бродіння); за використання зелених водоростей, ціано- та пурпурових бактерій; з використанням біоелектрохімічно-активних мікроорганізмів (мікроорганізмів-екзоелектрогенів). Дослідити інтенсивність виділення водню із целюлозовмісних субстратів (відходів ячменю, кукурудзи, ріпаку, соняшнику) за анаеробних мезофільних умов ферментації.

Матеріали та обладнання: асоціація анаеробних мікроорганізмів, субстрати: відходи ячменю, кукурудзи, ріпаку, соняшнику попередньо подрібнювали до розмірів 1x3 мм, біореакторах об'ємом 500 мл, сухо-повітряний термостат ТС-80М, мікроскоп XSP-139TP зі збільшенням 1000×, газовий хроматограф ЛХМ-8-МД, водяна баня, розчин резазурину, фільтрувальний папір як джерело целюлози, солі: $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4$; KH_2PO_4 ; K_2HPO_4 ; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; NaCl ; $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; CaCO_3 .

Хід роботи

Водень, з точки зору зменшення емісії парникових газів в атмосферу, є ідеальним паливом, оскільки єдиним продуктом його згорання є вода. Більшість методів виробництва водню, які зараз використовують є досить дорогими та енергозатратними. Утворення водню в метаболічних процесах, що протікають в живих організмах – це загальновідомий та давно встановлений факт.

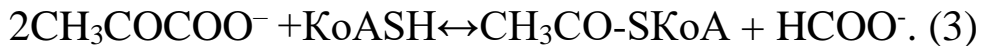
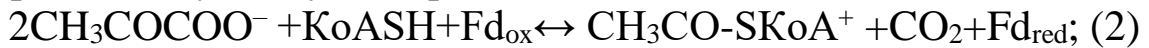
Завдання 1. Провести аналіз продуктивності одержання водню основними продуцентами.

1.1. Отримання водню шляхом анаеробної ферментації (темного бродіння).

Основними субстратом для отримання водню слугують різноманітні органічні сполуки – відходи промислових, комунальних та сільськогосподарських підприємств. Основним етапом у всіх процесах метаболізму глюкози є перетворення глюкози до пірувату (1). При цьому теоретично може утворитися 2 моля водню при генеруванні НАДН. У більшості бактерій метаболізм глюкози до пірувату відбувається по шляху ЕмбденаМейєргофа-Парнаса:



Ключовим субстратом для отримання водню з органічних речовин є Ацетил-КоА, який утворюється з пірувату. Кількість Ацетил-КоА є фактором, який визначає кількість водню (2 моля чи 4 моля), що утвориться на моль спожитого цукру. Залежно від ферментної системи мікроорганізмів Ацетил-КоА може утворюватися у наступних реакціях:



Реакцію (2) каталізує фермент піруватфередоксин-оксидоредуктаза, коензим якого – фередоксин виступає як акцептор електронів. Ацетил-КоА, швидко метаболізується до ацетату чи бутирату, в обох випадках з одного моля фередоксину утворюється 1 моль водню. Частина електронів у цьому шляху метаболізму переноситься на НАД⁺, при цьому генерується НАДН, який потім використовується для продукування водню за допомогою іншого метаболічного шляху.

Якщо кінцевим продуктом виступає ацетат, то в процесі гліколізу утворюється ще 1 моль водню за відновлення кожного моля НАДН. У такому разі загальний вихід водню становить 4 моля водню на моль спожитої глюкози і загальну реакцію можна записати як:



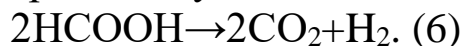
Коли кінцевим продуктом ферментації є бутират:



загальний вихід водню становить 2 моля на 1 моль глюкози, оскільки, утворені молекули НАДН витрачаються на окиснення Ацетил-КоА до бутирату.

Другий шлях, описаний рівнянням (3) призводить до одночасного утворення Ацетил-КоА і форміату, і каталізується ферментом

піруват-форміатліазою. Форміат, утворений в цій реакції може далі метаболізуватися з утворенням вуглекислого газу і водню:



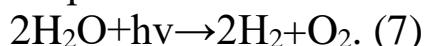
Таким чином сумарний вихід водню для цього шляху становить 4 моль водню на моль спожитої глюкози.

Отримання водню шляхом використання темної ферментації має певні проблеми, які гальмують широке впровадження цього методу. Основною проблемою є зменшення виходу водню через накопичення в культуральному середовищі продуктів метаболізму, зокрема оцтової кислоти та бутилової кислоти, метану, а також, іноді етанолу, лактату, форміату та пропіонової кислоти, які не можуть бути використаними мікроорганізмами, як поживний субстрат, тому вихід водню зменшується зі збільшенням кількості цих продуктів. Крім того, необхідна подальша утилізація цих побічних продуктів, для уникнення їх потрапляння у довкілля.

1.2. Отримання водню за використання зелених водоростей і ціанобактерій.

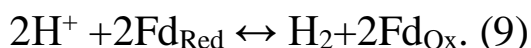
Фотосинтез є іще одним шляхом метаболізму, при якому може виділятися молекулярний водень. Ці організми за способом живлення є фотогетеротрофами, джерелом енергії для цього процесу слугує сонячне випромінювання, а донором електронів – вода. Джерелом карбону для мікроорганізмів, які генерують водень фотосинтетичним шляхом є органічні кислоти, зокрема: оцтова, бутилова, малінова.

В загальному вигляді процес утворення водню при фотосинтезі можна описати наступним рівнянням:

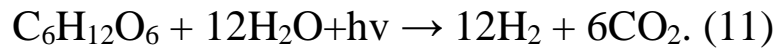
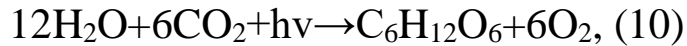


Утворення водню у зелених водоростей каталізується гідрогеназою згідно рівняння: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2$. (8)

Однак, гідрогеназа є дуже чутливою до наявності кисню в середовищі. Тому, для отримання водню при використанні зелених водоростей необхідно створити безкисневі умови, а оскільки кисень також утворюється при фотосинтезі постає проблема його постійного видалення для підтримання цих умов. Одним з таких методів є культивування водоростей за умов дефіциту сірки. В таких умовах відбувається реакція при якій відновлений ферредоксин відновлює водень замість НАДФ⁺:



У ціанобактерій водень утворюється в процесі непрямого фотосинтезу в дві стадії:

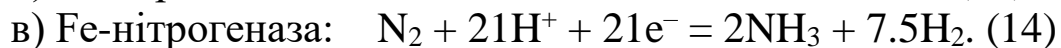
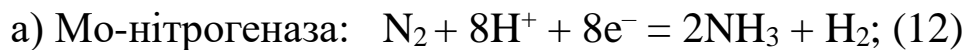


При такому виді метаболізму кисень і водень утворюються на різних стадіях і тому можна уникнути інгібуючого впливу кисню на гідрогеназу.

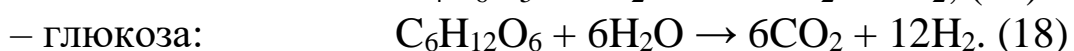
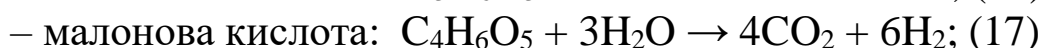
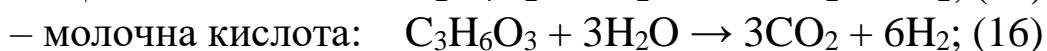
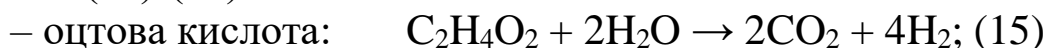
Основним фактором, який лімітує процес виділення водню фотосинтетичним шляхом – це мала швидкість росту мікроорганізмів, оскільки швидкість виділення водню напряму залежить від швидкості росту мікроорганізмів. Значний вплив на процес фотосинтетичного виділення водню чинить інтенсивність освітлення.

1.3. Отримання водню за використання пурпурних бактерій.

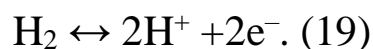
Водень у пурпурних бактерій утворюється у реакціях, які перебігають за участі гідрогеназ, як у зелених водоростей або нітрогеназ. Залежно від виду нітрогенази, водень у пурпурних бактерій та ціанобактерій може утворюватися відповідно до трьох реакцій:



Водень утворюється нітрогеназою в необоротній реакції, в якій 4 молекули АТФ витрачаються на продукування однієї молекули водню. Генерування водню у пурпурних бактерій відбувається при наявності органічних кислот, наприклад, оцтової, маленової чи глюкози, а також інших органічних речовин. Максимальний теоретичний вихід водню при споживанні цих речовин, відповідно до рівнянь (13)-(16) становить:



Також, ці бактерії мають здатність змінювати свій метаболізм на фотоавтотрофний і використовувати як джерело вуглецю CO_2 . При створенні в клітині високого співвідношення НАДН/(НАД⁺ + НАДН) гідрогеназа, яка каталізує розчеплення водню відповідно до реакції (19) може працювати в зворотному напрямку, що призводить до утворення водню:



При відсутності світла у пурпурних бактерій водень може утворюватися у реакціях розкладання форміату до вуглекислого газу, які каталізує форміатгідроген ліазний комплекс. Ця реакція супроводжується відновленням НАД⁺:



Для пурпурних нессульфурних бактерій також характерне утворення водню при проходженні шифтреакції:

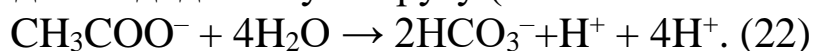


В даній реакції водень утворюється з води. Ця реакція відбувається завдяки функціонуванню двох ферментів: гідрогенази і специфічної СО-гідрогенази і не потребує присутності світла.

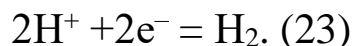
Вихід водню в процесі фотоферментації за участі пурпурних бактерій залежить від багатьох факторів, серед них значно знижують вихід водню мала інтенсивність світла, надмірна або замала концентрація субстрату, присутність іонів амонію чи контамінація середовища. Максимальний теоретичний вихід водню може досягати 12 моль на моль спожитої глюкози.

1.4. Отримання водню з використанням біоелектрохімічно-активних мікроорганізмів (мікроорганізмів-екзоелектрогенів).

Біоелектрохімічні системи, такі, як мікробні паливні елементи (МПЕ) – це системи, які використовують здатність мікроорганізмів-екзоелектрогенів переносити електрони, виділені під час дихання назовні клітини для отримання електричної енергії чи водню. Оскільки, загальна реакція перетворення субстрату у водень у біоелектрохімічній системі (22) є ендотермічною, то для отримання водню прикладають додаткову напругу (зазвичай в межах 0,4-0,7 В).



Протони на катоді рекомбінують з електронами відповідно до реакції:

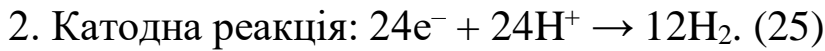


Через різницю потенціалів на катоді і аноді формується електричний струм і напруга. Для утворення водню на катоді необхідний електрохімічний потенціал становить -0,41 В. Відповідно до останніх досліджень анодний потенціал МПЕ при розімкненому колі становить -0,300 В. Тому, прикладання зовнішньої напруги до катода, більшої ніж 0,11 В, дозволяє подолати термодинамічний бар'єр.

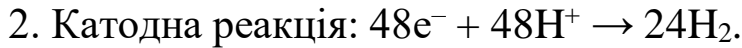
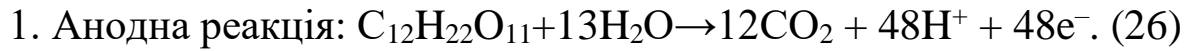
Субстратами, які мікроорганізми використовують для свого метаболізму можуть бути етанол, глюкоза, молочна кислота, форміат,

амінокислоти, а також комплексні субстрати, наприклад стічні води, сироватка, тобто, практично будь-яка органічна речовина.

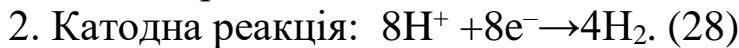
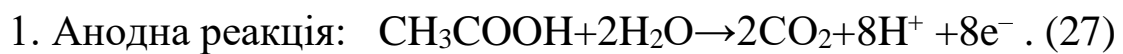
Так, за використання глюкози як субстрату, реакція метаболізму має вигляд:



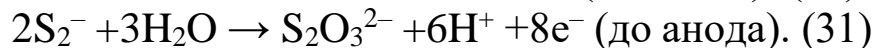
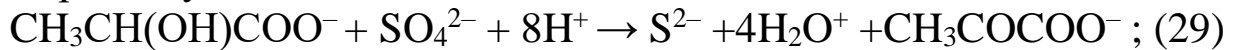
За використання цукрози:



Екзоелектронгени, крім того, здатні споживати оцтову кислоту рівняння (27), яка є кінцевим продуктом багатьох анаеробних метаболічних шляхів:



Сульфатредуючі бактерії, які використовують сульфат, як кінцевий акцептор електронів при диханні в якості субстрату можуть використовувати лактат:



Використання МПЕ, дозволяє отримати найбільший теоретичний вихід водню (12 моль на моль спожитої глюкози). Перевагою є здатність екзоелектрогенів споживати і перетворювати продукти, які для інших мікроорганізмів є кінцевими продуктами метаболізму. Серед недоліків біоелектрохімічних систем для отримання водню є висока вартість матеріалу катода.

Завдання 2. Дослідити інтенсивність виділення водню із целюлозовмісних субстратів (відходів ячменю, кукурудзи, ріпаку, соняшнику) за анаеробних мезофільних умов ферментації.

Процес виділення водню мікроорганізмами з використанням целюлозовмісних субстратів необхідно здійснювати в анаеробних мезофільних умовах за температури 35-40°C у термостаті сухоповітряному ТС-80М у періодичному режимі. Ступінь анаеробності середовища відстежують за зміною забарвлення розчину резазурину марки х.ч. (0,15 г/л), який додавали в кількості 1 мл/л.

Процес одержання біоводню проводять у біореакторах об'ємом 500 мл, заповненим на 70% інокулятом, водою та відповідним

субстратом. Асоціацію анаеробних мікроорганізмів відбирають із компостного ґрунту. Для інактивації метагоненних бактерій суспензію ґрунту (50 г ґрунту та 250 мл водопровідної відстояної води) нагрівають 20 хв на водяній бані (90°C). Одержаний таким чином інокулянт вводять у біореактор у співвідношенні з водою 1:5.

Для повної інактивації метаногенних бактерій запуск реакторів проводили в атмосфері повітря. Фільтрувальний папір (біла стрічка) використовували для контролю як джерело целюлози. Щоб запобігти дефіциту поживних речовин у контрольному досліді до реактора на 350 мл водопровідної відстояної води додають: 1,5 г $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4$; 0,5 г KH_2PO_4 ; 0,5 г K_2HPO_4 ; 0,4 г $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,1 г NaCl ; сліди $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; сліди $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 2,0 г CaCO_3 .

Як субстрат для ферментації використовують відходи ячменю, кукурудзи, ріпаку, соняшнику, які попередньо подрібнюють до розмірів 1x3 мм та прогрівають парою на водяній бані впродовж 60 хв. Морфологію клітин вивчають методами світлової мікроскопії за допомогою мікроскопу XSP-139TP зі збільшенням 1000×. Забарвлення за Грамом проводять згідно із загальноприйнятою методикою. Склад газу, що синтезувався в процесі мікробної деструкції органічних відходів, визначають за допомогою газового хроматографа ЛХМ-8-МД за стандартною методикою.

Із целюлозовмісної сировини найбільш вигідними для одержання водню є відходи сільського господарства – солома, листя та стебла різних рослин, кукурудзяні качани тощо. Хімічний склад сировини залежить від виду рослин, клімату, способів збирання, обмолоту, зберігання тощо. Так, у солomі з різної сировини міститься 20-45% клітковини та інших складних вуглеводів, що важко деструктуються, 26% протеїну, 1,2-2 % жиру, 4-15 % золи.

Стінка клітини має сітчасту структуру з взаємозв'язаних молекул целюлози з довгим ланцюгом, наповнену іншими вуглеводнями (геміцелюлозами), а також лігніном і різними екстрактними речовинами. Міжклітинною речовиною є в основному пектати кальцію та магнію, а в клітинах нагромаджуються жири, сапоніни, флавоноїди, каротини, смоляні речовини тощо. До складу золи входять головним чином солі лужних та лужноземельних металів. Якісний склад відходів наведено в табл. 5.1.

Використовуючи наведену вище методику необхідно дослідити:

1) інтенсивність виділення водню із целюлозовмісних субстратів (відходів ячменю, кукурудзи, ріпаку, соняшнику) за анаеробних

мезофільних умов ферментації, як контроль використати смужку фільтрувального паперу.

Таблиця 5.1.

Склад різних типів целюлозовмісних відходів

| Вид сировини | Вміст компонентів, % | | | | | |
|--------------------------|--|--|--------|-----------------|---------------|-------|
| | Полісахариди, що легко гідролізуються (геміцелюлози) | Полісахариди, що важко гідролізуються (целюлоза) | Лігнін | Зольні речовини | Сирий протеїн | БЕР |
| Листя кукурудзи | 30 | 22–27 | 16–18 | 5,7 | 11,3 | 56 |
| Соняшник (листя, стебло) | 11 | 27-40 | 20–26 | 15,1 | 12,7 | 44–50 |
| Солома ріпаку | 16–28,7 | 23,5–37,7 | 23–28 | 7,2–13,6 | 17,5–27 | 44–56 |
| Солома ячменю | 44 | 37 | 11 | 5–8 | 2,3–7,4 | 14 |

Інтенсивність утворення водню залежить від часу ферментації, що відповідає фазі росту мікроорганізмів-продуцентів та якісного складу субстрату, результати досліджень занести до табл. 5.2.

Таблиця 5.2.

Вихід водню H_2 , %

| Субстрати | Доба | | | | |
|----------------------------|------|----|----|----|----|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| Кукурудза (стебла, листя) | | | | | |
| Соняшник (головки, стебла) | | | | | |
| Солома ріпаку | | | | | |
| Солома ячменю | | | | | |
| Фільтрувальний папір | | | | | |

2) проаналізувати дані табл.5.2 та зробити висновки щодо впливу якісного складу субстратів на інтенсивність утворення водню за анаеробних мезофільних умов ферментації, використавши табл. 5.1.

3) експериментально обґрунтувати доцільність термічної обробки субстрату (на прикладі, найбільш продуктивного субстрату виявленого в попередньому експерименті, табл.5.2) для інтенсифікації виходу біоводню. Відомо, що термічна обробка субстрату забезпечує руйнування структури лігноцелюлози, вона також гальмує метаболізм популяцій метаносинтезуючих мікроорганізмів, які використовують водень для синтезу біогазу.

Результати досліджень щодо впливу термічної обробки субстрату на інтенсивність виходу водню в процесі ферментації

популяціями мікроорганізмів-продуцентів представити у вигляді графіка за аналогією з рис.5.1.

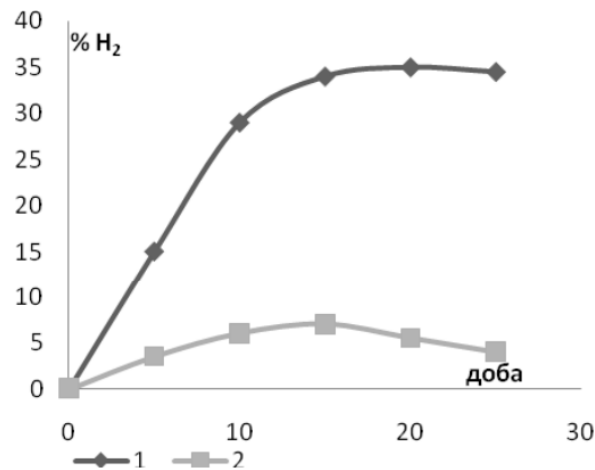


Рис. 5.1. Інтенсивність продукування водню мікроорганізмами залежно від термічної обробки субстрату: 1 – після обробки паром; 2 – без попередньої обробки

4) за даними хроматографічного аналізу поживного середовища в процесі культивування на 5, 10, 15 та 20 добу (табл. 5.2) зробити висновок щодо типу бродіння та його впливу на вихід водню.

Контрольні питання

1. Особливості отримання водню шляхом анаеробної ферментації.
2. Отримання водню за використання зелених водоростей і ціанобактерій.
3. Отримання водню за використання пурпурних бактерій.
4. Отримання водню з використанням біоелектрохімічно-активних мікроорганізмів (мікроорганізмів-екзоелектрогенів).
5. Термохімічний метод отримання біоводню.
6. Біохімічний метод виробництва біоводню.
7. Описати процес виділення водню мікроорганізмами з використанням целюлозовмісних субстратів.
8. Дайте характеристику продуцентів біоводню. Зазначте особливості водень утворюючих бактерій.
9. Зазначте компоненти біосистем водню.
10. Охарактеризуйте питання охорони довкілля за виробництва біоводню та запропонуйте шляхи їх вирішення.

Лабораторна робота №6

Тема: „Біоконверсійні технології виробництва біопалива”

Мета: ознайомитись з видами біопалива та екобіотехнологіями його виробництва.

Програмні питання: ознайомитись з технологічними процесами виробництва біодизельного палива з насіння олійних культур та рідкого біопалива із сільськогосподарських відходів.

Матеріали та обладнання: схеми, технічна документація, нормативні документи.

Хід роботи

Як альтернативні види палива сьогодні розглядають стиснений природний газ (метан), нафтовий газ (пропан + бутан), водень, спирти (метанол, етанол), а також рідке паливо, яке отримують з вугілля або в процесі переробки рослинної сировини. Саме до цієї групи відноситься біопаливо.

Біопаливо – це паливо із біологічної сировини, як правило з відходів сільськогосподарського виробництва. Розрізняють *рідке біопаливо* (для двигунів внутрішнього згорання, наприклад, біоетанол, біодизель) і *тверде біопаливо* (дрова, солома та ін.). Різноманітні органічні матеріали, що виділяють у процесі розпаду тепло, яке використовується для обігріву приміщень, теплиць, парників теж відносять до біологічного палива. Як біопаливо використовують після переробки гній (корів, вівців, свиней), побутові відходи, кору дерев, відходи текстильної промисловості, тирсу.

Середній врожай сухої маси сіна становить приблизно 15 т/га. Передбачаючи, що енергетична цінність 1 кг кам'яного вугілля становить 25 МДж, навіть при низькому врожаї трав, що становить 5 т/га, з одного гектару можна отримати еквівалент 3 т кам'яного вугілля. Натомість зібраний врожай біомаси на рівні 20 т/га дає еквівалент 12 т кам'яного вугілля. Спалювання біомаси для опалювання приміщень, поширене у багатьох країнах є економічно вигідним у відношенні до опалювання мазутом, газом чи струмом.

Паливні гранули (пелети) – це біопаливо, яке виробляється з деревних і сільськогосподарських відходів та застосовується для опалення приміщень. Виробляються у вигляді пресованих гранул стандартного розміру з вмістом золи не більше 3%, мають більшу

теплотворну здатність порівняно з дровами. При спалюванні пелет в атмосферу викидається рівно стільки CO₂, скільки було поглинуто рослиною в період росту. Паливні гранули не здатні до samozапалювання, тому що не містять пилу та спор.

Технологія виробництва паливних гранул.

Спочатку сировина подрібнюється до стану борошна в дробарці. Отримана маса висушується та гранулюється у прес-грануляторі. На виробництво 1 т паливних гранул витрачається 4-5 кубометрів деревних відходів. Готові гранули охолоджують і упаковують в стандартну тару по 12-20 кг.

Біодизельне паливо (БДП) – це екологічно чистий вид біопалива, який одержують із жирів рослинного і тваринного походження та використовують для заміни нафтового дизельного палива. З хімічної точки зору, біодизельне паливо є сумішшю метилових (етилових) естерів насичених і ненасичених жирних кислот.

Переваги БДП:

- є відновлювальним і екологічно чистим джерелом енергії;
- при потраплянні в ґрунт чи воду не завдає шкоди, бо переробляється мікроорганізмами впродовж трьох-чотирьох тижнів;
- має значно кращі мастильні властивості ніж дизельне паливо, тому зменшує зношуваність двигуна і подовжує термін його роботи;
- нескладне виробництво;
- підвищена майже втричі температура спалаху в закритому тиглі забезпечує високу пожежобезпечність;
- високе цетанове число сприяє скороченню періоду затримки спалаху й пом'якшує роботу дизельного двигуна;
- може використовуватись у чистому вигляді, або змішаним;
- біодизель майже не містить сірки (< 0,001%).

Недоліки БДП:

- має температуру замерзання на кілька градусів вищу ніж дизельне паливо. Тому за низьких температур у БДП треба додавати добавки, що знижують температуру замерзання;
- агресивно діє на натуральні гуми та деякі еластомери (полівініл, поліамід);
- має короткий термін придатності – три, чотири місяці;
- потребує додаткового очищення від домішок парафіну;
- втрати енергетичних параметрів при робочому навантаженні двигуна становить 4-5%, а втрати пального зростають на 6-7%;

- у перші місяці користування біодизельним паливом треба періодично контролювати стан паливних фільтрів.

- в продуктах згорання БДП у десятки разів більше канцерогенних речовин, ніж у паливі з поліпшеними екологічними властивостями.

Порівняльна характеристика дизельного і біодизельного палива наведена в табл.6.1.

Таблиця 6.1.

Порівняльна характеристика мінерального і рослинного дизельного палива

| Характеристики | Дизельне паливо | Біодизельне паливо |
|------------------------------------|-----------------|--------------------|
| Густина, г/см ³ | 0,92 | 0,88 |
| Цетанове число | 48-50 | 54-56 |
| Температура запалювання, °С | 60 | 160 |
| Температура блокування фільтру, °С | -12 | 10 |
| Вміст сірки, % | 0,28 | 0,01 |
| В'язкість | 2,5-4 | 3,5-5 |

Біодизельне паливо отримують із рослинних олій шляхом реакції переестерифікації. Основні реагенти: рослинна олія, метанол, каталізатор (KOH). У процесі переестерифікації олії, жири вступають у реакцію з метиловим (етиловим) спиртом в присутності каталізатора (лугу), внаслідок чого утворюються *складні ефіри* і *гліцеринова фаза*: 56% гліцерину; 4% метанолу; 13% жирних кислот; 8% води; 9% неорганічних солей; 10% ефірів.

Матеріальний баланс реакції одержання біодизельного палива.

Для одержання 1000 кг (1136 л) біодизельного палива необхідно:

- 50 кВт теплової енергії;
- 25 кВт електроенергії;
- 1040 кг (1143 л) ріпакової олії;
- 144 кг (132 л) 99,8% метанолу;
- 18 кг гідроксиду калію (88% KOH);
- 6 кг допоміжного фільтруючого матеріалу;
- 105 кг води.

При цьому, крім палива, утворюється близько 200 кг сирого гліцерину та 117 кг води після очищення біодизельного палива.

Сирий гліцерин, в подальшому, застосовується для виробництва гліцерину дистильованого, монофосфат калію – для виробництва рідких комплексних мінеральних добрив.

Вимоги до насіння ріпаку і ріпакової олії, дотримання яких дозволить одержати біодизельне паливо, що відповідає стандарту, такі:

Очищене насіння ріпаку – олійність 40-44%; вологість близько 6-7%; вміст вільних жирних кислот < 3% (6 мг КОН/г); температура насіння 20-30⁰С; забруднення близько 0,5%.

Холоднопресована, фільтрована ріпакова олія – йодне число 110-115; вологість максимум 0,05%; вміст вільних жирних кислот максимум 0,65% (1,3 мг КОН/г); пероксидне число 1-2 (максимум 3); забруднення немає; число омилення 187-191; фосфатиди максимум 20 мг/кг; температура 20⁰С.

Технологічний процес виробництва біодизельного палива з насіння відбувається у декілька етапів (рис.6.1): насіння з шнекового конвеєру проходить крізь відділювач грубих домішок і крізь магнітний пристрій для відділення металевих домішок у насипні лійки пресів.

Отримана пресуванням рослинна олія накопичується у збірній ємності. Очищення від фосфатидів та інших гідратованих речовин відбувається в гідраторі. Олія спочатку проходить обробку фосфорною кислотою, а після цього гарячою водою. При обробці видаляються всі важкі метали та інші шкідливі домішки.

Після обробки олія надходить у 1-й етерифікатор, де підігрівається до необхідної температури. Одночасно готується суміш метанолу з лугом і дозується у 1-й етерифікатор. При досягненні необхідної температури відбувається змішування каталізатору з олією. Після обробки, первинний дизель залишають на 90 хвилин для відстоювання і зливають утворену гліцеринову фазу. Вторинний біодизель завантажують у 2-й етерифікатор. Після 90 хвилин відстоювання знову зливають гліцеринову фазу та визначають ступінь етерифікації біодизелю.

Якщо вміст гліцеридів в нормі, виконують промивання біодизелю. Готовий біодизель фільтрується і надходить у ємність для готової продукції.

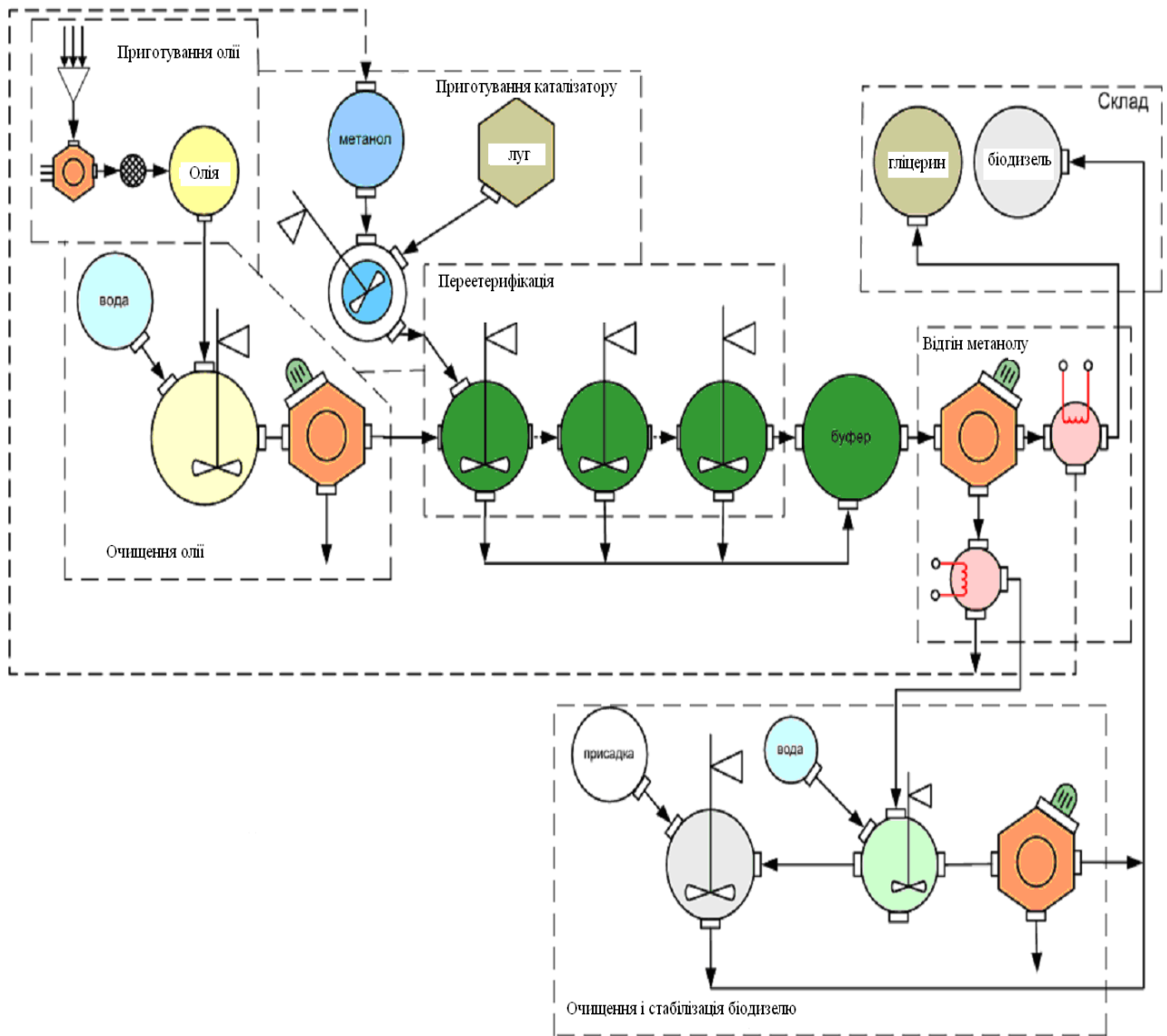


Рис.6.1. Блок-схема виробництва біодизельного палива з насіння ріпаку

Технологічний процес виробництва біодизельного палива з олії відбувається наступним чином: рослинна олія з ємності 1 (рис.6.2) крізь поточний нагрівач ПН та фільтр Ф1 насосом Н1 подається у гідродинамічний змішувач Зм.

Витрата олії контролюється витратоміром R1. У вакуумну порожнину гідродинамічного змішувача, крізь фільтр Ф2, витратомір R2 та вентиль регулювання ВР, з ємності 3 поступає, попередньо приготовлений, розчин каталізатору в спирті (КОН у метанолі).

Завдяки інтенсивним гідродинамічним процесам в гідродинамічному змішувачі та механічному змішувачі відбувається розривання молекул жирних кислот, що значно підвищує швидкість

протікання реакції та покращує якість енергетичних характеристик майбутнього палива.

Після механічного змішування суміш подається у колонки-відстійники 4, де відбувається її розділення на біодизельне паливо і водно-гліцеринову суміш. Готове паливо насосом НЗ через фільтр - відокремлювач поступає на накопичення.

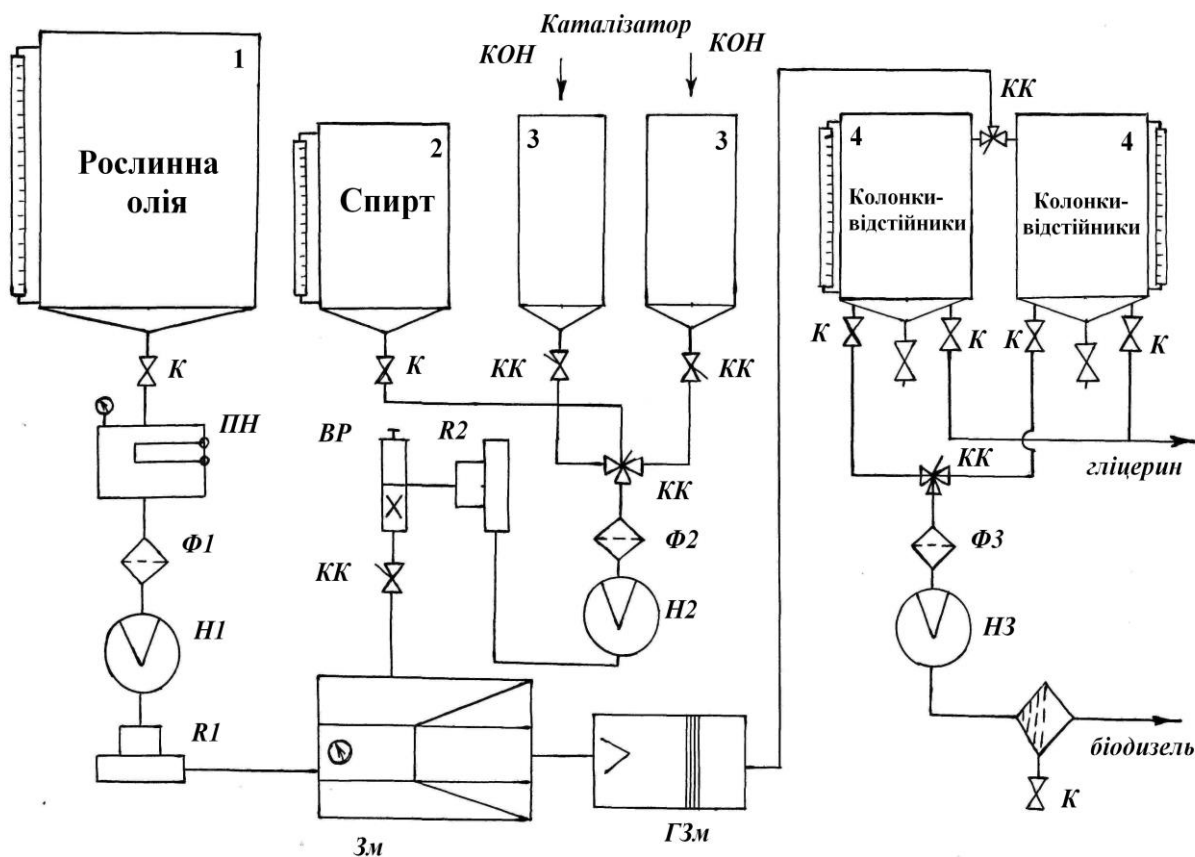


Рис.6.2. Схема виробництва біодизельного палива з олії в потоці: 1- ємність для рослинної олії; 2- ємність для спирту; 3- ємність для каталізатору; 4- колонки-відстійники; ПН – поточний нагрівач; Ф – фільтр; Н – насос; Зм – гідродинамічний змішувач; R – витратомір; ВР – вентиль регулювання; ГЗм – гідромеханічний змішувач, КК – клапан керування, К – клапан.

В результаті проведення реакції переестерифікації в 2-х ступеневому змішувачі (гідродинамічному і механічному) відбувається повна витрата метанолу, яка не перевищує 12-13%. Реакція в гідродинамічному змішувачі відбувається нормально при температурі 40-50°C. Технічна характеристика установки

безперервного процесу виробництва біодизельного палива наведена в табл.6.2.

Біопаливо в Європі виготовляють за схожою технологією, але майже на всіх етапах технологічного процесу продукт очищують (і отриману олію, і етерифікат). В процесі виробництва із сировини отримують олію, очищують її від сторонніх домішок, напівфабрикат нагрівають, охолоджують та дистиллюють. Залишки їдкого калію та отруйного метанолу промивають водою.

Таблиця 6.2.

Технічна характеристика установки безперервного процесу виробництва біодизельного палива

| № | Найменування параметру | Значення |
|----|--|-----------|
| 1 | Продуктивність за вихідною сировиною (олією, жиром), дм ³ /хв | 8...14 |
| 2 | Витрата суміші метанолу з каталізатором, дм ³ /хв | 0,1...0,3 |
| 3 | Об'єм бака для олій, дм ³ | 50 |
| 4 | Об'єм бака для метанолу, дм ³ | 12 |
| 5 | Об'єм бака для отриманого продукту, дм ³ | 30 |
| 6 | Температура нагріву і температура підтримання олії і метанолу, °С | 40...70 |
| 7 | Потужність нагрівачів, кВт | 1,5 |
| 8 | Потужність електродвигунів, насосів, кВт | 2,8 |
| 9 | Повна потужність, кВт, не більше | 4,5 |
| 10 | Габаритні розміри, мм не більше | |
| | - довжина | 865 |
| | - ширина | 755 |
| | - висота | 1250 |
| 11 | Маса установки, кг, не більше | 250 |

Технологія виробництва рідкого біопалива із сільськогосподарських відходів. Сировиною для цього процесу є – шматки деревини, солома, гній (рис. 6.3). Після накопичення і тимчасового сушіння, сировина поступає у реактор, де нагрівається до 400-500⁰С з додаванням каталізатору. Газ, що виділився в результаті нагрівання, проходить ряд перетворень у присутності каталізатору. Отримане, на виході з реактору, біопаливо не містить сірки та СО₂ нейтральне по відношенню до оточуючого середовища.

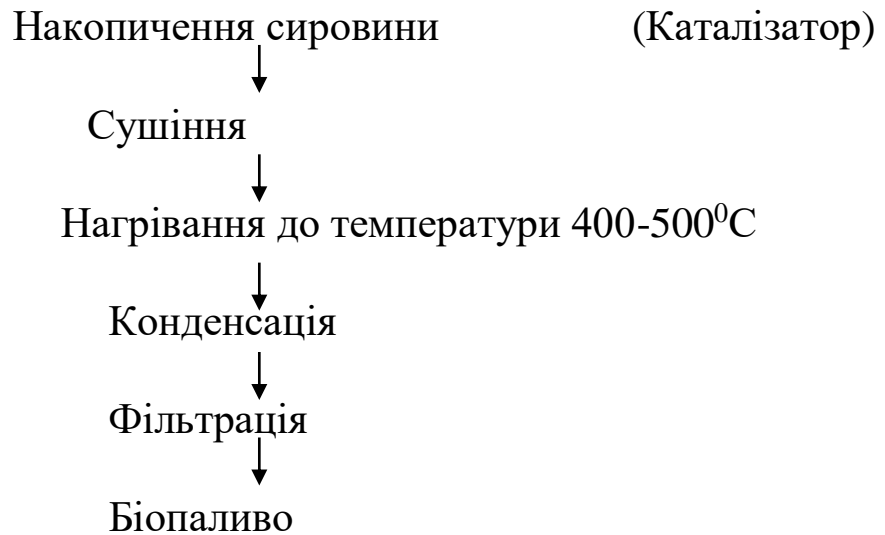


Рис.6.3. Схема переробки сільськогосподарських відходів на біопаливо

Синтетичне біопаливо (СБП) – суміш синтетичних вуглеводнів отриманих з біомаси.

Сучасні технології переробки вуглеводів дозволяють виробляти синтетичне дизельне пальне та синтетичний бензин. Як сировина використовуються відходи деревообробної промисловості, сільського господарства, побутові відходи, сміття. Особливість цих технологічних процесів – отримання з одного виду сировини різних видів палива.

Переваги СБП:

- можливість отримання необхідних характеристик палива;
- відсутність сірки;
- викиди шкідливих речовин нижчі, ніж при застосуванні «нафтового» пального;
- необмежені запаси сировини.

Недоліки СБП:

- високі витрати енергії на виробництво пального;
- необхідні значні капіталовкладення для створення підприємств з випуску синтетичного палива та створення системи накопичення, поставки і підготовки сировини.

Перше в світі синтетичне біопаливо, у 2003 році, розробила компанія *DaimlerChrysler*. Нове паливо, під назвою *Biotroll*, виробляється з деревних відходів.

Контрольні питання

1. Що називається біопаливом?
2. Назвіть види біопалива.
3. Що таке паливні гранули?
4. Опишіть технологію виробництва паливних гранул.
5. Що таке біодизельне паливо?
6. Які переваги біодизельного палива?
7. Назвіть недоліки біодизельного палива.
8. Наведіть характеристики мінерального і рослинного дизельного палива.
9. Наведіть матеріальний баланс реакції одержання біодизельного палива.
10. Які вимоги до насіння рапсу і рапсової олії при виробництві біопалива?
11. Опишіть технологічний процес виробництва біодизельного палива з насіння та з олії.
12. Наведіть якісні показники біодизельного палива.
13. Опишіть технологію виробництва рідкого біопалива із сільськогосподарських відходів.
14. Які переваги та недоліки синтетичного палива?

Біодеструкція природних полімерів. Основні природні полімери. Розкладання целюлози. Біодеструкція лігніну. Біодеструкція ксенобіотиків лігнолітичними мікроорганізмами. Біодеградація синтетичних полімерних матеріалів. Проблема створення біопластиків. Переваги біотрансформації перед хімічною трансформацією. Фактори навколишнього середовища і біодоступність ксенобіотиків. Особливості динаміки росту мікроорганізмів-біодеструкторів і біологічного розкладання ксенобіотиків. Особливості мікробіологічної трансформації окремих класів органічних ксенобіотиків.

Біотехнологічні альтернативи у сільському господарстві. Біологічні засоби захисту рослин. Біопестициди: бактеріальні, грибові та вірусні препарати. Біогербіциди. Застосування біотехнологій для підвищення продуктивності в сільському господарстві. Біологічні добрива. Технології отримання азотних та фосфатних біодобрив. Азотобактерин, фосфобактерин, кремнебактерин, нітрагін, ризотрофін. Генна інженерія культур рослинних клітин та тканин. Генетично модифіковані організми (ГМО) та їх інтродукція в природні ценози, аналіз та методи контролю поведінки і екосистемі.

Застосування біотехнологій для утилізації твердих відходів. Мікробіологічна переробка органічних відходів. Збагачення мікробним кормовим білком. Технологічні особливості мікробіологічної конверсії в кормовий білок. Виділення та концентрування біомаси та білкових речовин. Особливості переробки деяких органічних відходів у кормові продукти. Техніко-хімічний контроль та забезпечення якості продукції. Силосування. Компостування. Аеробна стабілізація. Анаеробне зброджування та метаногенерація. Біоконверсія в теплову енергію та паливо. Застосування біотехнологій для переробки промислових відходів. Принципи організації маловідходного виробництва.

Застосування біотехнологій при видобутку корисних копалин. Бактеріальне вилуговування мінеральної сировини. Мікроорганізми і хімія бактеріального окислення сульфідних мінералів і концентратів руд, використання розчинників. Біосорбція

металів. Використання біотехнологій для збагачення руд. Видалення сполук сірки із вугілля за допомогою тіонових бактерій. Зниження концентрацій метану у вугільних пластах за допомогою метаноокислюючих бактерій. Збільшення віддачі пластів нафти за допомогою бактерій.

Тема 2. Біотехнологічні методи захисту довкілля. Біодеградація ксенобіотиків. Біоутилізація твердих відходів. Система біоочищення стічних вод. Аеробні системи очищення стічних вод. Анаеробні системи очищення стічних вод. Екостокки безпечного виробництва продукції. Біоочищення ґрунтів. Біоочищення повітря. Альтернативні продукти екобіотехнології.

Тема 3. Біологізація та екологізація суспільства. Екологізація і біологізація господарської та виробничої діяльності. Біоетика застосування біотехнологій. Морально-етичні проблеми генетики. Проблема клонування. Проблеми використання стовбурових клітин.

Тема 4. Біобезпека застосування біотехнологій. Біобезпека лабораторних біодосліджень. Система безпеки харчових продуктів. Генетично модифіковані продукти. Біозахист здоров'я людини. Біотероризм. Нанотехнології.

Тема 5. Перспективи біовилуговування металів. Загальні принципи біогеотехнології. Методи біовилуговування металів з мінералів. Методи біовилучення металів з розчинів.

Тема 6. Біотехнології очищення довкілля після радіоактивного забруднення. Фіторе mediaція. Біоре mediaція ґрунтів. Виділення мікроорганізмів з ґрунту. Вплив антропогенних факторів на мікрофлору ґрунту.

Тема 7. Альтернативність біоенерготехнології. Розвиток нетрадиційних і відновних джерел енергії. Біоенергетика і біоконверсія енергії. Енергія живої природи. Біоконверсія відходів. Вермикультивування. Використання сонячної енергії.

Тема 8. Біоконверсія продуктів фотосинтезу. Біомаса – відновне джерело енергії. Альтернативність моторного біопалива. Біостанол. Біодизель. Паливний біогаз. Біосинтез і фотосинтез енергоречовин. Біоводень. Проблеми безпеки біопалива.

Техніка біовилуговування сульфідних мінералів. Чанове біовилуговування сульфідних мінералів. Біозбагачення руд. Біовилучення вугілля та нафти.

Спиртове бродіння та його використання в екобіотехнологіях

6 8 4 Біологічне видалення азоту з осаду стічних вод 6 8 5 Роль води в процесах життєдіяльності мікроорганізмів 6 8 6 Біоіндустрія ферментів. Технологія одержання ферментних препаратів. Інженерна ензимологія. 6 8 7 Механізми одержання продуктів клітинного метаболізму. 6 8 8 Основи генної інженерії. Біотехнологія рекомбінативних ДНК та їх конструювання. 6 8 9 Клонування та експресія чужорідних генів у різних організмах. 6 8 12 10 Використання методу культури клітин і тканин в утворенні сучасних технологій. Кріозбереження

Змістовий модуль 2.1 Біотехнологія очищення води, ґрунту та повітря

Тема 3. Біотехнологія очищення стічних вод. 1. Методи очищення стічних вод. 2. Осади міських стічних вод та їх використання. 3. Біотехнологічний процес очищення води. 4. Роль аквакультури в очищенні стічних вод.

Тема 4. Аеробні та анаеробні процеси очищення стічних вод 1. Аеробні та анаеробні процеси очищення стічних вод, їх характеристика. 2. Екстенсивні та інтенсивні системи очищення стічних вод 3. Переваги та недоліки біохімічних методів очищення стічних вод. 4. Реактори, що використовуються для аеробного очищення стічних вод. Схема роботи гомогенних реакторів.

Тема 5. Біоочистка газоповітряних скидів 1. Основні види газоповітряних забруднюючих викидів. 2. Біологічні методи очищення повітря. 3. Принцип функціонування біоскуберів.

Тема 6. Біоремедіація ґрунтів. 1. Нафтове забруднення ґрунтів. 2. Методи оцінки нафтового забруднення ґрунтів. 3. Методи відновлення забруднених ґрунтів.

Змістовий модуль 2.2 Утилізація промислових і побутових відходів.

Тема 7. Знешкодження відходів біотехнологічного виробництва. 1. Біодеградація і конверсія побутових і промислових відходів. 2. Мікробіологічна утилізація полімерних побутових відходів. 3. Утилізація рослинної біомаси.

Модуль 3 Екологічна біотехнологія. Змістовий модуль 3.1 Біотехнологія перетворення сонячної енергії. Тема 8. Біотехнологія перетворення сонячної енергії. 1. Виробництво енергії із біомаси за допомогою мікроорганізмів: біоенергія. 2. Резерви сонячної енергії, сонячні перетворювачі, використання сонячної енергії. 3. Ресурси біотехнології перетворення сонячної енергії. Біомаса та енергія. 4. Виробництво біогазу, етилового спирту, вуглеводів. Біоенергія: фото - виробництво водню.