

Міністерство освіти і науки України
Запорізькій національний університет
Інженерний інститут

О. О. Троїцька
Н. В. Беренда
К.В. Белоконь
Є.А. Манідіна

ОСНОВИ БІОТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-методичний посібник

для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра денної і заочної форм навчання
спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
освітньо-професійної програми
«Технології захисту навколишнього середовища»

Затверджено
вченою радою ЗНУ
Протокол № ____ від _____

Запоріжжя ЗНУ
2020

УДК 60(075)
О-751

Троїцька О. О., Беренда Н. В., Белоконь К. В., Манідіна Є. А. Основи біотехнологій : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра денної і заочної форм навчання спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» за освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища». Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 160 с.

У навчально-методичному посібнику «Основи біотехнологій» для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра денної і заочної форм навчання спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» за освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища» викладено навчально-методичні матеріали щодо опанування лекційного і практичного курсу з дисципліни «Основи біотехнологій». Наведено теми для самостійного опрацювання і тести для самоконтролю. Навчально-методичний посібник призначений для використання у освітньому процесі.

Рецензенти:

Є. О. Тулушев – завідувач відділенням оцінки впливу на здоров'я людини факторів середовища життєдіяльності ДУ «Запорізький ОЛЦ МОЗ України»

О. Г. Добровольська – кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства

Відповідальний за випуск:

Г. Б. Кожемякін – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри прикладної екології та охорони праці

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
ЗМІСТ ЛЕКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ	5
1 БАЗОВІ ПОНЯТТЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ	5
1.1 Біотехнологія як наука	5
1.2 Історичний огляд становлення біотехнології. Переваги та перспективи розвитку біотехнології.....	10
1.3 Характеристика напрямків біотехнології. Сфера застосування біотехнології в різних галузях національної економіки.....	18
2 ОСНОВИ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ ТА ГЕННОЇ І КЛІТИННОЇ ІНЖЕНЕРІЇ.....	27
2.1 Основні стадії та екологічні аспекти біотехнологічних виробництв	27
2.2 Основи генної інженерії.....	34
2.3 Основи клітинної інженерії	40
3 БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ.....	48
3.1 Біотехнологія виробництва біогазу.....	48
3.2 Біотехнологія виробництва біоетанолу та біодизельного палива.....	64
3.3 Біогеотехнологія. Біотехнологічне вилугування металів	74
4 БІОТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	84
4.1 Біотехнології очищення забруднених вод.....	84
4.2 Біотехнології очищення ґрунтів	93
4.3 Біотехнології очищення газоповітряних викидів та утилізації твердих відходів	100
5 ЗМІСТ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ	116
5.1 Стадії біотехнологічних виробництв. Обґрунтування вибору технологічної схеми біовиробництв	116
5.2 Блок-схеми біотехнологічних виробництв. Екологічні аспекти біотехнологічного виробництва	123
5.3 Біотехнологічне виробництво біогазу	128
5.4 Біотехнологія анаеробного зброджування стічних вод	137
5.5 Біотехнологічний метод очищення ґрунтів від забруднень нафтопродуктами.....	142
5.6 Біотехнологія польового сумісного компостування відходів	147
6 САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТА.....	152
6.1 Теми для самостійного опрацювання	152
6.2 Тести для самоконтролю.....	152
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	155
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	157

ВСТУП

Біотехнологія поєднує знання про живі істоти, особливості їхнього функціонування в певних умовах і технічні знання, необхідні для створення технологічних регламентів у виробництвах, побудованих із використанням живих організмів. Вивчення основ біотехнології у вищій школі, при підготовці майбутніх спеціалістів з технологій захисту навколишнього середовища, сприятиме формуванню мислення професійного фахівця, здатного грамотно та науково-обґрунтовано захищати довкілля в умовах техногенного тиску на природне середовище.

Метою викладання навчальної дисципліни «Основи біотехнологій» є ознайомлення майбутніх фахівців, з технологій захисту навколишнього середовища, з основними розділами біотехнології та стадіями біотехнологічних процесів; з сучасними досягненнями біотехнології, галузями її застосування, проблемами та перспективами; з традиційними та новітніми біотехнологічними напрямками, тобто основними проблемами, методами та досягненнями сучасної біотехнологічної науки.

Основними **завданнями** вивчення навчальної дисципліни є формування знань щодо використання живих організмів і біологічних процесів в різних технологічних процесах біотехнологічних виробництв; опанування навичок самостійного вирішування певних практичних питань з використання біотехнологічних процесів для вирішення проблем захисту навколишнього середовища.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- особливості біотехнологічної науки, особливості та сутність етапів становлення біотехнології;
- особливості сучасного стану біотехнології та перспективних сфер використання її досягнень;
- основні проблеми розвитку біотехнології у світі та Україні;
- сутність схем, стадій, процесів біотехнологічних виробництв;
- основні методи генетичної інженерії, основні напрями використання досягнень генетичної інженерії у різних сферах;
- методи та умови культивування культури клітин і тканин, типи культур клітин та тканин;
- біотехнології виробництва біогазу, біоетанолу та біодизельного палива;
- екологічні переваги використання методів бактеріального добування металів;
- основні показники процесу біохімічного очищення стічних вод, методи біохімічного очищення стічних вод;
- біотехнологічну трансформацію промислових відходів;
- біотрансформацію ксенобіотиків та речовин, що забруднюють навколишнє середовище;

– поняття екологічна біотехнологія, основні напрями використання біотехнологічних процесів для вирішення проблем екологічного характеру.

вміти:

- застосовувати відповідну термінологію;
- орієнтуватися в сучасній науковій літературі з питань екобіотехнології;
- застосовувати правила і норми контролю біотехнологічних виробництв;
- здійснювати добір методів забезпечення біобезпеки навколишнього середовища під час та по закінченню технологічних процесів;
- володіти основними принципами здійснення біотехнологічних процесів з урахуванням вимог екологічної безпеки;
- обирати оптимальні умови впровадження біотехнологій та керувати ними згідно сучасних методів контролю технологічних операцій;
- запобігати забрудненню атмосферного повітря, води та ґрунту;
- забезпечувати повну утилізацію відходів біотехнологічного виробництва.

Міждисциплінарні зв'язки.

За освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища» навчальна дисципліна пов'язана з такими курсами як «Основи екології та сталий розвиток», «Екологічна безпека», «Моніторинг довкілля», «Гігієнічне нормування умов праці та стану довкілля», «Техноекологія регіону», «Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище» тощо.

ЗМІСТ ЛЕКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

1 БАЗОВІ ПОНЯТТЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ

1.1 Біотехнологія як наука

Біотехнологія є одним з пріоритетних напрямів сучасної науки, що забезпечують прискорення науково - технічного прогресу, а також дійовим засобом подолання сировинних, продовольчих, енергетичних, екологічних, економічних та соціальних проблем. Її використовують при розв'язанні багатьох практичних питань, пов'язаних з підвищенням ефективності охорони здоров'я людей, тварин та рослин, збільшенням продовольчих ресурсів, забезпеченням промисловості сировиною, використанням рентабельних поновлюваних джерел енергії і організації безвідходного виробництва, зменшенням шкідливих антропогенних впливів на довкілля та в інших галузях діяльності людини.

Термін «біотехнологія» вперше використав угорський вчений Карл Ереки у 1917 році для позначення процесів, в яких продукцію отримують за допомогою живих організмів. *Біотехнологія* (від грецького *bios* — життя, *techne* — мистецтво, майстерність і *logos* — слово, навчання) — це науковий напрям, який вивчає застосування біологічних об'єктів (мікроорганізмів, культур клітин і тканин рослинного та тваринного походження, ферментних препаратів і інших біологічно активних речовин) та хіміко-біологічних процесів з метою отримання різноманітної продукції для вирішення народногосподарських та інших проблем людства. До хіміко-біологічних процесів належать ті з них, в яких використовують біологічні об'єкти різної природи (мікробної, рослинної, тваринної), наприклад, при виробництві продукції різного призначення — антибіотиків, вакцин, ферментів, кормового і харчового білку, гормонів, амінокислот, біогазу, органічних добрив тощо.

Існує багато визначень поняття «біотехнологія»:

1. Біотехнологія – це індустріальна технологія, комплекс промислових процесів на основі використання біологічних систем.

2. Біотехнологія – це поєднання класичної біохімії і традиційної фармацевтичної технології, що використовує сучасні досягнення генної інженерії (інколи біотехнологію вважають еквівалентом поняття «генна інженерія»).

3. Напевно, найбільш повним і правильним буде таке визначення біотехнології: біотехнологія – це застосування наукових та інженерних принципів для переробки речовин органічної та неорганічної природи біологічними агентами з метою отримання різних цінних продуктів та послуг.

Зв'язок біотехнології з іншими науками.

Відповідно до визначення Європейської федерації біотехнологів (ЄСБ, 1984) біотехнологія базується на інтегральному використанні біохімії,

мікробіології, молекулярної біології, клітинної та генетичної інженерії з метою промислової реалізації властивостей мікроорганізмів, культур клітин і тканин. Уже в самому визначенні предмета відображено його місце розташування як природного, завдяки чому результати фундаментальних досліджень у сфері біологічних, хімічних і технічних дисциплін набувають прикладного значення.

Біотехнологія – міждисциплінарна галузь, що виникла на стику біологічних, хімічних і технічних наук. На рис. 1.1 наведена схема, що віддзеркалює зв'язок біотехнології з іншими науками.

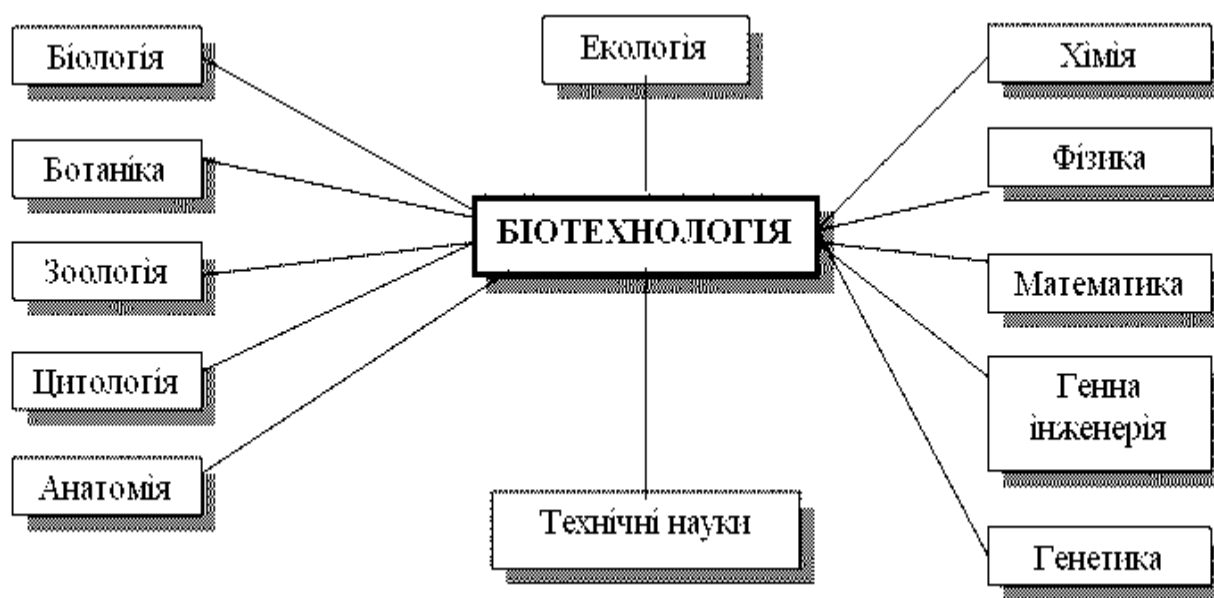


Рисунок 1.1 – Зв'язок біотехнології з іншими науками

Не дивлячись на давність застосування цієї науки, лише у 70-х роках минулого сторіччя біотехнологія, як самостійна наука, сформувалась на базі молекулярної біології, клітинної та генетичної інженерії, широкого використання методів мікробіології, біохімії, біоорганічної хімії, кулінарії та інших наук. Розвиток біотехнології пов'язаний із прогресом науки та прикладним використанням напрямів біотехнології.

Біотехнологія, як наука, є більш зрілим етапом у розвитку біології, яка нині і в майбутньому займатиметься створенням цілого з елементів, вивчених раніше (Глеба Ю., 2002).

За стислий період свого розвитку (25–30 років) сучасна біотехнологія не тільки домоглася істотних успіхів, але і продемонструвала необмежені можливості використання організмів і біологічних процесів у різноманітних галузях виробництва і народного господарства.

Біотехнологія як наука поділяється на дві частини:

– загальну, яка вивчає основи клітинної та генної інженерії, як метод конструювання, спрямований на одержання нової генетичної інформації за допомогою гібридизації і реконструкції клітин, створення гібридних (рекомбінантних) ДНК, а також практичні напрями використання біологічних об'єктів для отримання біологічно активних речовин.

– спеціальну, яка вивчає специфіку використання біотехнологічних об'єктів, процесів та продуктів та їх застосування, як в наукових цілях так і в промисловому виробництві.

Біотехнологія нерозривно пов'язана з молекулярною і клітинною біологією, молекулярною генетикою, біохімією і біоорганічною хімією. В.І.Кефелі у 1989 р. запропонував наступну схему взаємозв'язків біотехнології з іншими науковими напрямками, які вивчають застосування біологічних об'єктів (рис. 1.2).

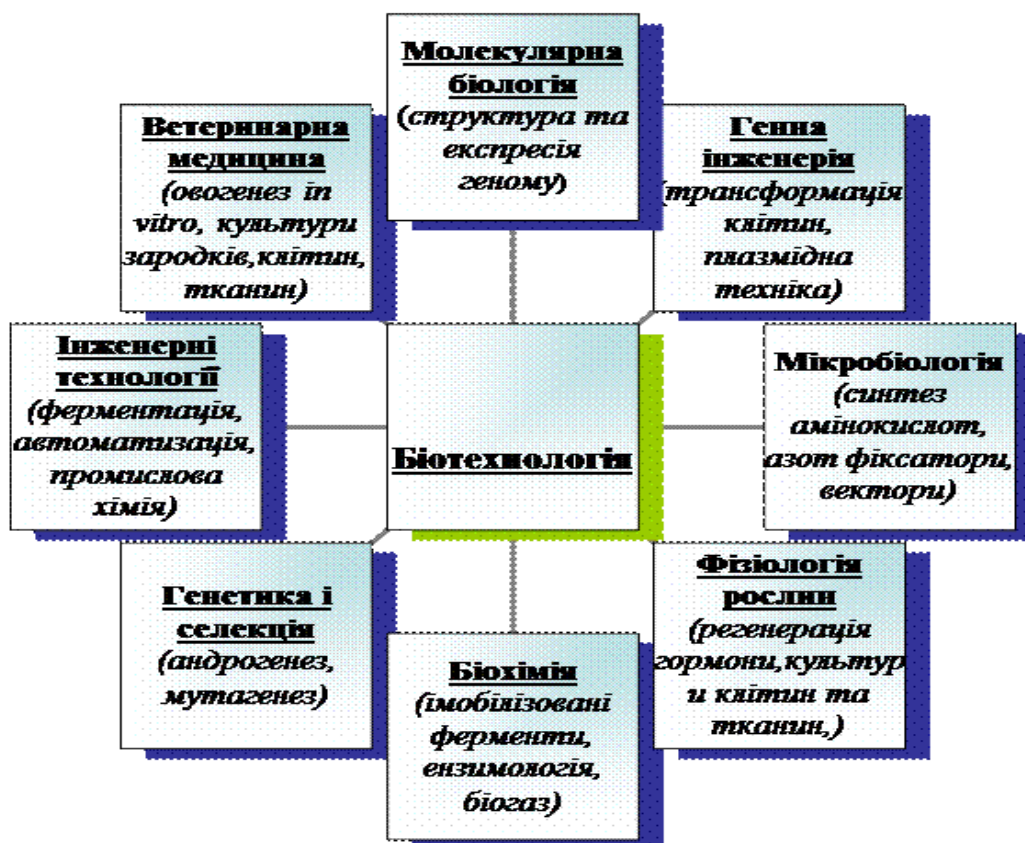


Рисунок 1.2 – Зв'язок біотехнології з іншими науковими напрямками (за В. І. Кефелі, 1989)

Біотехнологія як наука поділяється на напрямки:

- генетична інженерія;
- клітинна інженерія;
- інженерна ензимологія (отримання та застосування ферментних препаратів);
- імунобіотехнологія;
- біоелектроніка;
- біоелектрохімія;
- біоніка;
- нанобіотехнологія.

Основні напрямки прикладної біотехнології представлені на рис. 1.3.

Предмет біотехнології це технологічні процеси, що здійснюються завдяки використанню живих організмів та інших біологічних агентів.

Основні напрямки біотехнології

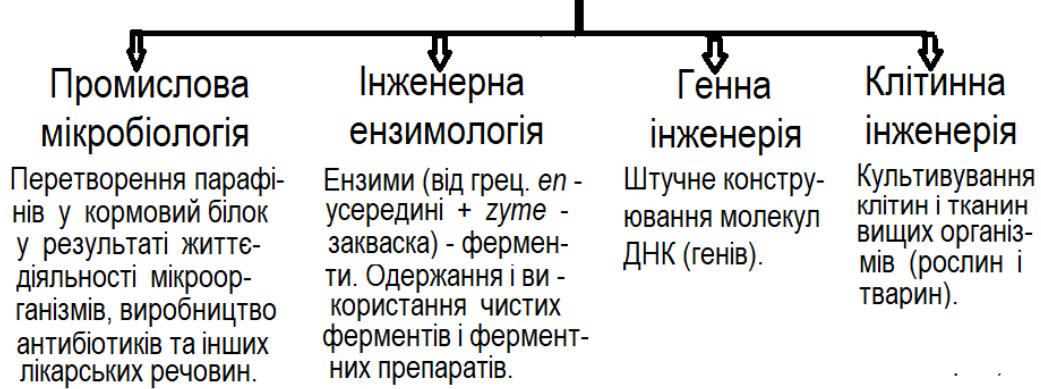


Рисунок 1.3 – Основні напрямки прикладної біотехнології

Об'єкти біотехнології дуже різноманітні й діапазон їх розповсюджується від організованих частин (вірусів) до людини.

Біооб'єкти характеризуються такими показниками, як рівень структурної організації, здатність до розмноження, наявність, або відсутність власного метаболізму при культивуванні у належних умовах. Що стосується характеру біотехнологічних об'єктів, то під цим слід розуміти їх структурну організацію. Вони можуть бути молекулами (ферменти, імуномодулятори, нуклеозиди, пептиди, тощо), організованими частинками (віруси, фаги), одноклітинними (бактерії, дріжджі, найпростіші), і багатоклітинними особинами (вищі гриби, рослині тканини, одношарові культури клітин ссавців), цілими організмами тварин і рослин. Але навіть при використанні біомолекули як об'єкта біотехнології її початковий біосинтез здійснюється у більшості випадків відповідними клітинами.

Нині більшість об'єктів біотехнології становлять мікроби, світ яких дуже великий і різноманітний. На рис. 1.4 наведена класифікація об'єктів біотехнології.



Рисунок 1.4 – Класифікація об'єктів біотехнології

Таким чином, незалежно від систематичного положення об'єкта на практиці використовують, або природні організовані частки (фаги, віруси) і клітини з природною генетичною інформацією, або клітини з штучно заданою генетичною інформацією, тобто у будь-якому випадку використовують біологічні об'єкти — чи то мікроорганізм, рослина, тварина, людина.

Мета і завдання біотехнології.

Першочерговими завданнями біотехнології є створення:

- нових біологічно активних речовин і лікарських препаратів для медицини (інтерферонів, інсуліну, антитіл, вакцин, тощо) для профілактики, діагностики і терапії людей і тварин;
- засобів захисту рослин від хвороб і шкідників, бактеріальних добрив і регуляторів росту рослин та власне нових і кращих гібридів рослин;
- цінних кормових добавок та біологічно активних речовин (кормового білка, амінокислот, ферментів, вітамінів, концентратів тощо);
- безвідходних і екологічно безпечних технологій утилізації і біоконверсії відходів для одержання енергоносіїв (біогаз), високоякісного органічного добрива та кормових добавок;
- удосконалення та оптимізація обладнання для біотехнологічного процесу;
- підвищених показників біопроектів.

На шляху поставлених завдань біотехнологію чекають значні труднощі, пов'язані з складною організацією живого, оскільки любий об'єкт є динамічно-статичною системою, зміни в якій можуть призвести до незадовільних результатів.

Основою сучасного біотехнологічного виробництва є мікробіологічний синтез, тобто синтез різноманітних речовин за допомогою мікроорганізмів. Об'єкти рослинного і тваринного походження ще не знайшли широкого розповсюдження через їх високу вимогливість до умов культивування, що значно збільшує витрати. Слід врахувати, що різні об'єкти вимагають різних методів і умов культивування, невиконання яких призводить до невдач, або до значних збитків.

Основні напрямки досліджень:

- розроблення наукових основ створення нових біотехнологій за допомогою методів молекулярної біології, генетичної та клітинної інженерії;
- одержання й використання біомаси мікроорганізмів і продуктів мікробіологічного синтезу;
- вивчення фізико-хімічних та біохімічних основ біотехнологічних процесів;
- використання вірусів для створення нових біотехнологій.

Методи біотехнології.

Біотехнології притаманні свої специфічні методи. Це крупномасштабне культивування і вирощування клітинних культур рослин і тварин в особливих умовах. Біотехнологічні методи культивування об'єктів виконуються у спеціальному обладнанні, наприклад, у ферментах вирощують гриби і бактерії

при одержанні антибіотиків.

Інші методи у біотехнології є спільними, наприклад, з методами мікробіології, біохімії й інших науках.

Відмінністю методів біотехнології є те, що вони повинні виконуватись в асептичних умовах, тобто недопущення контамінації об'єктів сторонніми мікроорганізмами, особливо патогенними.

Патогенні види об'єктів становлять небезпеку для навколишнього середовища та працівників, тому при використанні таких потрібно суворо дотримуватись правил з техніки безпеки.

? Питання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте біотехнологію як науковий напрям.
2. Надайте визначень поняття “біотехнологія”.
3. Який зв'язок біотехнології з іншими науками?
4. На які дві частини поділяється біотехнологія як наука?
5. Які об'єкти біотехнології?
6. Який предмет біотехнології?
7. Які першочергові завдання біотехнології?
8. Які основні напрямки досліджень біотехнології?
9. Які специфічні методи притаманні біотехнології?

1.2 Історичний огляд становлення біотехнології. Переваги та перспективи розвитку біотехнології

Людство здавна опанувало на практиці різні процеси біотехнології. В стародавніх книгах (Біблія, Коран, Тора) згадувалося виробництво вина, хліба, квашеної капусти, медовухи, силосу тощо. Стародавні народи інтуїтивно використовували прийоми та способи виготовлення продуктів, які ми сьогодні відносимо до біотехнології, але лише завдяки роботам Л. Пастера в середині 19 ст., що доказали зв'язок процесів бродіння з діяльністю мікроорганізмів, традиційна біотехнологія одержала наукову основу.

Отже, значний поштовх у розвитку біотехнології пов'язаний з видатними дослідженнями великого французького вченого Луї Пастера (1822-1895) — основоположника наукової мікробіології. Він розкрив мікробну природу бродіння, довів можливість життя у безкисневих умовах, експериментально спростував уявлення про самовільне зародження живих істот, створив наукові основи вакцинопрофілактики і вакцинотерапії, запропонував метод стерилізації, названий його ім'ям, — пастеризацією тощо.

Починаючи з другої третини ХХ століття розпочалось впровадження великомасштабного герметичного обладнання, яке забезпечує проведення процесів у стерильних умовах. Особливо потужний поштовх у розвитку промислового біотехнологічного обладнання був відмічений у період

становлення і розвитку виробництва антибіотиків (період Другої світової війни 1939-1945 рр., коли виникла гостра необхідність у протимікробних препаратах для лікування хворих з інфікованими ранами). У цей час були вирішені основні завдання з конструювання, створення і впровадження у практику біореакторів, які використовуються й нині.

Зі створенням у 1972 році групою П. Берга в США першої гібридної молекули ДНК *in vitro* формально пов'язане народження генетичної інженерії, що відкрила шлях до свідомої зміни генетичної структури організмів таким чином, щоб ці організми могли робити необхідні людині продукти і здійснювати необхідні процеси. Ці два напрямки визначили образ нової біотехнології, що має мало загального з тією примітивною біотехнологією, що людина використовувала протягом тисячоліть. Однак термін «біотехнологія» прижився лише з середини 70-х років ХХ ст., коли біотехнологія пережила своє друге народження у зв'язку з появою генетичної інженерії.

Біотехнологія — це наука, яка має давнє коріння, але молодий стовбур.

Могутнім підґрунтям біотехнології є встановлення Ейвері О. у 1944 році біологічної ролі дезоксирибонуклеїнових (ДНК) кислот. Було доведено, що ця полімерна хімічна сполука є носієм спадкової інформації. Згодом Кріком Ф., Уотсоном Д. у 1953 році було зроблено епохальне відкриття: встановлено структурну організацію ДНК у вигляді спіралі. Згодом були виявлені інші структури організації цих кислот. Завдяки цій події наступні кроки, що були здійснені у напрямку з'ясування біохімічних механізмів функціонування ДНК, привели до повного розуміння молекулярних основ біологічної специфічності, що привело до формування чіткого наукового підходу до розробки біотехнологічних процесів на основі генно-інженерних робіт.

Особливо потужний поштовх у розвитку промислового біотехнологічного обладнання був відмічений у період становлення і розвитку антибіотиків. В один з осінніх днів 1928 р. у маленькій лабораторії при шпиталі Св. Марії у Лондоні мікробіолог Александер Флемінг (1881–1955) досліджував різні культури гнойотворних бактерій. Деякі з чашок Петрі вчений заселив бактеріями ще до літніх канікул, і зараз у них були чітко видні колонії бактерій. Проте де-не-де, до відчаю Флемінга, поселились й цвілеві гриби. В одній з чашок Петрі виросла «розкішна» колонія плісняви, при чому її оточила зона вільна від бактерій. Стає очевидним, що цвілеві гриби перешкоджають розповсюдженню бактерій. Флемінг обережно відібрав пробу плісняви з цієї чашки й помістив її на нове поживне середовище, котре попередньо стерилізувалась шляхом нагрівання. Так була отримана ще одна колонія цвілевих грибів. Потім дослідник «висадив» навколо різні види бактерій: стрептококки, стафілококи та збудники сибірської виразки й дифтерії. Всі вони не розмножувались у безпосередній близькості до гриба, що було у вищій мірі цікавим відкриттям. Вчений встановив, що «його» гриб — це зелена пліснява *Penicillium notatum*. Потім Флемінг став вирощувати цей гриб у об'ємистому сосуді з рідким поживним розчином. Незабаром зеленкуватий міцелій покрити поверхню цього розчину, котрий через декілька діб забарвився у золотисто-жовтий колір.

У нових дослідах з бактеріями було знайдено, що відділений від гриба поживний розчин так само пригнічував розмноження бактерій. Отже, ця пліснява, по всій вірогідності, виділяла в оточуюче середовище якусь «ворожу» бактеріям речовину, названу згодом Флемінгом, згідно походженню — пеніциліном. Вчений і не підозрював, що зробив дуже важливе відкриття, він навіть не спробував отримати пеніцилін у чистому вигляді, й використати його для боротьби з хвороботворними бактеріями, хоча б на організмах лабораторних тварин. Мікробіолог навіть у 1940 р. говорив, що «пеніциліном не варто займатись». Але на цей час це вже не залежало від його волі. Друга світова обернулася катастрофою мільйонів поранених й покалічених, котрих не могли врятувати звичайні ліки і навіть поширені тоді сульфаниламідів. Флемінг, у 1929 р. опублікував свою статтю, у котрій описав культури пеніциліну, але після того практично забув про свою працю.

У 1936 р. його колега по шпиталю Св. Марії показав згубну дію протозої на стрептокок — ще один гноєтворний мікроорганізм. Флемінг з ентузіазмом прийнявся за дослідження нових ліків. Пеніциліном він не цікавився. Цю проблему почали вивчати Гавард Волтер Флорі (1898–1968) з Оксфорду та його молодий помічник Ернест Борис Чейн (1906–1979). У квітні 1933 р. працюючи у лабораторії Флорі що в Оксфорді, Чейн запропонував старшому колезі «подивитись», що таке пеніцилін з хімічної точки зору. Чейна вабила його біохімічна складність, Флорі — дія на хвороботворний стафілокок. У 1938 р. Чейн приступив до досліджень, але спочатку «результати були не обнадійливі». Потім йому вдалось кардинально вдосконалити експериментальну установку, у результаті чого вчений отримав достатню кількість цінного екстракту. Він попросив перевірити новий продукт на токсичність. 25 травня 1940 р. Х. Флорі провів перші випробовування пеніциліну на тваринах. Ці досліди показали пречудові результати та величезний потенціал пеніциліну у боротьбі з інфекціями. Чейн очистив пеніцилін й встановив його молекулярну структуру. Він також почав вимагати заяви на патент. Проте Флорі відмовився це робити, рахуючи патентування в області біомедичних досліджень неетичними. Помилковість своїх міркувань він зрозумів у найближчому майбутньому. У 1941 р. Флорі відправляється до США з колбою отриманого у лабораторії пеніциліну у пошуках комерційної допомоги, залишивши Чейна у Англії, що зазнавала бомбардування. Тут у Лос-Анджелесі, відбулося й перше випробування пеніциліну. Ним лікували пораненого у перестрілці поліцейського, котрого все ж таки не вдалося врятувати, тому що закінчився сам препарат: його було 3 грами. Після цього Х. Флорі відправився до СРСР, де професор З. В. Єрмольєва створила власний пеніцилін (крустозин), що виявився навіть кращим за англійський.

Після вступу США у війну на боці союзників англійці передали їм всю інформацію, що стосувалася пеніциліну, безплатно, прагнучи тільки до того, щоб цей препарат почали виготовляти за океаном і у великих кількостях. Спливаюча кров'ю Англія не могла дозволити собі створювати абсолютно нову й дорогу гілку промисловості. Випадки вилікування від бактеріальних інфекцій сприймалися як ледь не диво. Але виробництво залишалось все таким

же складним й дорогим. Для того щоб вилікувати одного пацієнта, потрібно було приблизно 1000 л «грибного бульйону». У зв'язку з цим необхідно було вирішити три проблеми: знайти більш продуктивний вид плісняви; навчитися культивувати її у величезній кількості; створити метод отримання пеніциліну з поживного розчину у чистому вигляді.). У цей час були вирішені основні завдання з конструювання, створення і впровадження у практику біопрепаратів, які використовуються і нині (на даний момент відомо близько 20 тис пеніцилінів та 10 тис цефалоспоринів природного та напівприродного походження і більше 100 тис інших синтетичних антибіотиків).

Одним з найвидатніших досягнень біотехнології на початку нового 21-го сторіччя стало завершення створення детальної карти генома людини, що дозволяє краще зрозуміти взаємозв'язок людини з іншими організмами нашої планети, збагнути, що робить людей схожими один на одного, озброїть нас більш досконалими підходами для з'ясування причин виникнення хвороб і пошуку нових методів лікування.

Викликає подив той факт, що довжина послідовності нуклеотидів у ДНК людини лише втричі перевищує цей параметр у черв'яка *Caenorhabditis elegans* і водночас свідчить про складність механізмів контролю розвитку, які необхідно вивчати для пояснення такого складного явища, як поява людини (Дей П. 2002). Упродовж 65 останніх років, які охоплюють час відкриття Ейворі О., крім згаданих вище, в біології зроблено надзвичайно важливі відкриття:

- розроблено технологію одержання рекомбінантних молекул ДНК;
- розроблено гібридомну технологію;
- розроблено секвенування геномів бактерій, дріжджів, нематоди, рослинного організму арабідопсиса та людини.

Зроблено перші кроки генної терапії та успішні спроби клонування тварин, конструювання штучних хромосом, розроблено умови і створено можливості для перенесення генів, що дозволяє долати видові бар'єри, які обмежують можливості класичної селекції, розшифровано структуру нуклеосоми і комплексу РНК-полімерази.

Понад 35 років тому розроблено методи локалізації генів з елементами, які контролюють експресію, а ще важливішим є розробка прийомів перенесення цих елементів будь - якому мікроорганізму, або рослині, що дає можливість модифікувати організм таким чином, щоб одержати нові лінії зі зміненими властивостями, які відповідають нашим бажанням. У свою чергу функціонування модифікованого організму дозволить отримати інформацію про поведінку в геномі конкретного гена, тобто ідентифікувати функції генів (функціональна геноміка), про взаємодію генів і контролюючих експресію цих генів послідовностей, що дає можливість використати нові можливості для забезпечення потреб людства.

Важливим досягненням, яке дозволяє здійснювати генно-інженерні маніпуляції, є відкриття ферментів, за участю яких здійснюються операції «розрізання» і «зшивання» фрагментів ДНК.

Вражаючим є швидкість і розмах, з якими наукові дослідження

трансформуються у процес одержання нових фармацевтичних препаратів, або сільськогосподарських продуктів. Ліки, одержані завдяки біотехнології, наприклад, інсулін, соматотропний гормон, інтерферони, або вакцина проти поліомієліту, дають можливість створення більш ефективних препаратів з меншими побічними діями, оскільки вони будуть спрямовані на специфічні молекули - мішені, які зазнали змін у процесі захворювання.

У сільському господарстві вражає швидкість сприйняття американськими фермерами генетично модифікованих (ГМ) культур сільськогосподарських рослин для виробництва продуктів харчування і підвищення їх якості. Яскравим прикладом є розробка біотехнології синтезу вітамінів групи А у «золотому рисі». Близько двох третин усіх продовольчих товарів торгової мережі США містять ГМ-інгредієнти. Однак у багатьох розвинених країнах (зокрема країнах ЄС) використання ГМ-продукції зустрічає сильну опозицію. Це пов'язано із змінами в людському організмі викликаних споживанням ГМ-продуктів. Нещодавно групою вчених були проведені дослідження на тваринах з використанням ГМ-інгредієнтів, які продемонстрували втрату здатності до розмноження з третього - п'ятого поколінь та загальну слабкість нащадків. Однак ці недоліки в найближчому майбутньому будуть усунені. Натомість діабетики, не задумуючись, використовують для лікування інсулін, одержаний завдяки модифікованим організмам.

Використання генетичної інженерії дасть можливість ГМ-рослини не тільки для виробництва продуктів харчування, але й для вирішення екологічних проблем — для очищення забруднених хімічними речовинами і токсичними металами територій (фіторемерація) та використання ГМ-рослин як фабрик, або реакторів для виробництва фармацевтичних білків (вакцини, сироватки) та інших біологічно активних речовин.

Встановлено можливість елімінації із забруднених ґрунтів кадмію і свинцю за допомогою окремої лінії індійської гірчиці *Brassica Juncea*); за участю анаеробних і аеробних мікроорганізмів здійснювати утилізацію пестицидів, алканів, бензолу, толуолу, ксилолу, поліциклічних ароматичних вуглеводів.

Внаслідок проведених глибоких фундаментальних генно-інженерних досліджень було доведено можливість переміщення генів від одної таксономічної групи живих організмів до іншої попри їх статеву несумісність. Це одна із суттєвих переваг біотехнологічного підходу для прикладних питань, яка дозволяє гени, що цікавлять дослідника, з елементами, які контролюють їх експресію, перенести з одного до іншого організму і забезпечити їх експресію. Так, джерелом генів засухо- і холодостійкості рослин можуть бути гени тварин, або бактерій.

З урахуванням таких унікальних властивостей хлоропластів, як їх спроможність набагато інтенсивніше, ніж *E. Coli*, або рослини з перенесеними в їх ядра генами, синтезувати і накопичувати білки, вчені працюють над розробкою відповідної технології (Малига П., 2002)

Створено нові методи і технології генетичної інженерії рослин для розробки технології виробництва фармацевтичних засобів, перш за все антитіл

(Глеба Ю., 2002), експресії соматотропного гормону людини в хлоропластах тютюну, фармацевтичних і діагностичних препаратів та оральних вакцин рослинами (Малига П., 2002).

Існує думка про можливість отримання біологічно активних речовин шляхом трансформації рослин вірусами (Блюм Я., 2002). Рослини тютюну використовуються для виробництва вакцинального препарату, який має бути специфічним для кожного хворого на неходжкиновську лімфому (різновидність раку), шляхом перенесення за допомогою вірусного вектора гена, що асоційований із лімфомою пацієнта, для синтезу специфічного білка. При цьому слід зазначити, що вартість одержаного таким чином препарату є набагато нижчою, ніж при використанні з цією метою культур клітин ссавців (Ервін Б., 2002).

Використання генів, що кодують біосинтез білкової оболонки вірусів, та вбудовування їх в геном рослини забезпечують ефективний захист від шкідників (Кентлі М., 2002).

Україна має значний потенціал у біотехнології. Протягом останніх 15-20 років минулого століття проходив бурхливий розвиток біотехнології, визначались сфери застосування конкретних результатів біотехнологічних розробок.

Переваги біотехнологій.

Біотехнологія пропонує величезні потенційні переваги. Розвинуті країни та країни, що розвиваються, мають бути прямо зацікавлені у підтримці подальших досліджень, спрямованих на те, щоб біотехнології мали змогу повністю реалізувати свій потенціал.

Біотехнології допомагають зменшити антропогенний вплив на екологічний стан довкілля. Дозволяючи фермерам зменшити кількість пестицидів та гербіцидів, біотехнологічні продукти першого покоління призвели до зменшення їхнього використання у сільськогосподарській практиці, а майбутні продукти біотехнологій мають принести ще більше переваг. Зменшення пестицидного і гербіцидного навантаження означає менший ризик токсичного забруднення ґрунтів та ґрунтових вод. Окрім того, гербіциди, які застосовуються в поєднанні з генетично модифікованими рослинами, часто є безпечнішими для довкілля, аніж гербіциди попереднього покоління, на зміну яким вони приходять. Культури, виведені методами біоінженерії, також сприяють ширшому застосуванню безвідвальної обробки ґрунту, що призводить до зменшення втрат родючості ґрунту.

Величезний потенціал біотехнології мають в боротьбі з голодом. Розвиток біотехнологій пропонує значні потенційні переваги для країн, що розвиваються, де понад мільярд жителів планети живуть в бідності та страждають від хронічного голоду. Через зростання врожайності та виведення культур, стійких до хвороб та посухи, біотехнології можуть допомогти зменшити дефіцит продуктів харчування для населення планети, яке станом на 2025 рік складатиме понад 8 мільярдів осіб, що на 30 % більше ніж сьогодні. Вчені створюють сільськогосподарські культури з новими властивостями, які допомагають їм виживати у несприятливих умовах посух та повеней.

Біотехнології допомагають боротися з хворобами людей, тварин та рослин. Розвиваючи та покращуючи медицину та фармакопею, вони дають нові інструменти у боротьбі з різними хворобами. Біотехнологія дала медичні методи лікування кардіологічних хвороб, склерозу, гемофілії, гепатиту та СНІДу.

Нині створюються біотехнологічні продукти харчування, які зроблять дешевшими та доступнішими для найбільшої частини населення планети життєво необхідні вітаміни та вакцини.

Перспективи розвитку біотехнології.

Завдяки розширенню сфери свого застосування біотехнологія робить вагомий внесок у підвищення рівня життя людини. Використання досягнень науки в біотехнології пов'язане з фундаментальними дослідженнями, які здійснюються на найвищому сучасному рівні. Розвиток окремих перспективних розділів біотехнології здійснюється при тісному міжнародному співробітництві фахівців, учених і технологів.

Для гармонізації взаємовідносин людини і біосфери та розробки новітніх систем відновлення природного середовища за допомогою сучасних біотехнологій найкраще застосувати методи, які вже подарувала нам природа і які є для неї притаманними.

Вирішення екологічних проблем неможливе без застосування новітніх біотехнологій для діагностики забруднень довкілля, очищення стічних вод, знешкодження небезпечних газових викидів, використання перспективних засобів утилізації твердих і рідких промислових відходів, підвищення ефективності методів біологічного відновлення забруднених ґрунтів, заміни низки агрохімікатів на біотехнологічні препарати тощо.

Основне завдання біотехнології на перспективу — інтенсифікація біопроектів як за рахунок підвищення потенціалу біологічних агентів та їх систем, так і за рахунок удосконалення устаткування, застосування біокатализаторів (імобілізованих ферментів і клітин) у промисловості, аналітичній хімії, медицині.

В основі промислового використання досягнень біотехнології лежить техніка створення рекомбінантних молекул ДНК. Конструювання потрібних генів дозволяє управляти спадковістю й життєдіяльністю тварин, рослин і мікроорганізмів і створювати організми з новими властивостями. Зокрема, можливе керування процесом фіксації атмосферного азоту й перенесення відповідних генів із клітин мікроорганізмів у геном рослинної клітини.

Як джерела сировини для біотехнології все більшого значення будуть набувати відтворювальні ресурси нехарчових рослинних матеріалів, відходів сільського господарства, які служать додатковим джерелом як кормових речовин, так і вторинного палива (біогазу), органічних добрив.

Однією з галузей, біотехнології яка швидко розвивається є технологія мікробного синтезу поживних для людини речовин. За прогнозами, подальший розвиток цієї галузі спричинить перерозподіл ролей рослинництва й тваринництва з одного боку, і мікробного синтезу – з іншого, у формуванні продовольчої бази людства.

Не менш важливим аспектом сучасної мікробіологічної технології є вивчення участі мікроорганізмів у біосферних процесах і спрямованій регуляції їхньої життєдіяльності з метою вирішення проблеми охорони навколишнього середовища від техногенних, сільськогосподарських і побутових забруднень.

Із цією проблемою тісно зв'язані дослідження з виявлення ролі мікроорганізмів у родючості ґрунтів (гумусоутворення й поповненні запасів біологічного азоту), боротьбі зі шкідниками й хворобами сільськогосподарських культур, утилізації пестицидів й ін. хімічних сполук у ґрунті. Наявні в цій області знання свідчать про те, що зміна стратегії господарської діяльності людини від хімізації до біологізації землеробства виправдовується як з економічної, так і з екологічної точок зору. У даному напрямку перед біотехнологією може бути поставлена мета регенерації ландшафтів.

Ведуться роботи зі створення біополімерів, які будуть здатні замінити сучасні пластмаси. Ці біополімери мають істотну перевагу перед традиційними матеріалами, тому що нетоксичні й піддаються біодеградації, тобто легко розкладаються після їхнього використання, не забруднюючи навколишнє середовище.

Біотехнології, засновані на досягненнях мікробіології, найбільш економічно ефективні при комплексному їхньому застосуванні й створенні безвідхідних виробництв, які не порушують екологічної рівноваги. Їхній розвиток дозволить замінити багато величезних заводів хімічної промисловості екологічно чистими компактними виробництвами.

Важливим і перспективним напрямком біотехнології є розробка способів одержання екологічно чистої енергії. Одержання біогазу й етанолу були розглянуті раніше, але є й принципово нові експериментальні підходи в цьому напрямку. Одним з них є одержання фотоводню. Якщо із хлоропластів виділити мембрани, які містять фотосистему, то на світлі відбувається фотоліз води – розкладання її на кисень і водень. Моделювання процесів фотосинтезу, які відбуваються в хлоропластах, дозволило б запасати енергію Сонця в паливі – водні. Переваги такого способу одержання енергії очевидні: наявність надлишку субстрату, води; нелімітуюче джерело енергії — Сонце; продукт (водень) можна зберігати, не забруднюючи атмосферу; водень має високу теплотворну здатність (29 ккал/г) у порівнянні з вуглеводнями (3,5 ккал/г); процес відбувається при нормальній температурі без утворення токсичних проміжних продуктів; процес циклічний, тому що при споживанні водню регенерується субстрат – вода.

Інший механізм перетворення енергії в галофітних бактеріях *Halobacterium halobium*, які використовують енергію сонця, яку поглинають пурпурним пігментом бактеріородопсином, що міститься в мембрані клітини. Поглинання світла викликає хімічні й фізичні зміни в мембрані, які призводять до спрямованого транспорту протонів водню з однієї сторони мембрани на іншу й створенню електрохімічного градієнта. Наслідком цього є синтез аденозинтрифосфornoї кислоти. *H. halobium* можна культивувати в невеликих водоймах із високим змістом *NaCl* й інших мінеральних солей. З 10 літрів

бактеріальної культури можна одержати 0,5 грама мембран, що містять до 100000 молекул пігменту. Пігмент можна фіксувати на підкладках, які володіють фізичними й хімічними властивостями для транспорту протонів.

Перспективні напрямки розвитку біотехнології:

- створення трансгенних рослин та тварин;
- створення нових методів переробки та збереження харчових продуктів, отримання харчових добавок (продукція мікроорганізмами полімерів, ферментів та амінокислот);
- використання ферментів для вдосконалення діагностики, створення біоелектронних імуносенсорів (на їх основі можна створювати дешеві прилади, які здатні визначати та підтримувати на заданому рівні концентрацію речовин у рідинах тіла);
- розробка нових методів утилізації відходів.

Перспективним напрямом також має стати розробка біотехнологій, спрямованих на виробництво біогазу та водню з органічних відходів, мікробіологічна деструкція ксенобіотиків, застосування біоіндикації та біотестування в системі екологічного моніторингу.

Таким чином, найбільш пріоритетним в короткостроковій та довгостроковій перспективі експерти вважають напрями біотехнології, які пов'язані з охороною довкілля, біодеструкцією та утилізацією відходів, а також отриманням біопалив – тобто саме екологічну біотехнологію, яку на благо всієї нашої спільноти необхідно визнати в усіх її аспектах як найперспективніший напрям сучасної біотехнології.

? Питання для самоконтролю:

1. З якими видатними дослідженнями пов'язаний значний поштовх у розвитку біотехнології?
2. Що є могутнім підґрунтям біотехнології ?
3. Які можливості дає використання генетичної інженерії?
4. Який потенціал біотехнології мають в боротьбі з голодом?
5. Які перспективні напрямки розвитку біотехнології?
6. Який найбільш пріоритетний в короткостроковій та довгостроковій перспективі напрям біотехнології?

1.3 Характеристика напрямків біотехнології. Сфера застосування біотехнології в різних галузях національної економіки

У промисловому масштабі біотехнологія це індустрія, яка має наступні виробничі напрями:

- виробництво білка, амінокислот, вітамінів, ферментів;
- виробництво лікувально-профілактичних та діагностичних препаратів (вакцин, сироваток, антигенів, алергенів, інтерферонів, антибіотиків);

- отримання гербіцидів та біоінсектицидів;
- отримання нових порід тварин, сортів рослин;
- вирощування тканинних та клітинних культур рослинного та тваринного походження;
- виробництво полімерів та сировини для текстильної промисловості;
- отримання метанолу, етанолу, біогазу, водню;
- переробка виробничих та господарських відходів, стічних вод, гною тварин;
- біоремедіація (утилізація небезпечних викидів нафти, хімікатів, які забруднюють ґрунти та воду);
- біогеотехнологія (раніше трактувалося як мікробне вилужування металів. Вивчає видобуток металів з руд за допомогою мікроорганізмів).

Біотехнологічний процес складається з трьох основних етапів:

1. Отримання сировини та її обробка для використання поживних речовин мікроорганізмами-мішенями.
2. Ферментація та біотрансформація (ріст мікроорганізмів з утворенням необхідного метаболіту).
3. Кінцева обробка: очищення необхідної речовини від культурального середовища.

Біотехнологічний процес отримання продукту має відповідати основним принципам:

- принцип економічної обґрунтованості;
- принцип доцільності рівня технологічних розробок;
- принцип наукової обґрунтованості біотехнологічного процесу;
- принцип здешевлення виробництва.

На рис. 1.5 наведена узагальнена схема виробничих процесів у біотехнологічній промисловості.

Біотехнологічну промисловість інколи поділяють на 4 спрямування:

1. «Червона біотехнологія» — виготовлення біофармацевтичних препаратів (протеїнів, ферментів, антигенів, антитіл) для людини, а також корекція генетичного коду.
2. «Зелена біотехнологія» — розробка та впровадження у культуру геномодифікованих рослин.
3. «Біла біотехнологія» — виробництво біопалива, ферментів та біоматеріалів для різних галузей промисловості.
4. Академічні та державні дослідження – наприклад, розкодування геному людини, геному рису та т. ін.

Основні напрямки промислової біотехнології:

- біоенергетика;
- біотехнологія обробки стічних вод і контроль забрудненості важкими металами;
- біотехнологія сільського господарства;
- біогеотехнологія;
- біоелектроніка;
- біотехнологія в медицині;

– біотехнологія харчової промисловості.

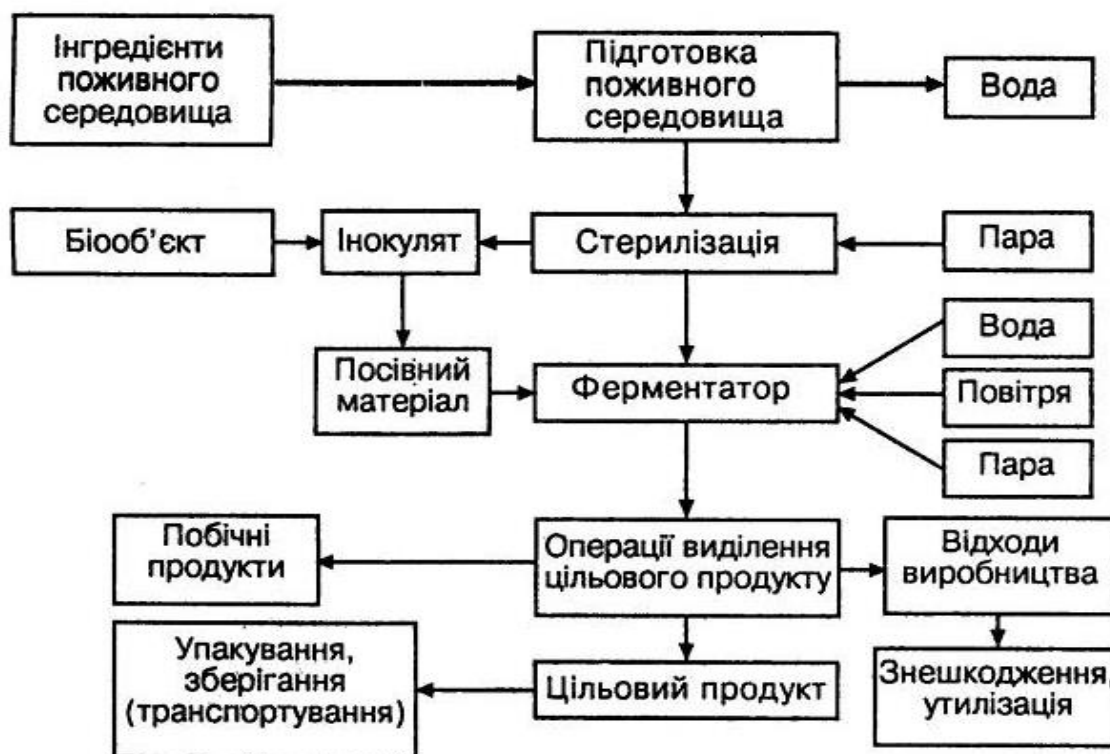


Рисунок 1.5 – Узагальнена схема виробничих процесів у біотехнологічній промисловості

Біоенергетика. Біоенергетика — це використання енергії біомаси (органіки, яка утворюється за рахунок фотосинтезу). «Зелене паливо» — так інколи називають паливо рослинного походження, сировиною для отримання якого є біомаса. Проте чим більше говорять про біоенергетику, тим частіше поняття «біопаливо» розуміють як рідке біопаливо (біодизель, біоетанол і метанол) та забувають про тверді і газоподібні — біогаз, синтез-газ, піролізні рідини, відходи сільськогосподарської та побутової продукції, залишки переробки деревини. Саме енергетичні рослини, які вирощуються для отримання енергії чи палива, у найближчому майбутньому створять конкуренцію газу та дизелю.

Окрім рослинного матеріалу, одержувати енергію можна з різноманітних твердих і рідких відходів, що утворюються в процесі життєдіяльності людей у великих кількостях. Це побутові відходи, каналізаційні стоки міст, стоки та відходи виробництва і переробки сільськогосподарської продукції, величезна кількість органічних залишків після лісозаготівель і переробки деревини тощо.

Одержання енергії з біомаси тваринного і рослинного походження, яка має багато переваг, — це анаеробне (без доступу кисню) зброджування під дією наявних у біомасі метанобактерій. Ці мікроорганізми активно розвиваються в будь-яких органічних рештках, а в результаті процесів їхньої життєдіяльності утворюється біогаз - газ, який приблизно на 60 % складається з метану (CH_4) і на 40 % — з вуглекислого газу (CO_2). З 1 м^3 біогазу в генераторі можна

виробити 2 кВт електроенергії, яка постачатиметься без перепадів. Тепло від охолодження генератора або від згоряння біогазу можна використовувати для опалення, сушіння насіння, дров, кип'ятіння води для утримання худоби. Тепло отримують під час спалювання газу спеціально, а також відбирають його при охолодженні електрогенератора. Поряд з біогазовими установками можна встановлювати теплиці. Тепло також може використовуватись для приведення в дію випарників рефрижераторів (при охолодженні свіжого молока на молочних фермах або для зберігання м'яса, яєць тощо).

Окрім біогазу, є й інші види біопалива, які можна використовувати для отримання енергії, у тому числі й на транспорті, — це біодизель і біоетанол. Вважається, що саме паливний етанол має найбільший потенціал з огляду на невичерпні джерела його отримання. Ними можуть бути трав'янисті рослини та деревина, відходи сільського господарства і деревообробної промисловості, а також побутове сміття.

Надзвичайно важливим є глобальний позитивний ефект використання біоетанолу як палива, адже вуглекислий газ, що виділяється під час його спалення, має первинне атмосферне походження. Тобто його знову можуть асимілювати рослини, які потім будуть джерелом отримання цього самого паливного етанолу. Коли ж використовується викопне паливо, то виділений ним CO₂ є додатковим джерелом сумнозвісного парникового ефекту.

Біодизельне паливо виробляється з ріпаку та сої і на сьогодні коштує дорожче за традиційне дизельне паливо. Для отримання біодизельного палива можна використовувати також соняшкову і кукурудзяну олію, але найчастіше використовують ріпакову, оскільки собівартість виробництва зерна ріпаку, порівняно з іншими олійними культурами, найнижча.

Крім зниженої температури твердіння (а це вельми важливо для зимових погодних умов), біодизель як моторне паливо має низку цінних якостей. Його застосування істотно продовжує час життя двигуна, оскільки воно має кращу змащувальну здатність, ніж паливо з нафти. При цьому на 90 % знижується ризик ракових захворювань. За рахунок того, що біодизель містить 11 % кисню, у продуктах його згоряння кількість вуглекислого газу зменшується на 80 %, чадного газу — на 35 %, окисів сірки — на 100 %, аерозолів (димових частинок розміром менше 10 мікрон) — на 32 %, ніж у звичайного дизпалива.

У разі потрапляння біодизельного палива у воду чи ґрунт воно майже повністю розпадається протягом 25–30 днів, тоді як 1 кг мінеральних нафтопродуктів може забруднити до 1 млн л питної води, знищивши у ній всю флору і фауну. Біодизель може бути використаний у чистому вигляді (марка У100) або у суміші зі звичайним дизпаливом. Найпоширенішим є В20, що містить 20 % біодизеля і 80 % звичайного палива.

Отже, світовий досвід переконує, що рідке біопаливо стає перспективною категорією енергоресурсів, яка за своїм значенням посідає наступну позицію після твердих палив з біомаси.

Можна стверджувати, що біоенергетика - це вибір, який має глобальну перспективу для подальшого успішного розвитку цивілізації. Важливими напрямками також мають стати розробка екобіотехнологій, спрямованих на

виробництво біогазу та водню з органічних відходів.

Біотехнологія утилізації відходів. Розвиток промисловості призводить до утворення великої кількості відходів, в тому числі відходів, що містять нові антропогенні компоненти. Утилізація відходів — здійснення будь-яких технологічних операцій, пов'язаних зі зміною фізичних, хімічних або біологічних властивостей відходів, з метою підготовки їх до екологічно безпечного зберігання, перевезення чи видалення. Повторне використання або повернення в обіг відходів виробництва чи сміття. Відходи поділяють на 2 групи: тверді відходи та стічні води.

Існує проблема розкладу утворюваних у технологічних процесах складних речовин, які будучи основною масою відходів, створюють загрозу навколишньому середовищу. Завданням екологічної біотехнології є їх руйнування та перетворення на нешкідливі для довкілля або використання як вторинну матеріальну сировину для виробництва кормових і харчових продуктів.

В області переробки і ліквідації твердих відходів біотехнологічними методами найбільш значне місце, як за вартісними, так і за об'ємним показниками займає утилізація мулу стічних вод і твердих комунальних відходів.

Науково-технічний прогрес в промисловості і зменшення природної сировини змінюють існуючу оцінку та роль відходів, і раніше непридатні для подальшого виробництва, вони після відповідної обробки, повинні стати економічно вигідною сировиною.

Стічні води містять складну суміш розчинних та нерозчинних компонентів різноманітної природи та концентрації: побутові — ґрунтову та кишкову мікрофлору, включаючи патогенні мікроорганізми; відходи цукрових, крохмальних, пивних та дріжджових заводів, м'ясокомбінатів — велику кількість вуглеводів, білків, жирів; хімічних та металургійних підприємств — можуть мати токсичні та вибухонебезпечні речовини.

Небезпечне забруднення виникає при потраплянні в навколишнє середовище сполук важких металів (залізо, мідь, олово та ін.). Основною метою при очистці стічних вод – видалення розчинних та нерозчинних компонентів, детоксикація патогенної мікрофлори.

Велику цінність мають бактерії роду *Pseudomonas* вони утилізують: нафталін, толуол, алкани, фенольні сполуки, гербіциди та ін.

Біотехнологічні процеси утилізації відходів можуть бути реалізовані як у аеробних, так і в анаеробних умовах. Накопичений позитивний досвід використання анаеробного біохімічного очищення стічних вод свідчить, що цей процес більш стійкий до інгібуючих речовин, ніж аеробний. Крім того, анаеробний процес придатний для очищення висококонцентрованих стічних вод без попереднього їх розбавлення і має такі переваги: мала витрата електроенергії на очищення; низький приріст надлишкової біомаси; можливість підтримування у реакторі високої концентрації біомаси; мінімальний об'єм анаеробних біореакторів не обмежений, на відміну від аеробних установок, експлуатація невеликих установок простіша.

Подолання сучасних і запобігання ймовірним екологічним кризам не можливі без застосування новітніх екобіотехнологій для очищення стічних вод, біосорбції важких металів зі стоків, знешкодження небезпечних газових викидів, збагачення повітря киснем, використання перспективних засобів знешкодження твердих і рідких промислових відходів, біодеградації пестицидів та інсектицидів, підвищення ефективності методів біологічного відновлення забруднених ґрунтів, заміни низки агрохімікатів на біотехнологічні препарати тощо.

Біотехнологія сільського господарства. Внесок біотехнології в сільськогосподарське виробництво полягає в полегшенні традиційних методів селекції рослин і тварин в розробці нових технологій, що дозволяють підвищити ефективність сільського господарства. У багатьох країнах методами генетичної і клітинної інженерії створені високопродуктивні і стійкі до шкідників, хвороб, гербіцидів сорти сільськогосподарських рослин. Розроблена техніка оздоровлення рослин від накопичених інфекцій, що особливо важливо для культур рослин, які вегетативно розмножуються (картопля та ін.). Як одна з найважливіших проблем біотехнології у усьому світі широко досліджується можливість керування процесом азотфіксації, у тому числі можливість уведення генів азотфіксації в геном корисних рослин, а також процесом фотосинтезу. Ведуться дослідження з поліпшенням амінокислотного складу рослинних білків. Розробляються нові регулятори росту рослин, мікробіологічні засоби захисту рослин від хвороб і шкідників, бактеріальні добрива. Генно-інженерні вакцини, сироватки, моноклональні антитіла використовують для профілактики, діагностики і терапії основних хвороб сільськогосподарських тварин. У створенні більш ефективних технологій племінної справи застосовують генно-інженерний гормон росту, а також техніку трансплантації і мікроманіпуляцій на ембріонах домашніх тварин. Для підвищення продуктивності тварин використовують кормовий білок, отриманий мікробіологічним синтезом.

Біогеотехнологія — використання геохімічної діяльності мікроорганізмів в гірничо-видобувній промисловості. Це екстракція та концентрування металів при біологічній очистці стічних вод підприємств гірничо-видобувної промисловості та в процесах: вилуговування бідних та перероблених руд, десульфування кам'яного вугілля, окислення піритів тощо.

Біоелектроніка. В електроніці біотехнологія може використовуватись для створення покращених типів біосенсорів та нових провідникових приладів – біочіпів. Біотехнологія дає можливість створювати прилади, в яких білки являються основою молекул, діють як напівпровідники. Для індикації забруднень різноманітного походження останнім часом використовують не хімічні реагенти, а біосенсори — ферментні електроди, також імібілізовані клітини мікроорганізмів. В якості сенсорів використовуються також моноклональні антитіла. Лідерами у виробництві біодатчиків та біочіпів є японські компанії — *Hitachi, Sharp*.

Біотехнологія в медицині. У медицині біотехнологічні прийоми і методи грають головну роль при створенні нових біологічно активних речовин і

лікарських препаратів, призначених для ранньої діагностики і лікування різноманітних захворювань. Антибіотики — найбільший клас фармацевтичних сполук, одержання яких здійснюється за допомогою мікробіологічного синтезу. Створено генно-інженерні штами кишкової палички, дріжджів, клітин ссавців та комах, які використовують для одержання гормону росту, інсуліну й інтерферону людини, різноманітних ферментів і противірусних вакцин.

Змінюючи нуклеотидну послідовність у генах, що кодують відповідні білки, оптимізують структуру ферментів, гормонів і антигенів. Найважливішим відкриттям стала розроблена в 1975 році Р. Келером і С. Мільштейном техніка використання гібридів для одержання моноклональних антитіл бажаної специфічності. Моноклональні антитіла використовують як унікальні реагенти, для діагностики і лікування різноманітних захворювань.

Промислове виробництво антибіотиків. У другій половині ХХ сторіччя було відкрито низку терапевтично цінних антибіотиків з широким спектром антимікробної дії. Їхнє використання дало можливість ефективно боротися з мікроорганізмами — збудниками черевного тифу, дизентерії, холери, бруцельозу, туляремії, а також рикетсіями (збудниками черевного тифу) й великими вірусами (збудниками *Psittakozia*, лімфогранулематозу, трахоми та ін.). На сьогодні кількість відомих антибіотиків перевищує 2000, але на практиці використовують близько 50 найменувань.

Біотехнологія харчової промисловості. Існують два різновиди біотехнології, які розрізняються за цінністю одержуваних продуктів і за масштабом виробництва. Біотехнологія мало масштабного виробництва, що дає дорогу продукцію спеціального призначення, відрізняється від біотехнології харчової промисловості. Їжу одержують з відносно недорогої сировини і відносно дешевими способами. Асортимент продуктів харчування, які одержують за допомогою біотехнологій, великий: від тих, що вироблялися із древніх часів за рахунок бродіння: хліба, сиру, йогурту, вина і пива до новітнього виду харчового продукту — грибного білка мікопротеїну. Мікроорганізми при цьому відіграють різну роль: використовуються ферменти чи інші метаболіти, що продукували мікроорганізми; з їхньою допомогою зброджується харчова сировина; деякі з них вирощуються для безпосереднього вживання. У харчовій промисловості для здійснення процесів застосовують як чисті культури мікроорганізмів, так і дикі форми, що містяться в сировині, і починають розмножуватися при створенні належних умов. У світі промислового виробництва такі процеси звичайно ведуться під ретельним контролем. Особливо це стосується вибору штаму і чистоти культур мікроорганізмів. Майбутнє тут належить генетичним дослідженням зі створення більш продуктивних штамів.

Питання забезпечення населення нашої планети продуктами харчування є одним з найактуальніших в даний час. За даними ООН більше половини населення Землі є незабезпеченим достатньою кількістю продуктами харчування, приблизно 500 млн. людей голодують. Проблема харчування людей полягає у нестачі білка. Ефективним джерелом білка можуть бути водорості. Збільшення кількості харчового білка можна і за рахунок

мікробіологічного синтезу. Мікроорганізми дуже багаті на білок, а швидкість синтезу приблизно в 10–100 тисяч разів перевищує швидкість синтезу тваринних білків.

Застосовуючи технологічні лінії по виробництву синтетичних волокон, можна отримати з штучних білків довгі нитки, які після просочування формоутворюючими речовинами, надають їм відповідного смаку, кольору, запаху можуть імітувати будь-який білковий продукт. В такий спосіб вже отримані штучне м'ясо, молоко, сири та інші продукти.

Сфера застосування методів біотехнології в різних галузях національної економіки широка й різноманітна:

- процеси біосинтезу й біодеградації;
- вуглецевмісна сировина для хімічної промисловості;
- хімічна переробка (очищення продукту);
- хімічні продукти, що використовуються в побуті: клеї, барвники, волокна, смакові добавки, запашні речовини, пігменти, пластики, змащувачі і т.п.;
- джерела енергії;
- контроль за станом навколишнього середовища (повітря, вода, ґрунт);
- біоіндикація;
- їжа й напої (сільськогосподарське виробництво і харчова промисловість);
- охорона здоров'я (діагностика, лікування), боротьба із хворобами рослин і тварин;
- видобуток мінеральної сировини на суші й на морі.

Використання біотехнологічних процесів у різних галузях народного господарства представлено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Сучасні напрямки використання біотехнологій

Напрямок	Сфера застосування	Суть напрямку
Створення безвідходних технологічних процесів	Технології захисту довкілля	Отримання з відходів корисних продуктів або знешкодження їх
Створення препаратів для боротьби зі збудниками хвороб людини та тварин	Сільське господарство	Створення засобів для діагностики, імуностимулятори, вакцини, антибіотики тощо
Створення рослин, стійких до хвороб та шкідників	Сільське господарство	Отримання рослин, при вирощуванні яких відпадає необхідність використання отрутохімкатів
Біологічні методи боротьби з хворобами і шкідниками рослин	Сільське господарство	Селективне знищення спеціальними біологічними препаратами шкідливих комах, гризунів чи збудників хвороб
Бактеріальні добрива, стимулятори росту рослин	Сільське господарство	Посилення біологічної фіксації атмосферного азоту, мобілізації фосфору; прискорення росту органів рослин; зниження потреб у мінеральних добривах
Створення рослин, здатних фіксувати атмосферний азот без участі мікроорганізмів	Сільське господарство	Перенесення у геном рослин генів від мікроорганізмів, що визначають фіксацію

Кінець таблиці 1.1

Аеробне біоочищення стоків	Технології захисту довкілля	Утилізація органічних речовин стоків активним мулом у присутності кисню
Анаеробне біоочищення стоків	Технології захисту довкілля	Утилізація органічних речовин анаеробним мулом з утворенням біогазу
Селективна утилізація хімічних сполук стоків	Технології захисту довкілля	Утилізація токсичних речовин спеціально адаптованими культурами мікроорганізмів
Кероване компостування твердих відходів	Сільське господарство, міське господарство	Біологічна деструкція частини компонентів відходів з утворенням компосту
Детоксикація хімічних забруднень ґрунтів	Технології захисту довкілля	Утилізація шкідливих сполук мікробіологічною обробкою ґрунтів
Біосорбція металів	Технології захисту довкілля, промисловість	Селективна сорбція у спеціальних біофільтрах металів зі стоків мікроорганізмами
Біологічне очищення викидів	Технології захисту довкілля	Використання мікроорганізмів для деструкції забруднень викидів
Діагностика ступеня забруднення середовища	Технології захисту довкілля	Контроль присутності певних речовин у середовищі за допомогою ферментів
Виробництво енергії з біомаси	Народне господарство	Виробництво біогазу за допомогою метанового бродиння
Клонування	Народне господарство	Відновлення чисельності популяції

Екологічна біотехнологія — це специфічне використання біотехнології для вирішення проблем захисту навколишнього природного середовища. У міру того, як збільшується населення Землі й розвивається промисловість, усе більш серйозною стає проблема захисту навколишнього середовища. У рішенні такого роду завдань біотехнологія грає все зростаючу роль, зокрема, у тому, що стосується розробки нових або вдосконалення існуючих способів переробки відходів.

У 50–60-ті роки минулого століття, живі організми (мікроорганізми, водорості, вищі рослини тощо) почали широко використовувати в технологіях очищення стічних вод і знезараження промислових відходів.

Новітні процеси переробки незвичайних відходів ґрунтуються на використанні мікроорганізмів, що володіють новими, невідомими раніше або штучно створеними властивостями.

Навколишнє середовище є як би загальним знаменником для всіх видів діяльності. Наприклад, розширення використання біотехнології в хімічній промисловості повинне привести до створення нових її галузей, краще сумісних з навколишнім середовищем. Такі ж надії покладають і на біоінженерію.

Важливими напрямками мають стати розробка екобіотехнологій, спрямованих на виробництво біогазу та водню з органічних відходів, мікробіологічна деструкція ксенобіотиків, застосування біоіндикації та біотестування в системі екологічного моніторингу.

? Питання для самоконтролю:

1. Які виробничі напрямки має біотехнологія?
2. З яких основних етапів складається біотехнологічний процес?
3. Яким основним принципам має відповідати біотехнологічний процес отримання продукту?
4. На яке чотири спрямування поділяють біотехнологічну промисловість?
5. Які основні напрямки промислової біотехнології?
6. Яка сфера застосування методів біотехнології в різних галузях національної економіки?
7. В електроніці біотехнологія може використовуватись для...
8. При створенні чого грають головну роль біотехнологічні прийоми і методи у медицині?
9. Екологічна біотехнологія — це...

2 ОСНОВИ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ ТА ГЕННОЇ І КЛІТИННОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

2.1 Основні стадії та екологічні аспекти біотехнологічних виробництв

Усі продукти біотехнологічних виробництв одержують за індивідуальними технологіями зі своїми біологічними об'єктами, сировиною, кількістю стадій та технологічних режимів. Але можна скласти загальну, типову схему майже всіх біотехнологічних виробництв.

Схема складається зі стадій, у кожній із яких сировина витримує окремі технологічні перетворення, послідовно перетікаючи в більш важливі продукти і, наприкінці, у кінцевий продукт. Загальний вид схеми біотехнологічного процесу наступний (рис. 2.1).

Основною стадією біотехнологічного виробництва є біотехнологічна стадія, сутність якої полягає в перетворенні субстрату за участю біологічного об'єкта (мікроорганізмів, ізольованих клітин, ферментів або клітинної органели), у необхідний продукт. Тобто, головним завданням біотехнологічної стадії є одержання окремої органічної речовини. Ця стадія містить низку різних біотехнологічних процесів:

– *ферментація* — процес, який здійснюється за допомогою культивування мікроорганізмів;

– *біотрансформація* — процес змінення хімічної структури речовини під дією ферментативної активності клітин мікроорганізмів або готових ферментів. У цьому процесі відбуваються незначні змінення у структурі речовини. Вона майже готова, але йде її хімічна модифікація (додавання або віднімання радикалів, гідроксильних іонів, дегідратації та інше). Накопичення клітин мікроорганізмів не здійснюється;

– *біокаталіз* — хімічні перетворення речовини, які протікають з

використанням біокатализаторів – ферментів.

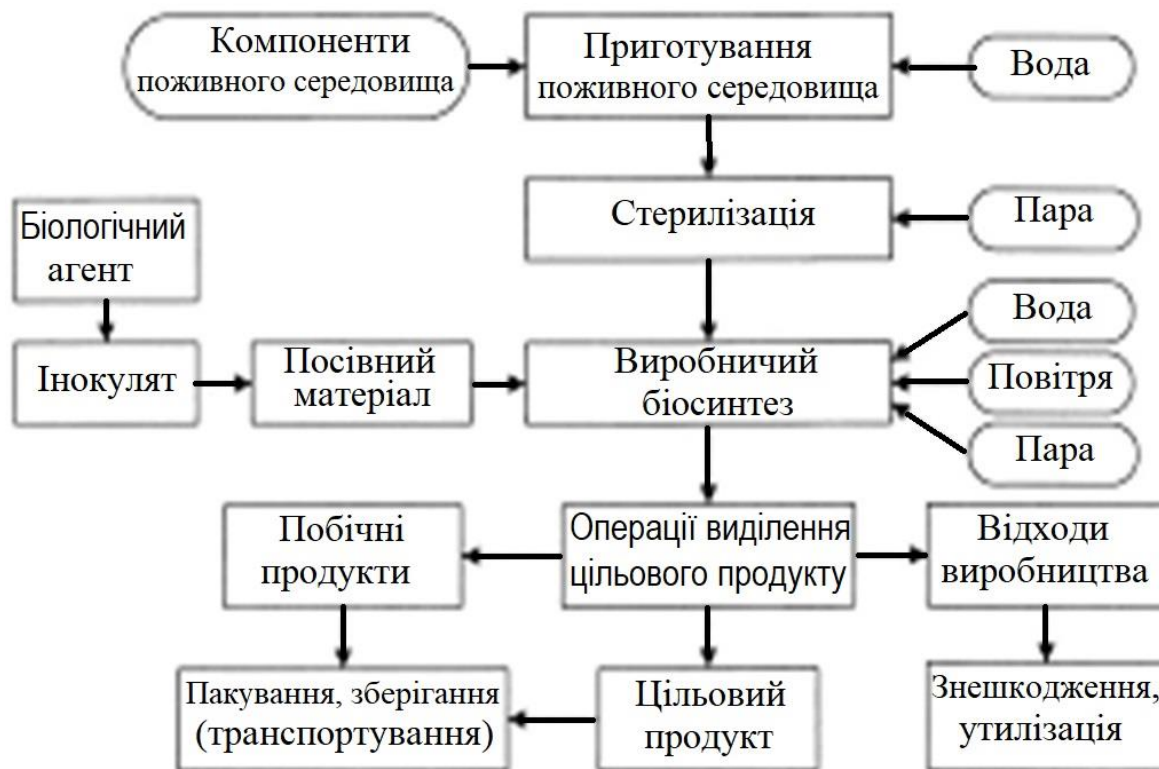


Рисунок 2.1 – Узагальнена схема біотехнологічного процесу (за Пиріг Т. П., Ігнатова О.А., 2009)

– *біоокислення* — перетворення забруднених речовин за допомогою мікроорганізмів або асоціації мікроорганізмів в анаеробних умовах;

– *метанове бродіння* — переробка органічних відходів за допомогою асоціації метаногених мікроорганізмів в анаеробних умовах.

– *біокомпостування* — зниження вмісту шкідливих органічних речовин за допомогою асоціації мікроорганізмів, у твердих відходах, котрим надана спеціальна пухка структура, для забезпечення доступу кисню і рівномірної вологості;

– *біосорбція* — сорбція шкідливих домішок із газів або рідини мікроорганізмами, які закріплені на спеціальних твердих поверхнях;

– *біодеградація* — деструкція шкідливих зв'язків під дією мікроорганізмів-біодеструкторів.

– *бактеріальне вилуговування* — процес переводу нерозчинних у воді зв'язаних металів у розчинений стан під дією спеціальних мікроорганізмів.

Вихідними протоками біотехнологічної стадії, звичайно, є один рідинний і один газовий, рідше — один рідинний, в окремих випадках — один потік твердого продукту (наприклад, при дозріванні сиру, біокомпостуванні відходів).

Біотехнологічну стадію випереджує стадія підготовки сировини та набуття необхідного їй виду. На стадії підготовки використовують такі процеси:

– *виготовлення середовища* — у більшості рідкого, яке вміщує необхідні

компоненти для харчування біотехнологічних об'єктів для біотехнологічної стадії;

– *стерилізація середовища* — для асептичних біотехнологічних процесів, де попадання сторонньої мікрофлори не бажане.

Підготовка до стерилізації газів (зокрема, повітря), є необхідною для протікання біотехнологічного процесу. Найчастіше підготовка повітря містить очищення його від пилу, вологи, мікроорганізмів та їх спор, надання необхідної температури.

Підготовка посівного матеріалу для проведення мікробіологічного процесу, процесу культивування відокремлених клітин рослин або тварин полягає у вирощуванні малої кількості матеріалу, порівняно з кількістю біологічного агента цільової стадії.

Підготовка біокатализатора зводиться до попередньої підготовки біокатализатора, ферменту у вільному або закріпленому на носії виду або вирощуванні мікроорганізмів до стану, у якому проявляється їх ферментативна активність.

Розглянемо стадію, наступну за біотехнологічною – розділення рідини й біомаси. Для цього в залежно від властивостей біомаси й рідини використовують різні процеси:

– *відстоювання* — розділення під дією гравітаційних сил (при очищенні стічних вод);

– *фільтрація* — пропускання суспензії крізь фільтруючий матеріал, на якому затримуються частки твердої фази – біомаса (виробництво антибіотиків);

– *сепарація, центрифугування* — розподіл під дією відцентрових сил (виробництво кормової біомаси — дріжджів, бактерій).

– *мікрофільтрація* — пропускання суспензії крізь мембрани з малим діаметром пор, котрі забезпечують утримання клітин мікроорганізмів;

– *ультрафільтрація* забезпечує затримання крупних молекул розчинних речовин;

– *коагуляція* — додавання до суспензії реагентів, які допомагають осадженню більш крупних клітинних агрегатів і відділенню їх із рідини шляхом відстоювання;

– *флотація* — захоплення біомаси мікроорганізмів кульками піни і виділення їх із пінної фракції.

Виділення продуктів біосинтезу. Ця стадія залежить від місця локалізації продукту — внутріклітинного або неклітинного.

Для внутріклітинних продуктів спочатку здійснюють руйнування клітинної оболонки одним із таких методів:

Дезінтеграція клітин — руйнування клітинної оболонки фізичними методами — роздавлюванням, дією ультразвуку методом різкого зниження тиску (декомпресією) або хімічними й біотехнічними методами. Найбільш часто використовують:

– *ферментоліз* — руйнування клітинних оболонок під дією ферментів при підвищеній температурі.

– *гідроліз* — руйнування клітинних оболонок під дією хімічних реагентів

та температур.

– *автолиз* — різновидність ферментолізу, коли використовують ферменти цієї ж клітини.

Після проведення попередньої операції руйнування клітин, виділення цільового продукту здійснюється із розчину методами, котрі є загальними для позаклітинних і внутрішньоклітинних продуктів і містять такі методи:

– *екстракція* — перехід цільового продукту з водної фази в незмішану з водою органічну рідину (екстрагент — бензин, хлороформ, ефір, бутилацетат). Екстракція прямо із твердої фази (зокрема їх біомаси мікроорганізмів) має назву екстрагування;

– *осадження* — виділення цільового продукту шляхом додавання до рідини реагенту, який взаємодіє з розчиненим продуктом, переводячи його в тверду фазу;

– *адсорбція* — переведення розчиненого в рідині продукту в тверду фазу шляхом його сорбції на спеціальних твердих носіях (сорбентах);

– *іонний обмін* — такий же, як і адсорбція, але в цьому випадку в тверду фазу переходять іони (катіон та аніон), а не цілком молекула цільового продукту або домішок;

– *відгін, ректифікація* — ці методи використовують для виділення розчинених у культуральній рідині легко киплячих продуктів (етиловий спирт);

– *ультрафільтрація, нанофільтрація і повернений осмос* — використовують для виділення високомолекулярних з'єднань (білків, поліпептидів, полінуклітидів). Нанофільтрація і повернений осмос дозволяють відокремити також невеликі за розміром молекули;

– *центрифугування, ультрацентрифугування* — використовують для виділення вірусів, клітинних органел, високомолекулярних з'єднань.

На цій стадії виділення продукту головне завдання — відокремити головну частину продукту, можливо неочищеного, с певними домішками. У випадку, коли необхідно отримати біопродукт високої якості, додають ще стадію очищення продукту.

Очищення продукту. Завдання цієї стадії — видалення домішок та одержання максимально чистого продукту.

Для цього використовують процеси, багато з яких ми розглянули, це — екстракція, екстрагування, адсорбція, іонний обмін, ультрафільтрація, повернений осмос, ректифікація і ферментоліз.

Крім цих процесів використовується:

– *хроматографія* — процес, який нагадує адсорбцію, але відрізняється тим, що на твердому сорбенті відокремлюється кілька здебільш близьких за структурою речовин (суміші білків, нуклеотидів, цукрів, антибіотиків) і виходять вони з сорбенту ніби разом, що дозволяє їх розділити й очистити один від одного;

– *діаліз* — процес, у якому крізь напівпроникну перегородку можуть проходити низькомолекулярні речовини, а високомолекулярні залишаються (очищення вакцин і ферментів від солі й низькомолекулярних розчинних домішок);

– *кристалізація* — процес, що ґрунтується на різній розчинності речовини при різних температурах. Повільніше охолодження дозволяє формувати кристали високої чистоти (розчинів у воді або розчинників) збільшують чистоту продукту.

Концентрування продукту. Після очищення продукту він часто перебуває у розчині в невеликій концентрації.

На різних біотехнологічних стадіях концентрація цільового продукту змінюється таким чином: не виходячи з біотехнологічної стадії суспензія має приблизно 0,1–1 % цільового продукту, після стадії відокремлення біомаси – 0,1–2 %, після стадії виділення — 1–10 %, після очищення 50–80 %, після концентрування — 90–100 %.

На стадії концентрування використовують випарювання, сушення, осадження, кристалізацію з фільтрацією добутих кристалів, ультрафільтрацію, нанофільтрацію, «віджимання» розчинника з розчину.

Добуток готової форми продукту. Кінцева стадія, на якій продукт набуває товарної форми, за рахунок таких процесів, як гранулювання (формування прямо з розчину), таблетування, розлив або фасування, ампулювання.

Таким чином ми розглянули загальну схему біотехнологічного виробництва. Це виробництво на окремих стадіях має певні стоки і викиди в атмосферу. Очищення стоків – це окреме біотехнологічне виробництво, яке має велику кількість стадій (підготовчу, біотехнологічну, відстоювання, додаткове очищення, переробку осадку). Очищена вода може повертатися у виробництво.

Продукти біотехнології відрізняються не тільки кольором, смаком, запахом, хімічним складом, але й місцем, яке посідають у типовій технологічній схемі.

За цією ознакою продукти кваліфікують таким чином:

1. Продуктом є гази зі стадії ферментації (CO_2 у спиртовому виробництві, біогазу в переробці відходів шляхом метанового бродіння, H_2 при культивуванні фототрофів, очищений газ, коли його пропускають крізь біофільтр).

2. Продукт — середовище ферментації (культуральна рідина разом з мікроорганізмами – кефір, йогурт; твердий субстрат – сир або ферментована із закваскою ковбаса).

3. Концентрат культуральної рідини – випарений або висушений (кормовий лізин, харчові антибіотики).

4. Рідина, що виникає після відділення біомаси від культуральної рідини (може бути готовим продуктом – пиво, вино, квас). Ця рідина має назву залежно від засобу розділення – висвітлена, фільтрат та інше.

5. Концентрат рідини, який добувають випарюванням, сушенням, ультрафільтрацією.

6. Біомаса інактивована (харчові дріжджі, які пройшли теплову стерилізацію).

7. Біопрепарат — життєздатна біомаса мікроорганізмів (пекарські дріжджі, бактеріальні речовини захисту рослин, силосні закваски, бактеріальні добрива).

8. Послаблена біомаса мікроорганізмів – (живі вакцини – клітини

патогенних мікроорганізмів, які піддаються обробці теплими або хімічними реагентами для зниження їх патогенності).

9. Позаклітинний біопродукт – легкокипляча рідина (етанол, виділений із середовища відгонкою або ректифікацією).

10. Позаклітинний біопродукт – тверда речовина або висококипляча рідина, розчинена в культуральній рідині (багато антибіотиків, чисті харчові або медичні амінокислоти, лимонна кислота).

11. Внутрішньоклітинний продукт різного ступеня очищення (антибіотики, вітаміни, нукліотиди).

12. Перероблена біомаса мікроорганізмів (гідролізати, фірменталізатори як джерело харчування тварин або смакові добавки; клітинні оболонки мікроорганізмів використовують як сорбент для очищення соків, вина).

13. Очищений від забруднення потік рідини (при очищенні стічних вод).

14. Очищене від забруднення тверде середовище (грунт при мікробіологічному очищенні його від нафтових забруднень).

15. Рідке середовище (культуральна рідина) з екстрагованими (вилуженими) з твердої фази компонентами (бактеріальне вилуговування металів із руд, мікробіологічне знесірчення вугілля та нафти)

16. Середовище ферментації (як правило, напівтверде), яке збільшило свій обсяг за рахунок виділення газів мікроорганізмами (хліб, сир).

Для багатьох перерахованих видів продукту технологічна схема буде скорочена, за винятком однієї або кількох стадій. Це встановлюється:

- цільовим завданням;
- властивостями мікроорганізмів;
- властивостями сировини;
- властивостями готового продукту.

Приклади схем біотехнологічних виробництв. Блок-схема відображає послідовність технологічних стадій при одержанні продукту. Нижче наведені приклади схем біотехнологічних виробництв.

Виробництво біогазу. Блок-схема цього процесу значно коротша ніж загальна типова схема. У цьому процесі є дві підготовчі стадії: стадія метанового бродіння (біотехнологічна), сушення як стадія концентрування, компримування біогазу як утворення його готової форми, підготовка сировини (рис. 2.2).

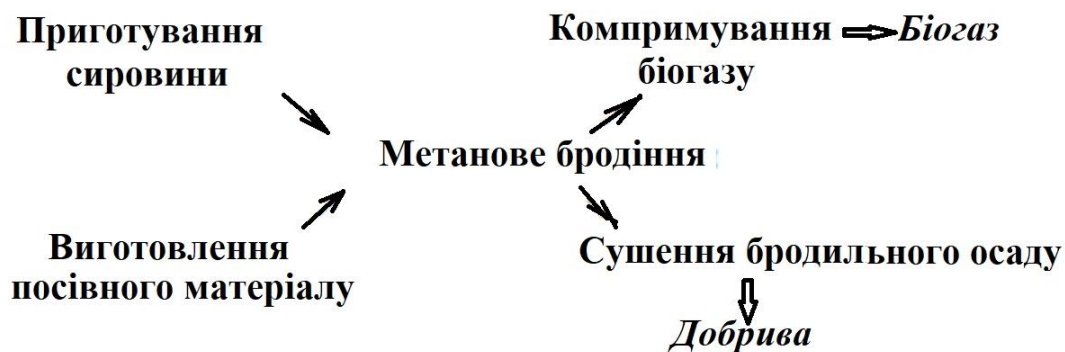


Рисунок 2.2 – Блок-схема виробництва біогазу

Виробництво йогурту (рис. 2.3). У виробництві йогурту є дві підготовчі стадії: одна біотехнологічна, інша – стадія приведення продукту до готової форми (розлив).

Пастеризація молока

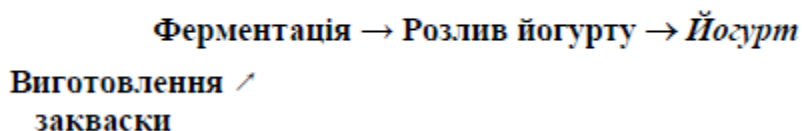


Рисунок 2.3 – Блок-схема виробництва йогурту

Екологічні аспекти біотехнологічного виробництва.

Сучасне біотехнологічне виробництво є більш екологічним, ніж хімічне виробництво тому, що:

– в основі його міститься використання біологічних об’єктів, що є збалансованим комплексом біокаталізаторів;

– значно менше витрачають води;

– менш енергоємні;

– мають менше виробничих відходів.

Але й біотехнологічне виробництво має необхідність покращення, а саме:

– одержання та використання більш активних, іммобілізованих біооб’єктів-продуцентів;

– мембранних технологій на стадії виділення та очищення цільового продукту;

– менш дефіцитних середовищ та реагентів.

Екологічні проблеми біотехнологічних виробництв, насамперед, полягають в утилізації або очищенні виробничих відходів твердих, рідинних та газоподібних тощо.

До твердих відходів належить, насамперед, біомаса продуцента, яка відокремлена від культуральної рідини та цільового продукту, представленого біологічно активною речовиною. Обсяг цих відходів з одного підприємства досягає сотні тонн на рік.

На сучасних виробництвах такі відходи змішують з ґрунтом і закладають на кілька років у закриті ями з бетонними стінками та підложками, для ферментативного розщеплення з утворенням компосту. Ці ями, зазвичай, розташовують на території виробництва.

Можливе додаткове використання відходів біомаси. Наприклад, певні відходи біомаси після стерилізації додають до корму тваринам. Відходи виробництва антибіотиків можна застосовувати для підвищення якості керамзиту та цегли. Але ці процеси в більшості тільки розробляються й малоекономічні. Рідинні відходи являють собою культуральну рідину після відділення від неї біомаси та цільового продукту. Обсяг цих стоків для одного виробництва досягає кількох десятків тисяч кубометрів. Метою очищення є можливість зливання її у відкриті водоймища. Залежно від природи

забруднювальних речовин схема біологічного очищення може змінюватися. Основою майже всіх систем такого очищення є біологічне очищення з використанням активного мулу.

Активний мул становить собою біоценоз багатьох мікроорганізмів, які мають комплекс ферментів для здійснення окиснення різних речовин. Видовий склад мікроорганізмів активного мулу різниться залежно від хімічного складу відходів.

Таке очищення містить:

– відстоювання культуральної рідини з виділенням забруднюючої речовини у вигляді осаду (до 40 % від початкової кількості);

– окиснення речовин рідини до CO_2 та H_2O в одному або кількох послідовно розміщених аеротенках за умов постійного збовтування пухирцями повітря (до 50% від початкової кількості);

– окислення важкоокислювальних речовин за допомогою біофільтрів, які утворені іммобілізованими клітинами мікроорганізмів (до 10 % від початкового вмісту).

Очищена вода за необхідністю хлорується та надходить до водоймища.

Газові відходи очищуються у спеціальних колонках з неорганічними каталізаторами при температурі від 300 до 1000 °С, при цьому утворюється CO_2 . Іноді використовують біологічні фільтри на основі мікроорганізмів з високими окиснювальними можливостями.

? Питання для самоконтролю:

1. Основною стадією біотехнологічного виробництва є...
2. В чому полягає сутність біотехнологічної стадії?
3. Яке головне завдання біотехнологічної стадії?
4. Які технологічні процеси містить біотехнологічна стадія?
5. Вихідними протоками біотехнологічної стадії, звичайно, є...
6. Які процеси використовують на стадії підготовки?
7. Які процеси використовують на стадії розділення рідини й біомаси?
8. Від чого залежить виділення продуктів біосинтезу?
9. Яке завдання стадії очищення продукту?
10. Яким чином змінюється на різних біотехнологічних стадіях концентрація цільового продукту?
11. В чому полягають екологічні проблеми біотехнологічних виробництв?

2.2 Основи генної інженерії

Генна інженерія – це метод біотехнології, який займається дослідженням перебудови генотипів. Генотип – це не просто механічна сума генів, а складна система. Генна інженерія дозволяє шляхом операцій в пробірці переносити генетичну інформацію з одного організму в інший. Перенесення генів дає

можливість долати міжвидові бар'єри і передавати окремі спадкові ознаки одних організмів іншим.

Останнім часом у розробці біотехнологічних процесів все ширше застосовують методи генетичної інженерії, які дають можливість одержати різноманітні сполуки і препарати. Генна інженерія здійснює:

- синтез генів поза організмом, видалення з клітин і перебудову окремих генів;
- копіювання і розмноження виділених або синтезованих генів;
- введення генів або їхніх груп у геном інших організмів
- експериментальне поєднання різних геномів у одній клітині.

Вторгнення в ДНК для науковців є інструментом, що дозволяє змінювати життя, робити його гнучким до вимог технічного середовища. Генна інженерія дозволяє поводитися із життям як із технікою. Справді генну інженерію можна назвати завершальним етапом адаптації до світу машин.

Формально датою народження генної інженерії можна вважати 1972 рік, коли американці Герберт Бойер, Пол Берг і Стенлі Коен запропонували новаторський підхід об'єднання біохімії з біотехнологіями, вони розробили рекомбінантну ДНК, яка поєднала ДНК людини та бактерії. Вчені винайшли спосіб перетворення бактерій у «фабрики» по виготовленню таких важливих для людини білків як інсулін та гормон росту.

Технологія рекомбінантних ДНК (молекулярне клонування, генна інженерія) – сукупність експериментальних процедур, які дозволяють проводити перенесення генетичного матеріалу (ДНК) з одного організму у другий.

Створенню методики рекомбінантних ДНК передували відкриття у галузях молекулярної біології, ензимології нуклеїнових кислот, молекулярної генетиці вірусів та поза хромосомних елементів бактерій.

Приблизна схема отримання рекомбінантних ДНК:

1. З організму донора екстрагують нативну ДНК, з наступним ферментативним гідролізом (розрізають) та з'єднують (лігують) з іншою ДНК (клоную чим вектором), в результаті чого отримують рекомбінантну молекулу (конструкція «вектор-ДНК»).

2. Цю конструкцію вводять у клітину-господаря (реципієнт), там вона реплікується та передається нащадкам. Цей процес називається трансформацією.

3. Ідентифікація та відбір клітин, які несуть рекомбінантну ДНК.

4. Синтез клітинами-господарями специфічного білкового продукту, що є підтвердженням клонування необхідного гена .

Конструювання рекомбінантних молекул можливо лише за умов використання великої кількості ферментів, які є обов'язковими та незамінними інструментами у процесі отримання рекомбінантних ДНК.

Для перенесення синтезованих або виділених генів, крім вірусів, використовують і плазміди (переважно одержані з клітин бактерій). Плазміди – позахромосомні фактори спадковості, найчастіше являють собою кільцеві молекули ДНК прокариотів (наприклад, генетичний апарат мітохондрій і хлоропластів). З клітин, які містять у своєму геномі певний ген, виділяють

молекулу РНК, на якій, як на матриці, синтезують комплементарний ланцюг ДНК. Так виникає ДНК-РНК-комплекс, з якого РНК вилучають, а на ланцюзі ДНК, що залишився, за принципом комплементарності синтезують другий. Створену таким чином молекулу ДНК вбудовують у молекулу ДНК плазмід, яка слугує переносником. Іншим способом є фрагментація молекули ДНК, яка підлягає перенесенню. Утворені фрагменти молекули ДНК сполучають з молекулою ДНК переносника, яку перед цим переводять у лінійну форму. Крім того, переносять із клітини в клітину еукаріотів метафазні хромосоми. Такі хромосоми звичайно розпадаються на фрагменти, одні з яких втрачаються, а інші вбудовуються у хромосому клітини-хазяїна і там функціонують.

Об'єктами досліджень генної інженерії є переважно прокариоти, хоча вчені працюють і з генами еукаріотів. Наприклад, у геном бактерій було введено гени пацюка і людини, які відповідають за синтез гормону інсуліну, і бактерії почали синтезувати цей гормон. Методами генної інженерії одержані білки-інтерферони, які захищають організм людини і тварин від вірусних інфекцій, гормон росту тощо. Щорічно зростає перелік медичних препаратів, одержаних за допомогою методів генетичної інженерії.

Перед генною інженерією, незважаючи на її молодість, відкриваються значні перспективи. Крім розв'язання перелічених вище питань, у майбутньому генетична інженерія буде здатна вирішувати і глобальніші завдання. Серед них: видалення дефектних алелей на найранніших етапах індивідуального розвитку і заміна їх нормальними, поєднання в одному геномі генів різних організмів тощо. Наприклад, перенесення з клітин азотфіксуючих бактерій генів, які відповідають за фіксацію атмосферного азоту, в клітини вищих рослин, значно скоротило б витрати на виробництво і внесення в ґрунт нітратних добрив.

Генетична перебудова рослин і тварин.

Багатоклітинні організми теж можна змінювати за допомогою генної інженерії. Генетично перебудовані з використанням методів генної інженерії організми прийнято називати трансгенними.

Виведення трансгенних організмів є перспективною альтернативою традиційним методам селекції тварин та рослин. Поліпшення сортів рослин і порід тварин у традиційний спосіб — тривалий процес, який потребує 7–12 років. Генна інженерія дає змогу створювати нові форми рослин і тварин з потрібними людині властивостями лише за кілька років. Трансгенні рослини чи тварини, як і бактерії, можуть стати дешевим і простим засобом виробництва достатньої кількості різноманітних корисних продуктів, і не тільки харчових.

Цю технологію використовують для виведення поліпшених сортів томатів, картоплі, кукурудзи, рису, цукрового буряка та інших рослин. Такі сорти продуктивніші, дають продукцію з підвищеним вмістом певних речовин (білків, жирів, вуглеводів тощо), а головне, є стійкими проти збудників хвороб і комах-шкідників. Ця особливість сприяє зменшенню забруднення біосфери отрутохімікатами, які широко застосовують у сучасному рослинництві.

Один із перших успішних експериментів зі створення трансгенних тварин було здійснено на мишах. У геном миші вбудували ген, що кодує гормон росту щура. Такі трансгенні миші росли в 2–3 рази швидше, ніж їхні родичі, що не

мали чужого гена, і досягали приблизно удвічі більших розмірів. Для створення трансгенних тварин використовують різні методи введення ДНК: за допомогою вірусів; мікроін'єкції в яйцеклітини, стовбурні клітини; фагоцитоз та ін.

Водночас одностайної думки про генну інженерію, генетично модифіковані продукти в науковому світі немає.

Модифіковані методами генної інженерії бактерії здатні продукувати певні необхідні речовини (інсулін, гормон росту людини, коров'ячий соматотропін та ін.), чого в нормальних умовах вони робити не здатні.

Інсулін — гормон білкової природи, який утворюється в підшлунковій залозі і відіграє життєво важливу роль у регуляції вмісту цукру в крові. Недостача інсуліну є причиною цукрового діабету — тяжкого захворювання, через яке потерпає приблизно 3% населення земної кулі. Натепер більше 2 млн. хворих на діабет у всьому світі користуються для лікування інсуліном, одержаним за допомогою модифікованих бактерій, у геном яких вбудовано ген інсуліну людини.

Гормон росту людини — білок, що виробляється гіпофізом і діє на всі тканини організму. Нестача цього гормону в дитинстві призводить до карликовості з нормальними пропорціями тіла. Для медичних потреб гормон росту отримують за допомогою бактерій з вбудованим в їх геном людським геном, що забезпечує синтез цього білка. Регулярні ін'єкції гормону росту хворим дітям відновлюють їхній зріст майже до нормального рівня.

Коров'ячий соматотропін — це гормон, подібний до гормону росту людини. Він теж виробляється в гіпофізі та стимулює поділ клітин у тілі тварин. Ген, що кодує коров'ячий соматотропін, був вбудований у геном бактерії. Ін'єкції навіть невеликих доз соматотропіну коровам збільшують продукування молока на 25 %, а масу худоби, вирощуваної на м'ясо, — на 10—15 %. Після припинення ін'єкцій маса корів та їх удійність поверталися до початкового рівня.

За допомогою генної інженерії стало можливим створення бактерій, здатних очищати поверхню водоймищ від нафтового забруднення. Спосіб хімічного очищення, який нині застосовують, надзвичайно шкідливий для живої природи. Проводяться успішні випробування створених штучно бактерій, які здатні руйнувати вуглеводні сполуки нафти.

Більшість науковців вважає, що випуск генетично модифіковані продукти у навколишньому середовищі можуть спричинити незворотну шкоду біологічному різноманіттю екосистем, а також здоров'ю людей та тварин. Ця група науковців, беручи до уваги обмеженість наших знань про природу ризику від ГМО, закликає уряди ввести 5-річний мораторій на комерційне застосування ГМО, щоб забезпечити необхідний час для більш інтенсивного моніторингу.

Генномодифіковані продукти — це продукти, які отримані за рахунок змін генетичного апарату живих організмів. Всі продукти, які використовуються в сільському господарстві, вони всі отримані за рахунок технологій, які змінюють генетичний апарат. Це є традиційна селекція, а зараз це є методи генетичної інженерії, які цю селекцію значно пришвидшують. Чому

виникла потреба у генномодифікованих продуктах? Є потреба у в збільшенні сільськогосподарських продуктів для того, щоб вирішити продовольчу проблему, яка є досить гострою в світі. Традиційними способами вже це важко зробити.

Чому стільки непорозумінь та застережень до генномодифікованої продукції у громадськості?

Перша причина – це слабка обізнаність з природою цих продуктів. А по-друге є це результат конкурентної боротьби отих фірм, які отримують продукти сільського господарства традиційними підходами.

Чи є майбутнє за цими продуктами? Вони є важливі для вирішення продовольчих програм. Вони повинні бути відповідно позначені і люди повинні мати право вибору цих продуктів: купувати їх чи не купувати, вживати чи не вживати.

Один із найперспективніших напрямів генної інженерії — продукування рідкісних і дорогих білків, уживаних у медицині, з молока трансгенних корів або овець, наприклад одержання з молока трансгенних овець білка, який ефективно лікує спадкову емфізему легенів людини, спричинену мутацією гена. Трансгенних тварин отримали шляхом введення в їх геном нормального алеля цього гена людини.

Вбудовування людського гена у геном вівці було використано і при одержанні ферменту згортання крові, відсутність якого спричинює один із видів гемофілії. Генетики працюють над отриманням таким самим шляхом фібриногену — основного білка системи згортання крові. Його планують використовувати як клей для з'єднання тканин після хірургічних операцій.

Клонування. Створення численних генетичних копій одного індивіда за допомогою безстатевого розмноження називають клонуванням.

У хребетних тварин цей процес природним шляхом не відбувається. Проте, пересадивши ядро з клітини кишечника або шкіри жаби в яйцеклітину, власне ядро якої було зруйновано ультрафіолетовими променями, у 60-ті роки ХХ ст. в Оксфордському університеті вдалося виростити пуголовка, що перетворився потім на жабу, ідентичну батьківській особині, від якої взяли ядро.

Подальші подібні експерименти довели, що диференційовані клітини (клітини різноманітних специфічних тканин тіла) містять усю інформацію, необхідну для розвитку повноцінного організму. А наприкінці ХХ ст. у Шотландії успішно клонували високоорганізовану хребетну тварину — вівцю Доллі — з клітини материнського вимені.

Клонування тварин — перспективний напрям. Можна, наприклад, використовувати зародки тварин на стадії кількох клітин і, розділивши такий зародок на окремі клітини, одержати певну кількість генетично ідентичних (однакових) організмів. Цей процес повторюють багато разів, тому що на цій стадії клітини ще не досягають необоротної спеціалізації. У такий спосіб створюють безліч ідентичних копій однієї тварини, що має цінні ознаки. Потім зародки можна пересадити в матку замісних матерів для виношування плода та народження тварин із бажаними ознаками. Клонування зародків перспективне у

тваринництві, наприклад при розведенні великої рогатої худоби, овець та кіз. Воно прискорює отримання будь-якої кількості тварин від бажаних материнських особин.

Клонування людини вперше здійснено в США в 1993 р., проте клоновані зародки були доведені лише до стадії кількох клітин, щоб довести, що в принципі це можливо. Подальші дослідження призупинено з етичних міркувань.

З початку становлення генної інженерії учені усвідомлювали, як важливо зважати на потенційну небезпеку та етичні проблеми, пов'язані з розвитком нової галузі біології.

Першим дозволеним до продажу харчовим продуктом були трансгенні томати. У суспільстві це спричинило полеміку щодо безпечності трансгенних харчових продуктів. Одна з основних проблем пов'язана з наявністю в геномі модифікованих томатів гена стійкості до антибіотика канаміцину, який відіграє роль маркера для виявлення трансформованих клітин. Унаслідок споживання плодів таких томатів ген стійкості проти антибіотика може потрапити в геном бактерії *Escherichia coli*, що живе в кишечнику людини. Оскільки бактерії виводяться з організму разом з фекаліями, ген може поширитися в навколишньому середовищі та передатися іншим хвороботворним бактеріям, які, потрапивши в організм людини, виявляться стійкими до антибіотиків. Однак насправді ген томату разом з усією ДНК розщеплюється в травному каналі людини. Навіть якщо цього не трапиться, вірогідність того, що ген пройде через серію організмів, надзвичайно мала. Крім того, гени стійкості до деяких антибіотиків, на жаль, уже поширені в навколишньому середовищі.

Ще одним прикладом подібно модифікованих рослин є впроваджена у виробництво кукурудза, яка містить бактеріальний ген, що підвищує її стійкість до шкідників та хвороб, а також маркерний ген стійкості до антибіотика ампіциліну. У зв'язку з протестами громадськості дослідники шукають способи видалення небажаних маркерних генів після здійснення трансформації. Існує теоретична ймовірність, що транс генні рослини можуть передавати спорідненим бур'янам шляхом схрещування стійкість до гербіцидів, хвороб, засухи та інших несприятливих чинників. Унаслідок цього можуть утворитися так звані супербур'яни, з якими буде дуже важко боротися і які заповнять сільськогосподарські угіддя.

Усупереч побоюванням, обсяги вирощування та використання генетично модифікованих організмів у багатьох країнах зростають. Досі помітного шкідливого впливу на здоров'я людини, свійських тварин та біосферу загалом зафіксовано не було.

Люди часто вважають, що мають право модифікувати інші організми заради власної користі. Проте останнім часом такий антропоцентризм зазнає все більшої критики. Крім того, невідомо, до чого може призвести введення генів людини в геноми лабораторних тварин — таку методику широко використовують для вивчення молекулярних механізмів багатьох хвороб людини.

Однак виведення генетично модифікованих тварин для потреб сільського

господарства, фармакології та медицини — реалії сучасного життя, і подальші зусилля генетиків мають бути спрямовані на гарантування безпечності трансгенних організмів для людини та біосфери.

Таким чином, генна інженерія це конструювання *in vitro* функціонально активних генетичних структур тобто створення штучно генетичних програм.

Основне завдання прикладної генної інженерії – конструювання рекомбінантних ДНК, які можуть надати клітинам-реципієнтам здатність до синтезу таких речовин як гормони, інсулін, інтерферон, урокіназу та ін.

? Питання для самоконтролю:

1. Генна інженерія – це...
2. Генна інженерія здійснює...
3. Технологія рекомбінантних ДНК це...
4. Які об'єкти досліджень генної інженерії?
5. Як називають генетично перебудовані з використанням методів генної інженерії організми?
6. Які продукти є генномодифікованими?
7. Які найперспективніші напрямки генної інженерії?
8. Клонування тварин це...

2.3 Основи клітинної інженерії

Промислове вирощування клітин та тканин – продуцентів економічно важливих речовин – порівняно нове направлення біотехнології. Якщо традиційні біотехнології для отримання цінних біологічно активних речовин використовували цілі організми: мікроорганізми, рослини, тварини, то сучасна біотехнологія націлена на клітинні технології, які основані на культивування вільних та іммобілізованих клітин. Доведена можливість культури клітин здійснювати біотрансформацію, тобто синтезувати деякі біологічно активні речовини із дешевих та доступних їх попередників. Ці «напівпродукти» вторинних речовин не можуть бути перетворені хімічним або мікробіологічним шляхом, і тільки завдяки ферментам клітин в культурі проходить їх хімічне перетворення в цінний кінцевий продукт.

Сфери застосування культур рослинних клітин. Культури клітин вищих рослин мають дві сфери застосування:

1. Вивчення біології клітини, яка існує поза організмом, зумовлює провідну роль клітинних культур у фундаментальних дослідженнях з генетики і фізіології, молекулярної біології і цитології рослин. Популяціям рослинних клітин притаманні специфічні особливості: генетичні, епігенетичні (залежні від диференційованої активності генів) і фізіологічні. При тривалому культивуванні гетерогенної за цими ознаками популяції відбувається

розмноження клітин, фенотип і генотип яких відповідають даним умовам вирощування, отже, популяція еволюціонує. Усе це дозволяє вважати, що культури клітин є новою експериментально створеною біологічною системою, особливості якої поки мало вивчені. Культури клітин і тканин можуть служити адекватною моделлю при вивченні метаболізму і його регуляції в клітинах і тканинах цілої рослини.

2. Культивовані клітини вищих рослин можуть розглядатися як типові мікрооб'єкти, досить прості в культурі, що дозволяє застосовувати до них не тільки апаратуру і технологію, але й логіку експериментів, прийнятих в мікробіології. Разом з тим, культивовані клітини здатні перейти до програми розвитку, при якій з культивованої соматичної клітини виникає ціла рослина, здатна до росту і розмноження.

Можна назвати кілька напрямів створення нових біотехнологій на основі культивованих тканин і клітин рослин:

1. Отримання біологічно активних речовин рослинного походження: традиційних продуктів вторинного метаболізму (токсинів, гербіцидів, регуляторів росту, алкалоїдів, стероїдів, терпеноїдів, що мають медичне застосування); синтез нових незвичайних сполук, що можливо завдяки вихідній неоднорідності клітинної популяції, генетичної мінливості культивованих клітин і селективного відбору клітинних ліній із стійкими модифікаціями, а в деяких випадках і спрямованому мутагенезу; культивовані в суспензії клітини можуть застосовуються як мультиферментні системи, здатні до широкого спектру біотрансформацій хімічних речовин (реакції окислення, відновлення, гідроксилювання, метилювання, деметилювання, глікозилювання, ізомеризації). У результаті біотрансформації отримують унікальні біологічно активні продукти на основі синтетичних сполук або речовин проміжного обміну рослин інших видів.

2. Прискорене клональне мікророзмноження рослин, що дозволяє з одного екпланта отримувати від 10000 до 1000000 рослин на рік, причому всі вони будуть генетично ідентичні.

3. Отримання безвірусних рослин.

4. Ембріокультура і запліднення *in vitro* часто застосовуються для подолання постгамної несумісності або щуплості зародка, для отримання рослин після віддаленої гібридизації. При цьому запліднена яйцеклітина вирізається із зав'язі з невеликою частиною тканини перикарпа і поміщається на поживне середовище. У таких культурах можна також спостерігати стадії розвитку зародка.

5. Антерні культури – культури пиляків і пилку використовуються для отримання гаплоїдів і дигаплоїдів.

6. Клітинний мутагенез і селекція. Тканинні культури можуть виробляти регенеранти, які за фенотипом і генотипом відрізняються від вихідного матеріалу в результаті соматонального варіювання. При цьому в деяких випадках можна обійтися без мутагенної обробки.

7. Кріоконсервація та інші методи збереження генофонду.

8. Імобілізація рослинних клітин.

9. Соматична гібридизація на основі злиття рослинних протопластів.
10. Конструювання клітин шляхом введення різних клітинних органелл.
11. Генетична трансформація на хромосомному і генному рівнях.
12. Вивчення системи «господар – паразит» з використанням вірусів, бактерій, грибів і комах.

Клітинна (тканинна) інженерія — галузь біотехнології в якій застосовують методи виділення клітин з організму і перенесення їх на поживні середовища, де вони продовжують жити і розмножуватися. Крім того, клітинна інженерія здійснює гібридизацію соматичних клітин організмів різних видів, родів, родин тощо. Тобто здійснює схрещування організмів, яке неможливо зробити іншим способом (людини і миші, людини і моркви, курки й дріжджів тощо). Гібридизація нестатевих клітин дає змогу створювати препарати, які підвищують стійкість організмів проти різних інфекцій, а також лікують ракові захворювання.

Вперше культуру тканин барвінку рожевого отримав Уайт у 1945 році. Вирощування культури тканини відбувається значно швидшими темпами у порівнянні з ростом цілої рослини. Наприклад, корінь женьшеню масою 50 г у природних умовах виростає при значних затратах праці за 6 років, а в колбі тканину такої ж маси отримують за 7–8 тижнів.

Кожній тканині притаманний певний рівень мітотичної активності, зміна якого нерідко має чітко виражений ритмічний характер. В експерименті необхідно враховувати, в який час доби спостерігається максимальна кількість мітозів у досліджуваній тканині. У багатьох рослин максимум мітозів відзначається вночі, а мінімум — вдень. Було встановлено, що в моменти інтенсивного поділу клітин відбувається активне накопичення алкалоїдів у тканинах, яке поступово знижується по мірі зменшення мітотичної активності і досягає мінімуму під час інтенсивного розтягнення клітин.

При цьому в залежності від сезону приріст біомаси (дурман індійський та скополія гімалайська) мало змінюється, але значно коливається кількісний вміст діючих речовин.

Кожна окрема культура ізольованих тканин має свої цитологічні, генетичні, морфологічні й синтетичні особливості. Тому необхідно всебічно вивчати кожен культуру — продуцент діючих речовин.

Передумовами для організації культури клітин і тканин вищих рослин у біотехнологічній промисловості є:

- їхня здатність синтезувати продукти рослинного походження, що традиційно використовуються. Це алкалоїди, глікозиди, тритерпеноїди, стероїди, феноли, вітаміни, природні барвники (пігменти) тощо;
- можливість утворення принципово нових продуктів, що перевищують за якістю традиційні;
- здатність трансформувати дешеві попередники на кінцевий цінний продукт.

При вирощуванні клітинних культур вищих рослин можна успішно використовувати методи і техніку мікробіологічного виробництва. Культура клітин, для того щоб стати об'єктом промислового вирощування, повинна

витримати конкуренцію з дикоростучими та культурними лікарськими, технічними рослинами, а також з мікробіологічним виробництвом та хімічним синтезом. В порівнянні з традиційною рослинною сировиною клітинні культури мають ряд переваг:

- незалежність від впливу різних факторів навколишнього середовища (клімат, пора року, погода, ґрунтові умови, шкідники);
- більш високий вихід і якість продукції завдяки оптимізації та стандартизації умов вирощування;
- економія посівних площ.
- перспективи повної автоматизації та комп'ютеризації процесів.

Культура тканин вищих рослин має велике значення для швидкого клонального (нестатевого) мікророзмноження рослин *in vitro*, строго тотожних із вихідними рослинами. Найлегше викликати утворення тканин та органів і регенерацію рослин, стійких до вірусів, використовуючи зародки і бруньки, а також стеблові меристеми.

Для культивування ізольованих клітин і тканин вищих рослин застосовуються як агаризовані, так і суспензійні середовища. При вирощуванні в суспензійному середовищі значно скорочується цикл технологічного процесу. Однак необхідність постійно перемішувати суспензійні культури, а також продувати стерильне повітря вимагає спеціальної апаратури, що, звісно, ускладнює процес. Тому вирощують культури в рідкому поживному середовищі на «підкладках».

Унікальною моделлю для вивчення фундаментальних проблем фізіології рослин, таких, наприклад, як транспорт поживних речовин у клітині, склад і механізм регенерації клітинної стінки, моделювання метаболізму за відсутності міжклітинних зв'язків, слугують ізольовані протопласти.

Важливою галуззю практичного застосування протопластів є отримання гібридів вищих рослин шляхом злиття протопластів за допомогою соматичної гібридизації. Суть методу полягає у тому, що як батьківські використовуються не статеві клітини (гамети), а вирощені *in vitro* соматичні клітини у вигляді протопластів. Гібридизацію рослинних протопластів успішно здійснюють за певного впливу — або електростимуляцією примушують зливатися один з одним, або мікроін'єкцією РНК однієї клітини в іншу. Гібридні клітини продукують не лише метаболіти вихідних рослин, але й цілком інші. Із гібридних клітин, одержаних таким шляхом, у подальшому регенерують цілі рослини-гібриди.

Цікавим є також утворення штучних асоціацій міжклітинного та внутрішньоклітинного типів на основі культивованих клітин або ізольованих протопластів вищих рослин з мікроорганізмами.

Одним з головних факторів утворення ефективної біотехнологічної системи культури тканин та клітин вищих рослин є правильний вибір поживного середовища, яке б забезпечувало потреби клітин продуцента у хімічних компонентах, необхідних для оптимального біосинтезу цільового продукту.

Однак дослідження останніх років показали, що утворення вторинних

метаболітів, наприклад, алкалоїдів, може швидко змінюватися під впливом стресових факторів. Спостерігали активацію синтезу алкалоїдів у тканині раувольфії зміїної при дефіциті компонентів поживного середовища, гіпоксії, зміні температури та освітлення, *pH* поживного середовища та впливі іонізуючого опромінення. Відповідна реакція клітин часто буває досить швидкою, і вміст деяких алкалоїдів збільшується у десятки разів.

Зміна складу поживного середовища та інших параметрів культивування призводить до зміни не тільки кількісного, але і якісного складу продуктів біосинтезу, в результаті чого можуть бути отримані абсолютно нові сполуки з іншим типом дії. Японські вчені досягли успіхів в отриманні *in vitro* таких нових біологічно активних речовин, як незвичні пептиди, антиканцерогенні сполуки та інші. Наступним кроком в клітинній біотехнології стало використання іммобілізованих рослинних клітин.

Враховуючи, що рослини є джерелом багатьох економічно важливих речовин, а запаси рослинної сировини виснажуються, неважко уявити місце клітинних технологій в майбутньому. Обмеження в створенні високорентабельних технологій виникає завдяки недостатності фундаментальних знань про генетичну, біохімічну, фізіологічну регуляцію вторинного метаболізму в рослинній клітині. Можливі функції вторинних речовин в інтактній рослині до кінця не вивчені, але для більшості з них основною функцією є захист рослин від різних стресових факторів, тобто вони відіграють регуляторну роль, забезпечуючи життєдіяльність організму. Клітини *in vitro* – нова експериментально створена біологічна система, особливості якої в тому числі і функції вторинних сполук, ще мало вивчені. Показано, що іноді у клітин, які культивуються в спеціалізованому об'ємі проявляються особливості, характерні для філогенетично ранніх груп рослин або ювенільної стадії розвитку рослини. Нестача фундаментальних знань дуже гальмує розвиток технології клітин, що культивуються.

Популяція клітин *in vitro* проходить певний онтогенез: розмноження (ділення) – розтягнення – диференціювання – старіння – смерть клітин. Співвідношення клітин, які знаходяться на різних стадіях розвитку, змінюється в залежності від того, який процес переважає. При зміні умов культивування рівновага зміщається в ту чи іншу сторону. Диференціація калусної клітини, яка вийшла із циклу ділення, міститься в її спеціалізації на синтезі видоспецифічних вторинних сполук. Відомості про контроль біосинтезу вторинних метаболітів клітинною диференціацією неоднозначні. В ряді випадків синтез вторинних речовин починається з появою в культурі морфогенних структур, в інших дослідах високий вихід речовин спостерігався в недиференційованій казусній тканині. Також суперечливі відомості про зв'язок синтезу вторинних сполук з ростом клітин. У багатьох культур при періодичному режимі вирощування вторинні метаболіти накопичуються в значних кількостях лише при сповільненні або зупинці росту, проте в окремих випадках синтез продукту сприяє росту клітин. Можливо, механізми та умови, які блокують ділення клітин і активний ріст, є одночасно механізмами активації, які забезпечують синтез ферментів вторинного метаболізму. В будь -

якому випадку перш за все стараються створити оптимальні умови для росту, тобто накопичення біомаси, а потім досліджують вплив цих умов на біосинтез вторинних метаболітів. У випадках коли утворення біомаси не пов'язане з синтезом вторинних речовин, стараються встановити баланс між біомасою та виходом речовини.

Типи культур клітин і тканин. В залежності від способу та умов культивування чи походження клітин виділяють декілька типів культур клітин і тканин (рис. 2.4).

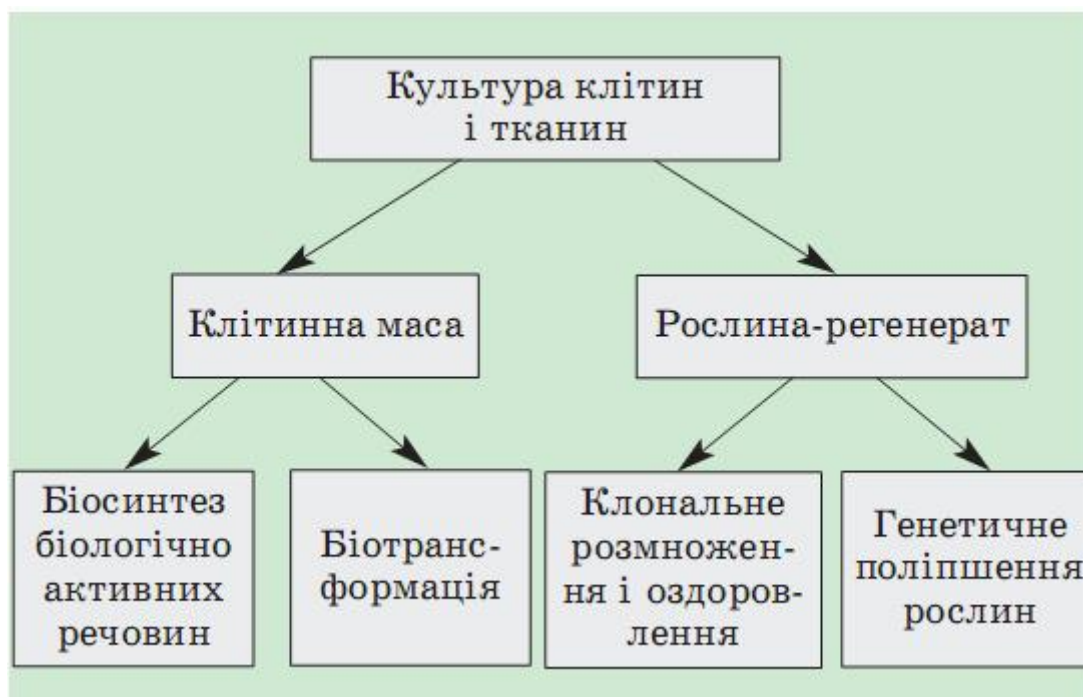


Рисунок 2.4 – Типи культур клітин і тканин.

Культивування рослинних клітин та тканин можна здійснювати поверхневим та глибинним способами. Поверхнєве культивування здійснюється на агарізованому поживному середовищі. У цьому випадку утворюється калюсна тканина, яка може відрізнятися щільністю. Походження та умови вирощування визначають, якою буде калюсна тканина: щільною, середньої щільності чи пухкою. У щільних калюсних тканинах розрізняють зони і редукованого камбію і трахеоподібних елементів. Тканина середньої щільності містить меристематичні зони. У ній легко ініціюються процеси органогенезу. Пухка калюсна тканина містить дуже обводнені клітини, легко розпадається на невеликі групи і тому може бути використана для отримання суспензійної культури.

Глибинний спосіб культивування притаманний суспензійним культурам. Клітинні суспензії можна отримувати з калюсних тканин, а також ізолювати з окремих органів рослин. Для отримання суспензійних культур краще використовувати калюси пухкого типу. Первинний калюс поміщають в рідке поживне середовище і крутять на качалці зі швидкістю 100–120 об/хв. У результаті дезагрегації калюсу утворюються групи клітин (по 5–10 клітин у

групі). Вирощування клітинних суспензій у рідкому поживному середовищі має ряд переваг порівняно з вирощуванням калюсних тканин поверхневим способом. Зокрема, в рідкому середовищі екзогенні фактори рівною мірою доступні кожній клітині, тобто всі клітини в суспензійній культурі знаходяться в однакових умовах, а тому легше направлено впливати на метаболізм і ріст клітинних популяцій екзогенними чинниками. Найбільш поширеним режимом глибинного культивування клітинних суспензій є закрита періодична система. У закритій системі за періодичного режиму вирощування клітинна маса поміщається в певний об'єм середовища. До кінця вирощування система залишається закритою за всіма параметрами, крім газів. Критерієм росту в циклі вирощування слугує збільшення числа клітин. Склад середовища, температура, *pH*, склад газової фази, швидкості перемішування – це ті компоненти, від яких залежать процеси росту клітин.

Етапи робіт по створенню клітинних технологій.

1. Економічно обумовлений вибір об'єкту. Рослини, вибрані для введення в культуру, повинні мати значну кількість цінних, економічно важливих вторинних сполук. Особливо це відноситься до рідкісних та зникаючих видів рослин.

2. Первинне введення тканин в культуру *in vitro*. З даною метою відбирають окремі рослини, які мають найбільший вміст бажаної речовини. Зазвичай спочатку отримують калюси на твердому середовищі.

3. Хімічне вивчення біомаси по кількісному і якісному складу вторинних метаболітів.

Проліферуючі калюсні клітини рослин за рідкісним виключенням містять вторинних сполук менше, ніж органи цілої рослини. Це свідчить про те, що в інтактній рослині синтез вторинних речовин знаходиться під контролем цитодиференціювання. Пригнічення диференціації клітин в культурі призводить до зниження їх біосинтетичного потенціалу у відношенні вторинних сполук. Неповна реалізація генетичних можливостей клітини може бути пов'язана з іншими причинами, наприклад з порушенням автотрофності живлення при переході до гетеротрофного живлення. Крім того, під впливом різних факторів може змінюватись якісний склад продуктів. У деяких рослин перехід до біосинтезу речовин вторинного метаболізму настає при сповільненні росту, для них використовують двохступінчаті режими культивування: спочатку створюють умови для інтенсивного росту клітинної маси, а потім для біосинтезу речовин. Необхідно підкреслити, що визначити дуже низькі концентрації метаболітів в клітинах, які повільно ростуть дуже складно. Тому як експрес метод оцінки калюсних культур останнім часом використовують радіоімунохімічний та імуноферментний методи. Останній має переваги завдяки більш високій швидкості проведення аналізів і можливості їх автоматизації.

4. Оптимізація середовищ і параметрів вирощування.

Для реалізації генетичної інформації, яка відноситься до вторинного обміну, необхідні специфічні умови. Враховуючи, що нема твердої впевненості в тому, що середовища, які використовуються повністю відповідають потребам

клітин, в кожному конкретному випадку необхідно підбирати середовище і інші фактори використовуючи досвід інших дослідників. Ця робота ще більше ускладнюється при переведенні культури в рідке середовище, так як при цьому необхідно враховувати вплив факторів аерації перемішування.

5. Створення продуктивних штамів клітин.

Отримання гомогенної популяції клітин з високим вмістом тих чи інших вторинних речовин – складна задача, так як для популяції довготривалість культивованих клітин, навіть одержаних клонуванням однієї високопродуктивної клітини, може привести до втрати здатності до синтезу цінних сполук. Для підтримання на високому рівні здатності клітин до видоспецифічних біосинтезів, крім оптимізації умов вирощування, необхідні значні зусилля включаючи генетичні маніпуляції з ними і клітинну селекцію. Для організації рентабельного великомасштабного виробництва на основі клітинної технології потрібні мутанти, невимогливі до поживних середовищ, а також стійкі до осмотичного та механічного стресу. Отримання мутантів і варіантів в культурі клітин набуває все більшого поширення. Так обробка калюсних клітин рауфольфії зміною етилен аміном дала можливість одержати клітинну лінію, яка відрізнялась високим вмістом анти аритмічного алкалоїду аймалину. Подальша оптимізація умов вирощування цієї лінії призвела до збільшення продуктивності культури аймалину в 10 раз в порівнянні з цілою рослиною. Більш ефективним прийомом створення продуктивних штамів є штучне конструювання клітин методами клітинної та генетичної інженерії, яким належить майбутнє.

6. Первинне використання кращих штамів.

Первинний калюс, отриманий на твердому середовищі, переводять в рідке середовище. Зміна режиму культивування не повинна призводити до втрат штамом своїх позитивних якостей, тобто штам повинен бути стійким до стресових умов культивування. Особливо це стосується моменту перенесення клітин із умов лабораторного експерименту в невеликих колбах в ферментери великих розмірів. На сучасному етапі в біотехнологічних виробництвах центральна роль належить ферментерам з автоматичною регуляцією різних факторів (температури, газового складу, освітлення кислотності, вмісту фізіологічно активних речовин) на будь-якому етапі розвитку культури.

7. Вирощування продуктивного і стійкого штаму в умовах наближених до виробничих, в ферментерах з послідовним збільшенням їх об'єму. Якщо в таких напівпромислових умовах культивовані клітини зберігають високу швидкість росту і біосинтезу необхідної речовини, накопичують її без деградації і в значних кількостях виділяють в середовище, то такий штам придатний для організації великомасштабного виробництва. Крім того, важливою якістю штаму є його генетична стабільність.

8. Складання технічного регламенту на виробництво біомаси та її оцінка.

Виробнича технологія вимагає відповідної апаратури, яка є безпосередньо в Японії. Так, в 20000-літровому ферментері в безперервній культурі протягом трьох місяців вирощували клітини тютюну, які продукували убіхінон з продуктивністю по біомасі 5,582 г/л в день. Там же налагоджено

великомасштабне виробництво і інших вторинних метаболітів. На сучасному етапі в різних країнах близько ста видів рослин використовуються в біотехнологічній промисловості для отримання економічно важливих речовин, серед них женьшень, рауфольфія зміїна, наперстянка шерстиста та пурпурова, діоскорея дельтовидна, воробійник, беладонна, пасльон дольчатий, дурман звичайний, конвалія, кліщовина, агава, аммі зубна, мак снотворний та інші.

Завдяки вирощуванню нестатевих клітин певних видів організмів на поживному середовищі створюють культуру клітин (тканин) для отримання цінних речовин, що значно знижує собівартість лікарських препаратів (наприклад, препарати лікарської рослини женьшеню).

? Питання для самоконтролю:

1. На які технології націлена сучасна біотехнологія?
2. Які сфери застосування культур рослинних клітин?
3. Які напрями створення нових біотехнологій на основі культивованих тканин і клітин рослин?
4. Клітинна (тканинна) інженерія – це...
5. Які передумови для організації культури клітин і тканин вищих рослин у біотехнологічній промисловості?
6. Які переваги мають клітинні культури вищих рослин порівняно із традиційною рослинною сировиною?
7. Яка важлива галузь практичного застосування протопластів?
8. Який один з головних факторів утворення ефективної біотехнологічної системи культури тканин та клітин вищих рослин?
9. Які типи культур клітин і тканин?
10. Як здійснюється поверхневе культивування?
11. Чим відрізняється глибинний спосіб культивування?
12. Які етапи робіт по створенню клітинних технологій?

3 БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ

3.1 Біотехнологія виробництва біогазу

За підрахунками фахівців, в Україні, щорічно в галузях народного господарства утворюється понад 125 млн. тонн органічних відходів за сухою речовиною. Анаеробний спосіб переробки, крім високоефективних екологічно чистих органічних добрив, дозволяє отримати ще й біогаз як альтернативне джерело енергії, при дотриманні умов охорони навколишнього середовища. З літературних джерел відомо, що 1 тонна органічних відходів дозволяє отримати від 200 до 600 м³ біогазу. При отриманні з однієї тонни відходів хоча б 200 м³ біогазу, переробка їх в межах України може дати 25 млрд. м³ біогазу.

Біогаз — суміш газів. Його основні компоненти: метан (CH₄) — 55–70 % і вуглекислий газ (CO₂) — 28–43 %, а також у дуже малих кількостях інші гази,

наприклад - сірководень (H_2S).

Як сировину для одержання біогазу можна використовувати органічні відходи різноманітних виробництв сільського господарства і переробних підприємств, які мають рідку або напіврідку консистенцію або доведені до такого стану. До цих відходів належать екскременти тварин, рослинні рештки (солома, бадилля, трава та інше, що не використовуються безпосередньо як корм), осади стічних вод тваринницьких і птахівничих підприємств тощо. Якщо реактор працює нормально, одержуваний біогаз містить 60-70 % метану, 30-40 % двоокису вуглецю, незначну кількість сірководню (до 3 %), а також домішки водню, аміаку та оксидів азоту, не має неприємного запаху, а теплота його згоряння досягає 25 МДж/м³. Біогаз можна використовувати для спільного вироблення електроенергії і теплоти (когенераційна схема), спалювати для одержання теплоти або накачувати у балони для використання на транспорті.

Ефективним методом переробки органічної речовини – отримання біогазу (метану). Метанове «бродіння», або біометаногенез. Це давно відомий процес перетворення біомаси в енергію. Він був відкритий в 1776 році Вольтою, що дослідив наявність метану в болотному газі. Найінтенсивніше дослідження процесу метанового зброджування гнойової біомаси проводилося за кордоном наприкінці 80-х – на початку 90-х років, що було пов'язано з виникненням світової енергетичної кризи і пошуком альтернативних джерел енергії. Під впливом такої тенденції аналогічні дослідження проводилися і в колишньому Радянському Союзі, незважаючи на наявні в той час значні запаси більш дешевого природного газу. В теперішній час відновився інтерес до метанового зброджування біомаси як до альтернативного поновлюваного джерела енергії, технології отримання високоякісних органічних добрив для відновлення родючості ґрунтів і зниження антропогенного навантаження на навколишнє середовище.

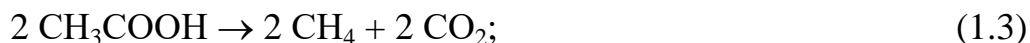
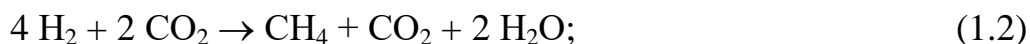
Сучасні уявлення про процес метанового зброджування базуються на результатах досліджень і вивчення біохімії і мікробіології процесу, а також вивчення природних анаеробних біоценозів (наприклад, рубця жуйних тварин) і штучних біоценозів (мікробіологічних реакторів - метантенків).

Метанове бродіння є комплексним процесом, який, перш за все, дозволяє утилізувати відходи каналізації та сільськогосподарського виробництва, перетворивши їх на добрива, і є джерелом отримання пального газу на основі метану. Найбільш доцільною сферою застосування біогазу є опалення тваринницьких ферм, житлових приміщень і технологічних ділянок. Також біогаз можна використовувати в якості моторного палива. Надлишки отриманого палива можна переробляти в електроенергію за допомогою дизельних генераторів.

За кордоном проблемі отримання та використання біогазу приділяють велику увагу. За короткий термін в багатьох країнах світу виникла ціла індустрія з виробництва біогазу: якщо в 1980 р. в світі налічувалося близько 8 млн установок для отримання біогазу сумарною потужністю 1,7–2 млрд куб. м на рік, то в даний час дані показники відповідають продуктивності по біогазу тільки однієї країни — Китаю.

Біометаногенез здійснюється в три етапи: розчинення та гідроліз органічних речовин, ацидогенез та метаногенез.

Суть процесу біометаногенезу можна виразити наступними реакціями:



В метановому «бродінні» беруть участь три групи бактерій: перші перетворюють складні органічні субстрати в масляну, пропіонову та молочну кислоти; інші перетворюють ці органічні кислоти в оцтову кислоту, водень, вуглекислий газ, а потім метаноутворюючі бактерії відновлюють вуглекислий газ в метан, з поглинанням водню. Біометаногенез проходить у водонепроникних циліндричних цистернах (дайджестерах), що як правило занурюються в землю при цьому враховуються ізоляційні властивості ґрунту.

Процес біоконверсії окрім енергетичної дозволяє вирішити інші завдання. Заброджений гній в порівнянні із звичайним підвищує на 10–20 % врожайність сільськогосподарських культур. Пояснюється це тим, що при анаеробній переробці відбувається мінералізація і зв'язування азоту. При традиційних ж способах приготування органічних добрив (компостуванням) втрати азоту становлять до 30–40 %. Анаеробна переробка гною в чотири рази — у порівнянні з не забродженим гноєм — збільшує вміст амонійного азоту (20–40 % азоту переходить в амонійну форму). Вміст засвоєного фосфору подвоюється і становить 50 % загального фосфору. Наприклад, біогазова установка *Zorg* виробляє біогаз і біодобрива з відходів сільського господарства. Сировиною може бути гній великої рогатої худоби, гній свиней, пташиний послід, відходи рослин, силос солома, прогниле зерно, відходи боєнь, каналізаційні стоки, жири, біологічне сміття відходи харчової промисловості, садові відходи, солодовий осад, базарні відходи. Тепло від спалювання біогазу можна використовувати для обігріву ферми, будинків, сушіння насіння, отримання кип'яченої води для утримання худоби.

Метаногенез (біологічний синтез метану) — один з найважливіших етапів ланцюга анаеробного розкладення органічних сполук.

Анаеробне розкладання органічних речовин виконують прокаріоти. Більшість еукаріотів не беруть участь в цьому процесі. Характерним моментом анаеробного розкладу є поступове окислення вуглецевмістких сполук, яке поетапно проводять різноманітні групи мікроорганізмів, які утворюють складний комплекс мікробної спільноти. Між цими мікробними групами існують спеціалізовані взаємовідносини. В анаеробних умовах різноманітність шляхів метаболізму значно більша ніж в анаеробних, тому що окислення вуглецевмістких сполук відбувається шляхом деградування і пов'язане з

перенесенням водню на різні субстрати проміжного метаболізму чи на зовнішні акцептори електронів. На рис. 3.1 наведено основні етапи анаеробного розкладання органічних субстратів комплексом мікроорганізмів.



Рисунок 3.1 – Основні фази мікробної деградації складних органічних речовин до метану в анаеробних умовах

Першу фазу (гідролітичну) проводять різні групи мікроорганізмів (факультативні і облигантні анаероби), проте в цій фазі енергія тільки витрачається. Утворення енергії відбувається в другій фазі (бродиння, ацетогенезу), яка проводиться тією ж групою мікроорганізмів, що беруть участь в першій фазі, а також деякими іншими (лактобацили, стрептококи тощо), які не трансформують полімери, оскільки вони не мають екзоферментів для гідролізу полімерів. Звичайно, ці дві фази розглядають спільно, оскільки вони енергетично об'єднані. У третій фазі (ацетогенній) утворюється переважно ацетат, у четвертій (метаногенній) — метан. Деякі продукти фази бродіння, минаючи ацетогенну фазу, безпосередньо трансформуються в CH_4 . Попередниками CH_4 при цьому є CO_2 , H_2 , CO , метиламін, метанол, ацетат, форміат. Інша частина продуктів бродіння (кислоти з числом вуглецевих атомів більше двох і спирти – більше одного) повинні пройти ще ацетогенну фазу (ацетогенез з утворенням H_2), в якій утворюється ацетат (попередник CH_4) і

одночасно H_2 .

Є кілька видів анаеробних бактерій, кожен з яких максимально ефективно працює при певній температурі. У зв'язку з цим розрізняють різні температурні режими бродіння. На практиці використовуються два режими: мезофільний (30–40 °C) і термофільний (51–55 °C). У термофільному реакція йде в два рази швидше, і відповідно в два рази швидше виділяється біогаз. Також термофільний режим має переваги з точки зору екології, оскільки в цьому режимі знищуються майже повністю всі хвороботворні мікроорганізми. Але термофільний режим вимагає великих енерговитрат на підтримання необхідної температури реакції, а також більшої точності підтримки температури. Крім того, якість біодобрив в цьому режимі виходить гірше, ніж у мезофільному. Мезофільний режим пред'являє менш суворі вимоги до точності підтримки температури, але не завжди може підходити з точки зору екології. Якщо нас цікавлять перш за все біодобрива, то мезофільний режим — це безальтернативний вибір. Якщо необхідно суттєво заощадити на вартості біогазової установки, то підходить термофільний режим. Адже установка, що працює в термофільному режимі має в два рази більшу пропускну здатність, і, відповідно, може бути зменшена в два рази в порівнянні з установкою, що працює в мезофільному режимі, при переробці тієї ж кількості сировини.

Вид і склад субстратів. Принципово всі органічні речовини можна хоча б частково розкласти як аеробним, так і анаеробним шляхом. Принциповим правилом є: тверді, зі складною структурою матеріали як деревина та солома краще підходять для аеробних умов — компостування, в той час як текучі, рідкі матеріали - гній, відходи продуктів харчування, жири і т.д. краще розкладаються в анаеробних умовах, тобто при бродінні. В цілому можна сказати, що для мокрого методу, краще щоб вміст сухої речовини було 5–15 %. Якщо вміст сухого субстрату менше ніж 5 %, то процеси будуть також відбуватися, але буде необхідність «марного» додавання занадто великої кількості води, що суттєво впливатиме на рентабельність. 15 % вмісту сухої субстрату є верхньою межею, при якій субстрат ще можна перекачувати насосом, перемішувати або змішувати. Сухий метод розрахований на сипучі матеріали з вмістом сухої речовини понад 25 %. Вміст сухої речовини в придатному найкращим чином до компостуванню матеріалу складає від 40 до 60 %. Важливим як і раніше є співвідношення вуглецю і азоту (співвідношення C : N), яка повинна складати від 10:1 до 40:1.

Відходи сільськогосподарського утримання тварин створюють добрі умови як для анаеробного, так і для аеробного бродіння, оскільки вони мають збалансований склад поживних речовин і великий буферний потенціал. При складанні раціону, важливо щоб завантаження ферментатора було як мінімум менше 4 кг, ще краще якщо менше 3 кг органічної сухої речовини (СР)/м³, незалежно від виду субстрату або його суміші. При сільськогосподарському виробництві біогазу за останні роки відбулися великі зміни у видах використовуваних субстратів. Зараз на практиці рідко буває, щоб використовували виключно рідкий або твердий гній. Більшість установок для своєї роботи використовують силос із цілих рослин, залишки зерна і силос із сіна, іноді працюють взагалі без гною. Крім великого виходу газу та великої

ступені розкладання, енергетичні рослини завдяки підтримці з боку Законодавства про поновлювані джерела енергії ЄС набули особливого значення. Значення коферментації органічних відходів від комунальних господарств і агропромисловості істотно знижується. Високі вимоги до безпеки, техніці, документації та отриманні дозволів, а також не в останню чергу конкурентна боротьба за кількість субстрату, привела до зниження інтересу до субстратів і розробленим під них установкам. Існуючі на сьогоднішній день коферментаційні установки мають високу спеціалізацію, добре оснащені технічно і відповідають найсучаснішим вимогам.

Використання стоків для біогазової установки з одного боку цікаво для багатьох фермерів, адже так вони можуть заощаджувати на дорогому підключенні каналізації; але з іншого боку вміст сухої речовини в стоках як правило нижче 2 %, таким чином доводиться шукати інші субстрати з достатнім вмістом сухої речовини. У таких випадках доводиться також відмовитися від використання агресивних миючих і очищувальних хімічних засобів. Крім того, розмір біогазової установки повинен перебувати в розумному співвідношенні з кількістю води, що подається. За основу слід брати такий розрахунок: для десяти голів рогатої худоби (14 м³ з 8 % СР) можна без проблем використовувати стоки після однієї людини. З точки зору законодавства про захист стічних вод слід вибирати тип установки з якомога кращим гігієнічним ефектом. Як правило використання стічних вод для біогазової установки дозволяють тоді, коли прокладання каналу буде обходитися незрівнянно дорожче, або коли взагалі не існує можливості підключення до каналу.

Різноманітні субстрати забезпечують різні рівні отримання енергії. Більшість метаногенних бактерій спроможні використовувати Н₂ і СО₂ для утворення СН₄, в той час, як лише п'ята частина описаних до цього часу видів використовує ацетат, метанол чи метиламін. Кількісний вихід енергії при метаногенезі значно нижчий, ніж при аеробному диханні і денітрифікації. Разом з тим використання різноманітних субстратів для метаногенезу енергетично нерівномірне. Незважаючи на те, що вихід енергії при метаноутворенні з СО₂ і Н₂ в стандартних умовах відносно високий (138,8 кДж на моль СН₄, в реальних умовах при концентрації водню, яка є в природі, отримана енергія звичайно достатня для отримання лише 1/3 АТФ на моль СН₄ (20 кДж витрачається на 1 моль АТФ). Відповідно до сучасних уявлень про механізм метаногенезу, сполученість процесів утворенням СН₄ і АТФ остаточно не з'ясована.

В 1956 році Г. Баркер об'єднав метаногенні бактерії в одну таксономічну групу на основі їх фізіологічних особливостей. Серед дев'яти названих ним видів, вірогідно, лише три було представлено чистими культурами. Представники інших видів – змішані культури. У подальшому список видів метаногенів поповнився. Проте, якщо в 1979 р. було описано 13 видів метаногенів, то в теперішній час відомо більше 50.

Особливістю метантанків, як штучних екосистем, є: високі концентрації органічних речовин, відносно швидке споживання їх мікроорганізмами при

постійному надходженні органічних речовин і рівномірне їх перемішування, а також постійна оптимальна температура. На сьогоднішній день науці відомо близько 10 різних видів *Methanococcus* і *Methanobacterium*, розміром всього лише 1/1000 мм, здатних жити в різному середовищі.

У процесі розщеплення продукти переварювання (обміну речовин) кожної групи бактерій виступають поживними речовинами для наступної групи бактерій. Пофазні розщеплення органіки відбувається не з однаковою швидкістю. Різні групи бактерій працюють з різною швидкістю. У той час як аеробні бактерії при достатньому харчуванні подвоюють свою масу протягом 20 хв. - 10 годин (час генерації), анаеробні бактерії істотно повільніше. Фаза утворення оцтової кислоти проходить найбільше повільно. Бактеріям необхідно багато днів для розщеплення поживних речовин і подвоєння своєї маси. Серед метанових бактерій також є кілька повільних видів, в першу чергу чисті культури вимагають для цього 3–5 днів. Всі інші розщеплюють оцтову кислоту на метан на протязі від декількох годин до трьох днів. Швидше за всіх працюють кислотоутворюючі бактерії, що виробляють перші перетворення органіки вже протягом від декількох годин до 2 днів. В ідеальному випадку між фазами розщеплення встановлюється динамічна рівновага в концентрації речовин, а саме між надходженням поживних речовин та їх розщепленням.

Найбільш частою помилкою є перегодовування бактерій субстратом, який швидко розщеплюється, що призводить до накопичення кислот через кислотоутворюючі бактерії. У зв'язку з цим може наступити дуже різке падіння рівня рН, якого не переживуть інші бактерії. Крім того, надмірна концентрація виробленої речовини призводить до затримки росту групи бактерій — продуцентів.

Динамічна рівновага також визначається легкістю розщеплення субстрату. Цукор і крохмаль, наприклад, через свою просту структуру розщеплюються дуже швидко і вимагають лише короткого часу перебування в ферментаторі. Чим складніша структура субстрату, тим довше буде тривати розщеплення. Целюлоза та гемицелюлоза мають широко розгалужену структуру і розкладаються повільно. Лігнін, задерев'янілі речовини у рослин, кількість якого зростає з віком рослини, розкладається бактеріями дуже погано, оскільки він проявляє стійкість навіть до кислот. Швидкість розщеплення субстратів має прямий вплив на технічно необхідний час для бродіння.

Таким чином, вже при плануванні біогазової установки варто чітко визначити, який субстрат або які субстрати будуть використовуватися для бродіння. Однак не тільки технічно необхідний час для бродіння визначає час перебування в ферментаторі, значення мають також економічні показники. Якщо ми хочемо переробити сильно задерев'янілий матеріал, то для цього варто передбачити дуже великий обсяг ферментатора, щоб отримати з нього метан. З економічної точки зору це не має сенсу. Час бродіння, таким чином, визначається динамікою анаеробного розщеплення і швидкістю розщеплення певного субстрату. Якщо ферментатор заново заповнити субстратом, то після проходження окремих фаз процесу розщеплення біогаз утворюється повільно. Кількість виробленого щодня біогазу зростає до того моменту, поки не буде

досягнуто максимуму. На момент досягнення кульмінаційного моменту субстрат, який легко розкладається, буде перероблений і бактеріям залишаться лише речовини, які важко перетравлювати. Таким чином, кількість газу що виробляється щодня, буде знижуватися до тих пір, поки не буде розщеплений весь доступний матеріал або поки субстрат не можна буде розщеплювати далі. Такий процес утворення біогазу схожий на так званий періодичний метод. Сьогодні прийнято використовувати поступовий процес, при якому субстрат подається протягом дня кілька разів невеликими порціями, що в свою чергу веде до рівномірного виробництва біогазу.

Виробництво газу з 1 кг органічного субстрату поступово збільшується разом із збільшенням часу для бродіння, спочатку швидше, у міру зростання часу бродіння повільніше. Настає такий момент, коли кількість виробленого газу настільки мало, що довгострокове перебування в ферментаторі більш недоцільно з економічної точки зору. Тобто на практиці ніколи не буває повного розщеплення органіки.

Точно відповідно до відсотка речовин кожної групи: протеїнів, жирів і вуглеводів визначається вихід газу і відсоток метану в біогазі. Максимальну кількість метану в біогазі отримуємо з протеїнів — 71 %; жири також дають газ високої якості з вмістом метану 68 %. Найгірше результати у вуглеводів — лише 50 % метану в газі. Хоча вуглеводи в цілому виробляють на 90 літрів більше біогазу ніж протеїни, за малого вмісту метану, вихід обмежується лише 400 літрами метану на кг органічного сухої речовини. Сирий жир виробляє до 850 літрів метану з кілограма сухої органічної речовини — найвищий вихід метану, в той час як сирий протеїн дає 490 літрів метану з кілограма органічної сухої речовини. Якщо виходити виключно з виходу газу, перевагу варто передавати сумішам субстратів з високим вмістом жирів і протеїнів. Таким чином чітко видно, що немає єдиного показника виходу газу. У разі зміни складу суміші субстрату, коливається також і вихід газу і його якість. Ця взаємозалежність відображена у великих коливаннях в даних по виходу газу для одного і того ж субстрату.

З технічної точки зору, факторами, що впливають на виробництво біогазу найчастіше стають системи подачі, мішалки і температура. Щоб контролювати і регулювати перебіг процесу, необхідно, заміряти деякі параметри і задокументувати їх. До цього особливо відносяться такі параметри:

- температура субстрату в ферментаторі;
- кількість виробленого газу та електрики;
- вид і кількість щодня подаються субстратів;
- щоденні вимірювання рівня сірки та аміаку необхідної для певних субстратів або при зміні складу суміші субстрату;
- регулярний контроль завантаження ферментатора і часу бродіння;
- регулярне вимірювання утворення жирних кислот або буферного резерву, або концентрації іонів H^+ в газі, особливо при зміні складу суміші субстрату.

При обліку цих параметрів, можна контролювати або розраховувати всі найважливіші характеристики процесу, пов'язані з виробництвом газу та електроенергії, завантаження ферментатора, час бродіння, температура, якість

газу, концентрація сірки та азоту. При цьому допомагають не тільки одні дані, але й тенденції, що показують в якому напрямку розвивається процес. Для обліку і розрахунку цих параметрів існують спеціально для цього розроблені комп'ютерні програми, які облегшують контроль за біотехнологічним процесом.

Склад і якість біогазу.

Оскільки тільки метан поставляє енергію з біогазу, доцільно, для опису якості газу, виходу газу та кількості газу, необхідно все відносити до метану, з його нормованими показниками. Обсяг газів залежить від температури і тиску. Високі температури призводять до розтягування газу і до зменшеного разом з обсягом рівню калорійності і навпаки. Крім того при зростанні вологості калорійність газу також знижується. Щоб вихід газу можна було порівняти між собою, необхідно їх співвідносити з нормальним станом (температура 0 °С, атмосферний тиск 1,01325 bar, відносна вологість газу 0 %). У цілому дані про виробництво газу виражають у літрах (л) або м³ метану на кг органічної сухої речовини (ОСР), це набагато точніше і красномовніше ніж дані в м³ біогазу в м³ свіжого субстрату. У минулому не завжди звертали увагу на цей взаємозв'язок, що призвело до малої придатності старих даних про виробництво газу, в них просто відсутні дані про температуру, атмосферний тиск, вміст метану, вмісті сухої речовини і органічного сухої речовини. Навіть у лабораторних умовах при дослідженні однакових субстратів виходять різні результати з виробництва газу. Причина цього криється в різних методах, за допомогою яких проводилися такі виміри в лабораторії. Одні робили вимірювання для свіжого субстрату, інші для сухого, одні з силосованим матеріалом, інші з несилосованим, в резервуарах від 0,5 літрів до 10 літрів. Залежно від рамок умов результати відрізнялися між собою. На сьогоднішній день актуальним є питання про приведення до норм використовуваних методів вимірювання. Саме через велику різницю в методах вимірювання при визначенні характерних параметрів, таких як вихід газу, вже на стадії планування важливо перевірити дійсність числових величин і стежити за тим, щоб в основу закладалися реалістичні показники, які б відповідали необхідним ринковим умовам.

Якість біогазу визначається в першу чергу вмістом метану або співвідношенням пального метану (СН₄) до «марної» двоокису вуглецю (СО₂). Двоокис вуглецю розбавляє біогаз і викликає втрати при його зберіганні. Тому важливо прагнути до високого вмісту метану і якомога низькому вмісту двоокису вуглецю. Що досягається зазвичай, вміст метану коливається між 50 і 75 %. Як правило вміст СО₂ вимірюють за допомогою приладу «Brigon» і після вирахування невеликої кількості інших газів (2–8 %) обчислюють вміст СН₄. Вміст метану в біогазі в першу чергу визначається наступними критеріями:

1. Ведення процесу: у той час як в одноступінчатих біогазових установках весь процес анаеробного розкладання відбувається в одному ферментаторі, одним етапом, і таким чином весь газ виділяється як суміш газів, в двоступеневих установках, вироблений на першому етапі газ, складається у великій мірі з двоокису вуглецю та інших енергетично малоцінних газів, які виводяться в навколишнє середовище. Газ що виробляється на другому етапі

має високий відсоток вмісту метану, який може складати і більше 80 %.

2. Склад поживних речовин субстрату. Кількість і якість виробленого біогазу залежить від кількості внесених речовин та їх складу. Протеїни і жири мають більш високий вміст метану. Для збагачених на вуглеводи субстратів, як наприклад кукурудза можна розраховувати на вміст метану в середньому 53 %.

3. Температура субстрату. На практиці виявилось, що при високій температурі ферментатора вихід метану більш поганий, ніж при низьких температурах. Це відбувається через відмінності в розчинності і утворенням газоподібної двоокисі вуглеводню. Чим більша кількість CO_2 перейде в газоподібну форму, тим меншою буде відсоткова частка CH_4 в біогазі. Після метану і двоокису вуглецю, сірководень (H_2S) є найважливішою складовою газу. Сірководень дуже агресивний і викликає корозію, що в першу чергу викликає проблеми з арматурою, газовими лічильниками, пальниками і двигунами. Тому необхідно очищати біогаз від сірки. Очищений від сірки біогаз майже не має запаху. Крім того в біогазі містяться сліди аміаку, елементарного азоту, водню і кисню загальним вмістом від 6 % до 8 %. Сірководень і аміак можна легко заміряти за допомогою трубки Дрегера. Такі трубки можна використовувати багаторазово. Газ, який щойно надійшов з біогазової установки насичений водяною парою. Сушка біогазу конденсацію є дуже важливим кроком по збагаченню газу. За допомогою конденсованої води сепарують також велику кількість аміаку, що міститься в біогазі, що викликає в іншому випадку великі пошкодження двигуна, особливо на підшипниках з кольорових металів.

Вихід біогазу.

Орієнтовні дані з виходу біогазу з різних видів сировини наведені в табл. 3.1. Гній худоби має найгірші показники з виходу біогазу. Велика рогата худоба, як жуйні тварини, завдяки особливій флорі шлунка, що містить серед інших і метанові бактерії, а також довгому кишковому тракту і сильному подрібненню легко перетравних речовин, споживає значну кількість сірої клітковини.

Таблиця 3.1 – Вихід біогазу з різних видів сировини

№ з/п	Вид сировини	Вихід газу, м ³ на тону сировини
1	Гній коров'ячий	60
2	Гній свинячий	65
3	Послід пташиний	130
4	Відходи бійні	300
5	Жир тваринний	1300
6	Барда післяспиртова	70
7	Зерно	500
8	Силос, бадилля, трава, водорості	400
9	Молочна сироватка	60
10	Буряковий і фруктовий жом	70
11	Дробина пивна	180

Цей недолік гною худоби вирівнюється високим вмістом сухої субстанції.

Свиня, як і людина, відома своїм поганим переварюванням корму, що викликано однокамерним шлунком і коротким кишечником. Тому вихід газу істотно вище ніж у худоби через те, що гній містить безліч нерозчинених поживних речовин. Кури, як і всі птахи, мають короткий апарат перетравлення, що обумовлює їх малу вагу. Перетравлювання є неповним. У посліді міститься ще велика кількість субстанцій, які утилізуються. Тому пташиний послід дає найбільший вихід газу. У першу чергу він настільки багатий сухою масою, що, як правило, його необхідно розбавляти водою. Високий вміст азоту може викликати проблеми з біологічним процесом. Суміш гною худоби, свиней і курей допомагає уникнути недоліків калу окремих видів тварин.

Незалежно від виду тварин чужорідні речовини в субстраті можуть принести проблеми. Гній худоби містить залежно від годування такі частинки корму як трава, сіно і силос або навіть підстилку. Ці речовини спливають у гної і у випадку неправильного перемішування утворюють плаваючу корку, яка може бути настільки товстою і сплутаною, що їх важко розділити. Крім того при годуванні травою варто врахувати, що глина, пісок або навіть каміння, що потрапляють прямо або через шлунок тварин в гній, таким же чином можуть туди проникати частинки металу у вигляді шурупів або шматочків від сільськогосподарських машин. Свинячий гній має схильність до утворення осадку, в першу чергу, якщо з нього осідають неперетравлене лушпиння кукурудзи або зерна. Якщо перемішування відбувається неналежним чином, з часом можуть утворитися шари товщиною в кілька дециметрів, від яких можна буде позбутися лише за допомогою кирки. Курячий послід містить пір'я, які схильні до утворення плаваючої корки, в той же час, послід курей містить внаслідок особливостей годівлі велику кількість крейди і піску, тому слід врахувати також випадання осаду.

Відновлювана сировина — енергетичні рослини.

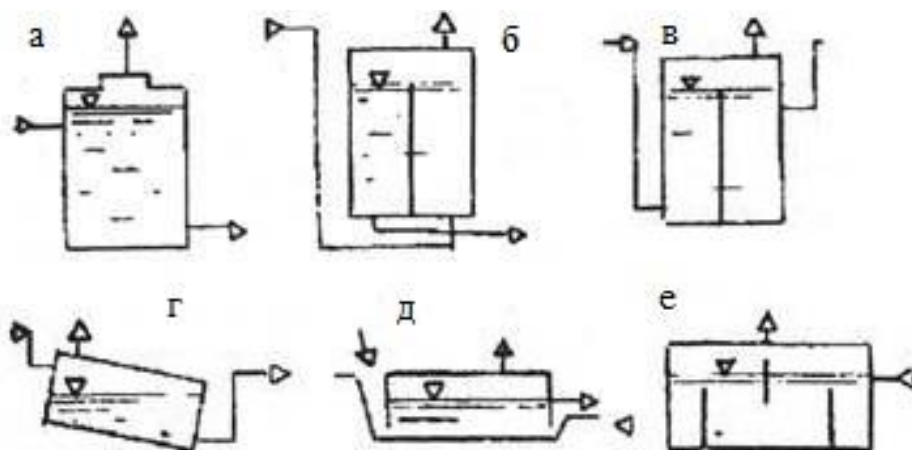
З використанням рослинних культур в біогазових установках, сільськогосподарське виробництво отримало абсолютно новий напрям: якщо раніше сільське господарство в Німеччині і Європі займалося виробництвом продуктів харчування і кормів, то зараз все більшу кількість площ віддається під енергетичні рослини, використовувані в біогазових установках. Часто вирощування енергетичних рослин вважають окремою галуззю виробництва і для деяких фермерів вона є головним джерелом доходу. В якості енергетичних рослин, придатних для використання в біогазових установках, в принципі, можуть виступати лише кілька видів вирощуваних на полях культур. У реальності в основному мова йде про культури, які після переробки в біогазових установках набувають більш високу ринкову вартість. Установки, що використовують лише поновлювану сировину і гній для вироблення електроенергії, отримують за вироблену електроенергію фінансове заохочення.

З точки зору виходу газу кращий результат дають рослинні субстрати з високою концентрацією енергії: відходи зерна, буряк і картопля. Вихід метану, що досягається з їх допомогою може доходити до 350–380 л / кг органічного сухого субстрату. Крім цього є велика група, що складається зі свіжої трави,

бадилля буряка, силосу трави, кукурудзи та зернових рослин, вихід метану з яких становить від 270 до 330 л / кг органічного сухого субстрату. Самий малий вихід газу нижче 200 л/кг органічного сухого субстрату має соломка. Таким чином її можна порівняти з гноєм худоби. В цілому, енергетичні рослини мають швидше малі коливання, так що узагальнюючи, теоретичний вихід газу з енергетичних рослин становитиме 300 л метану на кг органічного сухого субстрату з коливанням $\pm 30\%$.

Істотно більшу різницю проявляють енергетичні рослини при розрахунку виходу з гектара. Якщо вихід з гектара помножити на специфічний вихід метану, то вийде продуктивність метану з одиниці площі для конкретного виду культури. Найвищий вихід метану з сухої маси отримують з буряка і врожайних силосних сортів кукурудзи, який може становити понад $6000 \text{ м}^3 \text{ CH}_4/\text{га}$. Міскантус, як багаторічна культура, хоч і дає добрий врожай біомаси від 200 центнерів / га, але низький вихід метану знижує продуктивність площ до рівня трав і силосу з усіх рослин, що мають у середньому вихід від $4000 \text{ м}^3 \text{ метану} / \text{га}$. Зерно і бульби хоч і мають досить високий вихід газу, але якщо перенести його на оброблену площу, то він буде складати $3000 \text{ м}^3/\text{га}$, що все ж таки нижче ніж силос з цілої рослини. Їм просто бракує кількості біомаси всієї рослини. Проміжні культури мають найменший вихід з площі, нижче $2000 \text{ м}^3 \text{ CH}_4/\text{га}$, це пов'язано з коротким вегетаційним періодом.

Реактор біогазової установки. Основою кожної біогазової установки є реактор. Реактор біогазової установки являє собою герметичний термос, у якому підтримується завдана постійна температура. На рис. 3.2 представлені конструкції реактора і систем завантаження і вивантаження.



а – циліндричний реактор з верхнім завантаженням; б – циліндричний реактор з нижнім завантаженням; в – циліндричний двохсекційний реактор; г – похилий реактор; д – траншейний реактор з покриттям, що плаває; е – горизонтальний секційний реактор

Рисунок 3.2 – Конструкції реактора і систем завантаження і вивантаження

Реактори великих біогазових установок зазвичай виготовляють з бетону, який потім утеплюють різними способами. Реактори малих установок зазвичай виготовляють з металевого листа. Часто використовують вживані цистерни.

Для підтримки температури використовується система підігріву і система термоізоляції реактора. Всім цим керує блок автоматики. Також для нормального протікання реакції використовується система перемішування сировини, яка також управляється блоком автоматики.

Для подачі в реактор вихідної сировини служить система підготовки сировини. Для буферизації газу, що виробляється і стабілізації його тиску використовується газгольдер. Газова система служить для зневоднення газу, що виробляється, контролю тиску газу, систем аварійного скидання газу та попередження зворотного ходу. Для зливу відпрацьованого сировини (готових біодобрив) застосовується система зливу.

Система підготовки сировини служить для розведення вхідної органічної маси водою для забезпечення необхідної вологості і температури сировини, а також для закачування сировини в реактор. Інженерні завдання, які вирішуються при розробці такого вузла - це рівномірне перемішування вхідної суміші, підтримка температури суміші в заданих межах, незалежно від температури навколишнього середовища, закачування в реактор строго певної порції сировини із збереженням герметичності реактора і постійності тиску газу на виході. Запропоновано два способи вирішення цих завдань: закачування суміші з системи підготовки під дією сили тяжіння, або за допомогою спеціального фекального насоса. Об'єм ємності для підготовки сировини звичайно дорівнює 5–10 % обсягу реактора. З ростом обсягу зростає навантаження на конструкцію естакади, що вимагає її ускладнення і подорожчання. Другий спосіб — класичний. Складнощі полягають у тому, що дешеві фекальні насоси не мають ріжучих ножів, і тому легко можуть засмітитися. Тому застосування фекального насоса має сенс для середніх біогазових установок. Шнекова подача сировини має сенс тільки для великих установок.

На рис. 3.3 представлена блок-схема біогазової установки.

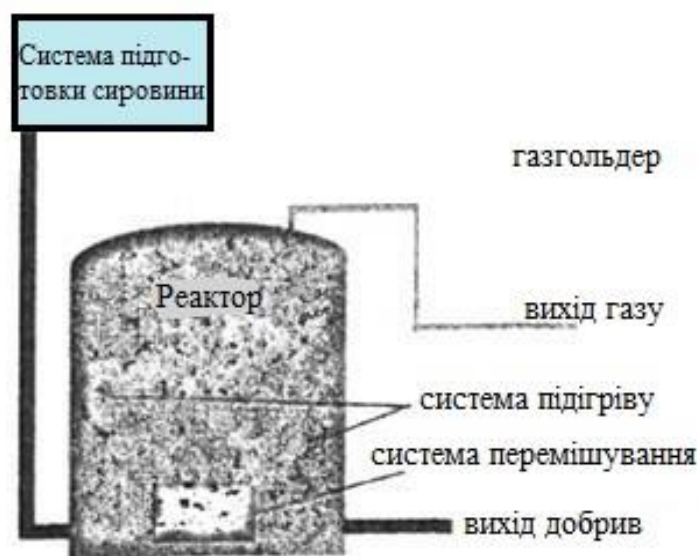


Рисунок 3.3 – Блок-схема біогазової установки

Біогаз, вироблений біогазовою установкою, не подається безпосередньо

споживачеві, а проходить через кілька спеціальних пристроїв, які можна назвати газовою системою біогазової установки. Насамперед, біогаз необхідно пропустити через зворотний клапан, який забезпечує рух газу тільки в одному напрямку — від реактора до споживача. Найпростіший зворотний клапан — рідинний. Цей зворотний клапан може бути загальним для декількох реакторів, забезпечуючи одночасно незалежність їхніх газових систем, і в той же час рівність тисків у робочих режимах. Для контролю над тиском газу встановлюється манометр. Також обов'язковим і найважливішим елементом є запобіжний клапан, який випускає в атмосферу біогаз при перевищенні допустимого тиску. Такий запобіжний клапан теж простіше і дешевше всього зробити рідинним, як і зворотний клапан. Тільки рідину в нього необхідно заливати незамерзаючу, типу «Тосол», оскільки вона безпосередньо контактує з атмосферою. Взагалі кажучи, метан — основна складова частина біогазу — найбільше руйнує озоновий шар Землі, і тому викиди метану в атмосферу з точки зору екології дуже небажані. Тому біогаз, що пройшов через запобіжний клапан, зазвичай спалюють у факельній установці. Факельна установка — це пальник, на яку подається іскра для розпалювання в момент спрацьовування запобіжного клапана, і вогонь підтримується, поки запобіжний клапан відкритий. Тобто механізм дії точно такий же, як і в сучасних газових котлах.

Газгольдер.

Газгольдер — це ємність, в якій накопичується вироблений біогаз. Також газгольдер в біогазовій установці виконує функцію стабілізатора тиску газу і буфера при заправці реактора і зливі добрив. У великих біогазових установках газгольдером служить сам реактор, який закривається зверху спеціальною гумовою мембраною. Робочий об'єм такого газгольдера не дуже великий, але у великих біогазових установок немає перепадів в споживанні газу, оскільки весь газ відразу переробляється в електрику. У малих і середніх біогазових установках споживання біогазу непередбачуване, тому бажано, щоб робочий об'єм газгольдера відповідав хоча б одно — або двогодинній продуктивності установки біогазу. Також бажано, щоб робочий об'єм газгольдера більш ніж у два рази перевищував обсяг одноразової заправки або зливу сировини. Для малих і середніх біогазових установок зазвичай застосовують мокрі і сухі газгольдери. Мокрий газгольдер має помітно більшу вартість і складність в експлуатації, ніж сухий, виготовлений з сучасних синтетичних матеріалів.

Біодобриво.

Біодобриво багато в чому перевершує різні органічні добрива (гній, торф) по більшості показників. От деякі з них:

1. Відсутність насіння бур'янистих рослин. У гної свиней і великої рогатої худоби і торфі звичайно присутній велика кількість насіння бур'янів. У 1 тонні свіжого гною знаходиться до 10 тис. насіння бур'янистих рослин, що, пройшли через шлунок тварин та не втратили здатність до проростання. Це приводить до утрати врожаю до 5 ц злакових культур з одного гектара.

2. Відсутність патогенної мікрофлори. Через гній найчастіше поширюються багато збудників захворювань рослин. У гної можуть утримуватися понад 100 небезпечних для тварин і людини хвороб. Сибірська

виразка, туберкульоз, бруцельоз, паратиф, паратуберкульоз, ящур, сальмонельоз, аскаридоз, кишкові інфекції - це тільки деякі з них. Біодобриво, практично цілком очищене від патогенної мікрофлори.

3. Наявність мікрофлори, що сприяє росту рослин.

4. Відсутність адаптаційного періоду. Гній, перед внесенням у ґрунт, вимагає тривалої підготовки (6–12місяців). Біодобриво починає ефективно працювати відразу.

5. Стійкість до вимивання з ґрунту. За сезон вимивається з ґрунту близько 80% гною, тому приходится його додавати щорічно. За цей же час із ґрунту вимивається всього 15 % біодобрива.

6. Збереження азоту. Нестача азоту в ґрунті приводить до невисокої врожайності багатьох сільськогосподарських культур. При його недостатці гальмується ріст рослин, послабляється утворення бічних пагонів і кущіння у злаків. Тривале азотне голодування веде до гідролізу білків і руйнуванню хлорофілу. При компостуванні гною губиться до 50 % азоту. У біодобриві, отриманому з біогазової установки азот зберігається практично цілком.

7. Екологічний вплив на ґрунт. Гній великої рогатої худоби, свинячий гній, пташиний послід наносять шкоду ґрунту, забруднюючи його і ґрунтові води. У той час як біодобриво є чистим екологічним добривом.

На рис. 3.3 представлена схема використання продуктів переробки відходів в біогазовій установці.



Рисунок 3.3 – Використання продуктів переробки відходів в біогазовій установці

Із 1 т побутових відходів виділяється приблизно 170 кг (130 м³) біогазу,

який містить до 65 % метану, а також:

- органічне добриво (410 кг, вологість 30 %);
- металобрухт (50 кг);
- крупний відсів (250 кг);
- газові втрати і фільтрат (120 кг).

Цілі використання біогазової біотехнології:

- виробництво висококалорійної енергії;
- виробництво високоякісних органічних добрив;
- зменшення інтенсивності запахів;
- зменшення агресивної роз'їдаючої дії відходів життєдіяльності с/г тварин;
- поліпшення показників текучості;
- зменшення забруднення повітря аміаком і метаном;
- запобігання втратам поживних речовин;
- зменшення вимивання нітратів;
- краща пристосовність, отриманих добрив, до споживання рослинами;
- поліпшення здоров'я рослин;
- зниження забруднення гною та посліду патогенною та умовно-патогенною мікрофлорою;
- зменшення здатності до проростання насіння бур'янів, після внесення таких добрив;
- переробка органічних відходів;
- економія на витратах підключення до каналізації.

Переваги і недоліки біотехнологічного виробництва біогазу.

Переваги.

1. Замість звичайної утилізації органічних відходів виробляється енергія, і використовуються поживні речовини. Таким чином, в основі біогазової біотехнології лежить ідея сприятливої для навколишнього середовища циркулюючої економіки і децентралізованої утилізації відходів.

2. З екологічної точки зору, переброджена маса – це готові екологічно чисті рідкі та тверді біодобрива, позбавлені нітритів, насіння бур'янів, патогенної мікрофлори, яєць гельмінтів, специфічних запахів. При використанні таких збалансованих біодобрив врожайність підвищується на 30–50 %. Фермери щорічно купують і везуть з далека дорогі хімічні добрива. Біогазова установка дає добрива найвищої якості. Ці добрива за якістю вище штучних, а їх собівартість дорівнює «0».

3. Збільшуючи обсяг новітніх енергій та розвиваючи і поширюючи далі, на базі біотехнології виробництва біогазу, сприятливі для навколишнього середовища технології, можливо знизити негативні впливи на клімат. Істотним благом для навколишнього середовища від використання біогазової біотехнології є зменшення емісії газів, які мають тепличний ефект, насамперед метану (CH_4), закису азоту (NO_2) і діоксиду вуглецю (CO_2).

4. Вироблена енергія може використовуватися для задоволення потреби в теплі при обігріві будинків і для підігріву води на побутові потреби та ін.

5. У процесі ферментації знижується кількість патогенних

мікроорганізмів (насамперед кишкової палички і сальмонели) і знижується здатність до проростання насіння у бур'янів. Наступною перевагою є економія промислових добрив і засобів захисту рослин.

8. В результаті анаеробної обробки продуктів життєдіяльності сільськогосподарських тварин, виділення запаху скорочується до 80 %, тому що інтенсивно розкладаються сморідні речовини.

9. В результаті гомогенізації зростає текучість. Тим самим досягається більш рівномірний і кращий розподіл при внесенні в ґрунти.

Недоліки.

- більш високий рівень рН відходів від ферментації;
- більш висока летючість аміаку, і тому необхідність близького до ґрунту внесення (наприклад з використанням буксирного шлангу);
- складування біогазу у закритих ємностях.

? Питання для самоконтролю:

1. Біогаз – це... Які його основні компоненти?
2. На чому базуються сучасні уявлення про процес метанового зброджування?
3. Як сировину для одержання біогазу можна використовувати...
4. Які етапи біометаногенезу?
5. Метанове бродіння це...
6. Які переваги виробництва біогазу?
7. Які фактори, з технічної точки зору, найчастіше впливають на виробництво біогазу?
8. Якими критеріями визначається вміст метану в біогазі?
9. Газгольдер – це...
10. Реактор біогазової установки являє собою...
11. Які переваги біодобрив?
12. Які цілі використання біогазової біотехнології?
13. Які переваги біотехнологічного виробництва біогазу?
14. Які недоліки біотехнологічного виробництва біогазу?

3.2 Біотехнологія виробництва біоетанолу та біодизельного палива

Біопаливо — це паливо, яке отримують, як правило, з біологічної сировини, в якості якої використовують стебла цукрової тростини або насіння ріпаку, кукурудзи, сої. Можуть також використовуватися целюлоза і різні типи органічних відходів.

Розрізняють тверде біопаливо (дрова, солома), рідке біопаливо (етанол, метанол, біодизель), і газоподібне біопаливо (біогаз, водень).

Тверде біопаливо. Саме енергетичні рослини, які вирощуються для

отримання енергії чи палива, у найближчому майбутньому створять конкуренцію газу та дизелю. До них належать харчові рослини (пшениця і цукрова тростина) і нехарчові (енергетична верба, тополя та багаторічні трави, ріпак, соя, соняшник, кукурудза, льон тощо).

Біомасу як джерело енергії можна використовувати у процесі безпосереднього спалювання деревини, соломи, сапропелю (органічних донних відкладів), а також у переробленому вигляді як рідке (ефіри ріпакової олії, спирти) або газоподібне (біогаз) паливо. Конверсія біомаси у енергоносії може відбуватися фізичними, хімічними та біотехнологічними методами. Останні є найбільш перспективними.

Дрова — найдавніше паливо. Нині для виробництва дров або біомаси вирощують енергетичні ліси, які складаються з швидкозростаючих рослин. Через значне зростання цін на нафту останнім часом населення багатьох країн скорочує споживання нафтового палива і збільшує використання дров. Це призводить до винищення лісів.

У світі відомо чимало спеціально вирощених швидкозростаючих енергетичних культур — тополя, верба, акація, безголкова троянда, топінамбур, соняшник, просо, сорго, тростина, міскантус, фаларіс, коноплі, очерет та багато інших. Термін «енергетичні плантації» вживається для визначення плантацій твердих порід деревини, що швидко ростуть у початковий період і розмножуються шляхом пускання паростків з пеньків після зрізання. Багато культур було досліджено для потенційного використання їх як енергетичних культур, але тільки невелика кількість досягла комерційного рівня і вирощується на великих площах. Попит на такі культури призвів до виведення гібридів з більш придатними характеристиками, такими як стійкість до морозів, засухи, шкідників тощо.

Найбільш сприятливі енергетичні культури для отримання твердого біопалива — це верба і тополя. У Швеції і Данії, наприклад, вони використовуються у місцевих системах опалення для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії. На сьогодні є чимало станцій комбінованого спалювання вугілля з додаванням біопалива (солома, тріски), використання якого зменшує споживання викопного палива, а також сприяє зниженню шкідливих викидів в атмосферу. Звичайно, використання біомаси як спеціально вирощеної, так і вилученої з відходів виробництва або комунальних звалищ — це трудомісткий процес. Загалом собівартість такої «зеленої» енергії вища, ніж отриманої з вугілля, адже потрібно враховувати подрібнення, висушування і відповідне зберігання.

У країнах Євросоюзу використання енергетичних культур дуже популярне. У Данії верба вирощується на 500 га сільськогосподарських земель, а у Швеції плантації верби займають площі до 20 тис га. Продукцію з таких плантацій продають у вигляді дерев'яних трісок, що застосовують для опалення або виробництва електроенергії. Нині у Швеції щороку вербові тріски постачають на 25 різних когенераційних станцій. Після збирання верби з вологістю до 50 % тріски можна відразу відправляти на спалювання. Найкращий рівень врожайності у Швеції становив 12 т/га, що еквівалентно 5 т

нафти.

Є багато причин, чому треба наслідувати приклад Швеції у вирощуванні верби, котра займає в цій галузі провідні позиції. Сільське господарство може вирощувати вербу на ґрунтах, менш придатних для вирощування зернових культур, а також створити нові робочі місця та забезпечити роботою працівників у зимовий період. Зрештою, енергетична верба може зайняти свою нішу у вирішенні не тільки енергетичних, а й екологічних проблем, пов'язаних з очищенням стічних вод.

Тверді енергоносії біологічного походження (головним чином гній, відходи деревина, торф) брикетують, сушать і спалюють в камінах житлових будинків і топках теплових електростанцій, виробляючи дешеву електрику для побутових і виробничих потреб. Відходи деревини з мінімальним ступенем підготовки до спалювання (тирса, кора, лушпиння, солома тощо) пресують в паливні брикети або в пелети, які мають форму циліндричних або сферичних гранул діаметром 8–23 мм і довжину 10–30 мм.

Найбільше поширення у країнах Західної Європи мають котли для спалювання тюків соломи потужністю від 70 до 1000 кВт. Котли оснащують автоматизованими системами управління, які забезпечують ефективну роботу і ККД до 81–84 %. Горіння соломи триває кілька годин залежно від розміру і кількості завантажених тюків. За цей час теплота, що виділяється, акумулюється у водяному баку-акумуляторі. Через проміжний теплообмінник теплота з контуру котла передається в теплову мережу.

Рідке біопаливо. Біоетанол – це звичайний етанол, який отримують шляхом переробки рослинної сировини і використовують як біопаливо. Етанол (етилловий спирт) – C_2H_5OH або CH_3-CH_2-OH , другий представник гомологічного ряду одноатомних спиртів, у просторіччі – спирт або алкоголь. Вважається, що саме паливний етанол має найбільший потенціал з огляду на невичерпні джерела його отримання. Ними можуть бути трав'янисті рослини та деревина, відходи сільського господарства і деревообробної промисловості, а також побутове сміття.

Етанол є менш «енергощільним» джерелом енергії ніж бензин. Пробіг машини, яка працює на чистому спирті складе приблизно 80 % від пробігу на бензині. Але етанол значно дешевший за бензин і виробляється з відновної сировини. Реакція ця досить складна, але її схему можна представити рівнянням:



В результаті бродіння отримується розчин, який містить не більше 15 % етанолу, так як в більш концентрованих розчинах дріжджі зазвичай гинуть. Отриманий таким способом етанол шляхом дистиляції очищують і концентрують. Сучасна промислова біотехнологія отримання етанолу із харчових продуктів включає наступні стадії:

- підготовка і подрібнення сировини (зерна, картоплі, кукурудзи та ін.);
- ферментація (до підготовленої сировини додають рекомбінантні

препарати);

– браго ректифікація (відділення спирту від інших продуктів бродіння).

Відходами бродіння є барда і сивушні масла. Барда використовується для корму худоби, а сивушні масла для потреб хімічної промисловості.

Відомий з давніх часів спосіб отримання етанолу – спиртове бродіння органічних продуктів, які містять вуглеводи (виноград, плоди фруктів, тощо) під дією ферментів дріжджів і бактерій. Аналогічно виглядає переробка крохмалю картоплі, рису, кукурудзи та інших злаків.

Етанол — найдавніший продукт біотехнології, яка була винайдена не пізніше IV тис. років до н. е. у Давньому Єгипті і Вавилоні. У цій технології цукри (глюкоза, сахароза та деякі інші) зброджують (ферментують) у безкисневому середовищі пекарськими (спиртовими) дріжджами. Ще донедавна майже весь етанол, отриманий шляхом дріжджового зброджування цукрів, використовувався виключно для виробництва алкогольних напоїв. Лише незначна його кількість, переважно отримана хімічним шляхом, застосовувалась у промисловості. Однак протягом останніх 25 років ситуація докорінно змінилася. Тепер уже більше половини світового виробництва етанолу використовується як добавка до палива для двигунів внутрішнього згоряння (бензину), і лише близько 15 % — для виробництва спиртних напоїв.

Перші спроби використання етилового спирту як автомобільного палива були здійснені ще на початку XX ст. У 1902 р. на інтернаціональному конкурсі в Парижі демонструвалося більше 70 карбюраторних двигунів, що працювали на етиловому спирті та його сумішах з бензином нафтового походження. Однак етиловий спирт не почав відразу швидко й широко застосовуватися, тільки у 70-х роках XX ст. у зв'язку з катастрофічним погіршенням екологічної ситуації і нафтовою кризою почалося відродження інтересу до спиртів і, особливо, до етанолу. Це обумовлено тим, що етанол може бути отриманий з постійно відновлюваних джерел рослинної сировини, біомаси, а також побутових відходів. З 80-х років розпочалося масове використання бензинів, що містять 5, 10, 15 і 22 % паливного етанолу, у Бразилії, США, Швеції, Нідерландах, Франції, Канаді і Колумбії.

Значний досвід у виробництві і використанні паливного етанолу з відновлюваної сировини накопичений у Бразилії, США, Канаді. На заправних станціях продають суміші бензину з етанолом E10 (10 % етанолу), E85 (85 % етанолу), E95 (95 % етанолу) і чистий етанол E100. Основним виробником паливного етанолу у світі є Бразилія (12 млрд л на рік, що становить половину потреби країни у бензині і 57 % світового виробництва). Це стало можливим завдяки Національній програмі із широкомасштабного використання етанолу як автомобільного палива і субсидіям уряду, які одержали відповідну фінансову підтримку Світового банку. Весь бразильський етанол одержують із цукрової тростини ферментаційним способом.

У США кожна четверта тонна виробленого бензину містить етиловий паливний біоспирт. З відновлюваної сировини (головним чином, з кукурудзи) на 58 підприємствах виробляється понад 4 млн. т на рік паливного етанолу. Зростання цін на нафту стимулювало розробки більш економічних і екологічно

чистих процесів виробництва етанолу. Дослідження, проведені у Канаді, свідчать, що використання палива E85 дозволяє знизити викиди парникових газів на 37 %; оксиду вуглецю — на 25–39 %; оксидів азоту — на 20 %; летких органічних сполук — на 30 %; канцерогенних ароматичних сполук — на 50 %.

Існує 2 основних способи отримання етанолу – мікробіологічний (спиртове бродіння) і синтетичний (гідратація етилену). Наслідком бродіння є розчин, що містить не більше 15 % етанолу, оскільки в більш концентрованих розчинах дріжджі зазвичай гинуть. Отриманий таким чином етанол потребує очищення і концентрування, звичайно шляхом дистиляції. У промислових масштабах етиловий спирт отримують із сировини, що містить целюлозу (деревина, солома), яку попередньо гідролізують. Суміш, що утворилася при цьому, піддають спиртовому бродінню.

Етанол у порівнянні з бензином є менш «енергетично насиченим» джерелом енергії. Пробіг машин, що працюють на E85 (суміш 85 % етанолу і 15 % бензину; буква «E» від англійського Ethanol), на одиницю об'єму палива складає близько 75 % від пробігу стандартних машин. Звичайні машини не можуть працювати на E85, хоча двигуни внутрішнього згорання працюють на E10. На «справжньому» етанолі можуть працювати лише так звані «Flex-Fuel» машини. Ці автомобілі можуть працювати на звичайному бензині або на суміші того й іншого.

Серйозним недоліком біоетанолу є те, що при згорянні етанолу у вихлопних газах двигунів з'являються альдегіди (формальдегід і ацетальдегід), які завдають живим організмам не меншу шкоду, ніж ароматичні вуглеводні.

Однак, надзвичайно важливим є позитивний ефект використання біоетанолу як палива, адже вуглекислий газ, що виділяється під час його спалення, має первинне атмосферне походження. Тобто його знову можуть асимілювати рослини, які потім будуть джерелом отримання цього самого паливного етанолу. Коли ж використовується викопне паливо, то виділений ним CO₂ є додатковим джерелом сумнозвісного парникового ефекту.

Біометанол — вид рідкого біопалива на основі метилового (деревного) спирту, одержуваного шляхом сухої перегонки відходів деревини і конверсією метану з біогазу. Виробництво біомаси може здійснюватися шляхом культивування фітопланктону в штучних водоймах, створюваних на морському узбережжі. Вторинні процеси являють собою метанове бродіння біомаси і подальше гідроксилування метану з отриманням метанолу.

Незважаючи на високе октанове число — більше ніж 100, теплотворна здатність метанолу вдвічі менша, ніж у бензину. Це, а також недостатня летючість чистого спирту, пояснює необхідність змішування метанолу з бензином. Стандартом є біометанол M85 (літера «M» від англ. Methanol), що містить 85 % метилового спирту і 15 % бензину. Біометанол M85 не отримав поширення як внаслідок низького енергетичного вмісту, так і через виключну корозійну активність метанолу, яка вимагає застосування спеціальних матеріалів.

Біобутанол – C₄H₁₀O — бутиловий спирт. Безбарвна рідина з характерним запахом. Широко використовується у промисловості.

Виробництво бутанолу почалося на початку ХХ століття. У 50-х роках через падіння цін на нафту бутанол почали виробляти з нафтопродуктів.

Бутанол не має корозійних властивостей. Може, але не обов'язково повинен, змішуватися з традиційним паливом. Енергоємність бутанолу близька до енергоємності бензину. Бутанол може використовуватися в паливних елементах, а також як сировина для виробництва водню.

Сировиною для виробництва біобутанолу можуть бути цукрова тростина, буряк, кукурудза, пшениця, а в майбутньому і целюлоза.

Диметиловий ефір (ДМЕ) – C_2H_6O може вироблятися як з вугілля, природного газу, так і з біомаси. Велика кількість диметилового ефіру виробляється з відходів целюлозно-паперового виробництва.

Диметиловий ефір – екологічно чисте пальне без вмісту сірки, вміст оксидів азоту у вихлопних газах на 90% менший, ніж у бензині. Застосування диметилового ефіру не вимагає спеціальних фільтрів, але необхідна переробка систем живлення (установка газобалонного обладнання, коректування сумішоутворення) та запалювання двигуна. Без переробки можливе застосування на автомобілях з LPG-двигунами при 30 % вмісті в паливі.

Біодизель — паливо на основі жирів тваринного, рослинного і мікробного походження, а також продуктів їх етерифікації.

Біодизельне паливо виробляється з ріпаку та сої і на сьогодні коштує дорожче за традиційне дизельне пальне. Для отримання біодизельного палива можна використовувати також соняшникову і кукурудзяну олію, але найчастіше використовують ріпакову, оскільки собівартість виробництва зерна ріпаку, порівняно з іншими олійними культурами, найнижча.

Біопаливо на основі рослинної олії ще у 1853 р. винайшли англійці. Двигун для нього був винайдений пізніше. 10 червня 1893 р. у місті Аугсбург, Німеччина, відомий інженер і конструктор Рудольф Дизель випробував свій перший одноциліндровий двигун, який був завдовжки 3 м та важив 4,5 т. Двигун вибухнув і ледь не вбив винахідника. На згадку про подію, 10 червня проголошено «Міжнародним днем біодизеля». У 1900 р. на Всесвітній виставці в Парижі Р. Дизель продемонстрував свій винахід і отримав головну нагороду.

Винахідник вірив, що майбутнє для його двигунів — за використанням біопалива. У 1912 р. він передбачав, що: «Використання рослинних жирів для виробництва палива може видаватись несуттєвим на той момент, але з плином часу такі жири можуть стати настільки ж важливими, як продукти з нафти та вугільної смоли». Справді, на той час біопаливо було набагато дорожчим від звичайного дизельного палива з нафти. Протягом 1920-х виробники дизельних двигунів переорієнтували свої двигуни на використання дизпалива, виготовленого з нафти, що має меншу в'язкість порівняно з рослинними жирами. Нафтова промисловість увійшла на паливний ринок, оскільки виробництво палива з нафти було значно дешевшим, ніж з біологічної сировини. Як наслідок — багаторічний занепад виробництва біопалива. Лише нещодавно на тлі занепокоєння станом довкілля та зменшення різниці у вартості біодизельне паливо стало реальною альтернативою традиційному.

Дослідження у галузі використання соняшникової олії та підвищення її

якості до стандартів звичайного дизпалива почалися у ПАР 1979 р. До 1983 р. результати досліджень були опубліковані. Технологічний процес дозволяв виготовляти біодизель, якість якого відповідала нормам звичайного дизельного пального. Австралійська компанія Gaskoks отримала технологію від південноафриканських дослідників і спорудила перший пілотний завод для виробництва біодизеля у 1987 р., а перший завод для масового виробництва — у 1989 р.

Протягом 1990-х заводи були спорудженні у багатьох європейських країнах, зокрема Чехії, Німеччині, Швеції. Франція розпочала власне виробництво біодизелю з рапсової олії: у звичайне дизельне паливо додавати 5 % біодизелю, а у дизельне паливо, що використовується громадським транспортом, — 30 %. Тривають експерименти з використанням 50 % біодизелю. Мільйони автомобілів в Європі працюють на біодизелі. Чистий, без домішок, біодизель можна заливати до баку будь-якого дизельного транспорту. У 2005 р. Міннесота стала першим штатом США, де законодавчо встановлено норму продажу дизпалива лише із вмістом біодизелю не меншим 2 %.

Біотехнологічний процес одержання біодизельного палива є досить простим. Рослинна олія є сумішшю тригліцеридів, ефірів, сполучених з молекулою гліцерину. Основне завдання при одержанні біодизелю полягає в тому, щоб видалити гліцерин, замінивши його на спирт. Цей процес називають переетерифікацією. В результаті етерифікації утворюються ефіри жирних кислот (біодизель) та побічний продукт переетерифікації – триатомний спирт гліцерин (в неочищеному стані його називають гліцерилом). З 1 тонни олії та 0,1 тонни метанолу виробляють орієнтовно 1 тонну біодизелю та 0,1 тонну гліцерилу.

Найпоширеніший спосіб отримання біодизелю — переетерифікація рослинної олії та тваринних жирів спиртами (етилним, метилним, ізопропіловим, бутанолом).

Під час реакції переетерифікації олії та жири вступають у реакцію з метилним (етилним) спиртом у присутності каталізатора (лугу), внаслідок чого утворюються складні ефіри (біодизель), а також гліцеролова фаза (так званий «чорний» гліцерин), що містить 45–56 % гліцерину, 4 % метанолу, що не прореагував, 13 % жирних кислот, 8 % води, 9 % неорганічних солей, 10 % ефірів. Одержану в результаті реакції суміш розділяють в сепараторах або ємностях-відстійниках. Очищений гліцерин використовується для виробництва миючих засобів, а після глибокої очистки використовується в фармацевті. Проте для проведення очистки гліцерину та утилізації відходів необхідні додаткові капіталовкладення на етапі проектування та будівництва переробного заводу.

Ці технології є дещо багатостадійними і пов'язані з нагромадженням відходів, зокрема гліцерину, який не піддається етерифікації в цих умовах. Розробляються способи одержання біодизелю з використанням твердих гетерогенних каталізаторів, які відкривають перспективу створення одностадійних енергозберігаючих процесів переетерифікації олій та жирів та етерифікацію гліцерину навіть із застосуванням етанолу. Найбільше практичне застосування серед твердих кислот знаходять цеоліти, індивідуальні та змішані

оксида, активовані глини, органічні сульфокатіони.

Висока температура спалаху робить біодизель одним з найбільш пожежобезпечних видів палива.

Кількість викидів шкідливих сполук і твердих часток при роботі двигуна на біодизелі зменшується на 20–25 %, чадного газу — на 10–12 %, ніж при роботі на мінеральному дизельному паливі. Біодизель не має неприємного бензолорогозапаху, а вихлоп машини, що працює на ньому, пахне смаженим насінням.

Біодизель відноситься до екологічних видів палива, а вуглекислого газу в вихлопні рівно стільки, скільки споживається із атмосфери тими ж рослинами, з яких отримується олія. Один гектар ріпаку може поглинати до 20 т вуглекислого газу за сезон.

Крім зниженої температури твердіння (а це важливо для зимових погодних умов), біодизель як моторне паливо має низку цінних якостей. Його застосування істотно продовжує час життя двигуна, оскільки воно має кращу змащувальну здатність, ніж пальне з нафти. При цьому на 90 % знижується ризик ракових захворювань. За рахунок того, що біодизель містить 11 % кисню, у продуктах його згоряння кількість вуглекислого газу зменшується на 80 %, чадного газу — на 35 %, окисів сірки — на 100 %, аерозолів (димових частинок розміром менше 10 мікрон) — на 32 %, ніж у звичайного дизпалива.

У разі потрапляння біодизельного палива у воду чи ґрунт воно майже повністю розпадається протягом 25–30 днів, тоді як 1 кг мінеральних нафтопродуктів може забруднити до 1 млн. л питної води, знищивши у ній всю флору і фауну. Біодизель може бути використаний у чистому вигляді (марка У100) або у суміші зі звичайним дизпаливом. Найпоширенішим є В20, що містить 20 % біодизеля і 80 % звичайного палива.

Отже, світовий досвід переконує, що рідке біопаливо стає перспективною категорією енергоресурсів, яка за своїм значенням посідає наступну позицію після твердих палив з біомаси. Невелика поки частка рідкого біопалива від загального використання моторних масел, мінерального дизелю та бензину у країнах ЄС пояснюється насамперед високою вартістю виробництва, що робить рідке біопаливо неконкурентоспроможним порівняно з традиційним. Незважаючи на високу собівартість, виробництво рідкого палива з біомаси у європейських країнах динамічно зростає. Це стає можливим завдяки екологічно продуманій економічній політиці на державному рівні.

Основні шляхи розвитку виробництва рідкого біопалива безпосередньо пов'язані з вирощуванням олійних культур та рослин з великим вмістом крохмалю. Залежно від виду сировини і масштабів виробництва, витрати на виготовлення рідкого біопалива змінюються у діапазоні від 0,4 дол./дм³ для етанолу з кукурудзи у США до 0,6 дол./дм³ для метилових ефірів вищих жирних кислот з рослинних олій у Європі. Порівняно з ними, вартість виробництва рідкого палива з корисних копалин становить близько 0,2 дол./дм³. Проте експерти стверджують, що різниця у вартості біопалива та мінерального пального почне зникати через 2–3 роки. На основі проведених у США досліджень встановлено, що вартість ліквідації негативних наслідків,

викликаних виробництвом і застосуванням традиційного палива з корисних копалин, коливається в межах від 0,1 до 0,4 дол./дм³. Таким чином, сумарний баланс вартості свідчить про те, що пальне, отримане з відновлювальних біологічних джерел, може бути дешевшим у валовому економічному розрахунку.

З біомаси також можна отримувати *біоводень*. Хімічним шляхом біомаса може безпосередньо перероблятися на водень: з 20 т біомаси можна отримати 2,2 т біоводню. Після його виділення залишається багато мінеральної речовини, яку можна використовувати як добриво. Отже, альтернативою звичайному паливу у майбутньому стане енергія біоводню. Сьогодні науковці ЄС покладають велику надію на те, що будуть розвиватися також програми розвитку біоводню, і енергетичні потреби будуть забезпечуватися за допомогою цього виду палива.

З погляду екології, водень, одержаний біотехнологічним шляхом переробки органічних сполук рослинного походження, є ідеальним паливом, що має високу теплотворну здатність (12,8 кДж/м³) і згорає без утворення будь-яких шкідливих домішок. Існують фототрофні бактерії, здатні виділяти водень під дією світла. Поки що вони працюють досить повільно, але мають такий біохімічний механізм і містять такі ферменти, які дозволяють каталізувати утворення водню з води. Деякі ферменти паралельно з воднем утворюють і кисень, тобто відбувається фотоліз води. Прикладом може бути система, що включає хлоропласти або хлорофіл і фермент гідрогеназа. Хоча цей напрям поки що не дав практичних результатів, він досить перспективний для подальшого розвитку біоенергетики.

Біопаливо другого покоління — паливо, яке отримане різними методами піролізу біомаси, або інші палива, відмінні від метанолу, етанолу, біодизеля.

Швидкий піроліз дозволяє перетворити біомасу на рідину, яку легше і дешевше транспортувати, зберігати і використовувати. З рідини можна зробити автомобільне паливо або паливо для електростанцій.

Біопаливо третього покоління. Біопалива третього покоління — паливо, отримане з водоростей. Крім вирощування водоростей у відкритих ставках існують технології вирощування водоростей в малих біореакторах, розташованих поблизу електростанцій. Скидне тепло ТЕЦ здатне покрити до 77 % потреб в теплі, необхідному для вирощування водоростей. Ця технологія не вимагає спекотного тропічного клімату.

Підсумовуючи все сказане вище, можна зробити такий висновок: енергія з біомаси представлена на планеті чи не у найбільшому асортименті. Можна просто спалювати біомасу й отримувати енергію у вигляді тепла і газу. Зброджуючи біомасу, можна отримати етанол, а застосовуючи анаеробне бродіння — біогаз. У разі переробки олійних культур як джерело енергії можна отримати біодизель.

Однак постає одне важливе запитання: чи достатньо на планеті запасів біомаси для задоволення потреб людства виключно за допомогою альтернативної енергетики? За даними ФАО (Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН), більшість країн світу просто не

використовують свій потенціал біомаси. Шляхом поліпшення системи управління та менеджменту (дотримання технологій, правильне внесення добрива тощо) урожаї сільськогосподарських культур можна підвищити.

Нещодавно в ЄС з'явився закон про квоти на біопаливо, який зобов'язує у майбутньому всіх споживачів пального використовувати як домішки альтернативне паливо. Зараз витрати на виробництво біоетанолу та біодизелю майже удвічі перевищують витрати на мінеральне паливо. Водночас порівняємо різні види палива з погляду енергетики. Енергетична цінність 1 т зерна становить 1,376 МДж. Якщо цю саму масу переробити на біоетанол, вихід енергії буде на 30 % більшим, а у разі використання всіх побічних продуктів енергетична цінність зросте на 60 %. Коли всі витрати, які вкладаються у вирощування сільськогосподарських культур, перерахувати в енергетичний еквівалент, і порівняти з урожайністю, то сільське господарство є найбільш прибутковою з усіх галузей господарства внаслідок виробництва найбільшої кількості енергії.

На ринку альтернативних джерел Німеччина може запропонувати біоетанол за ціною 0,48–0,55 євро/л, тоді як США — за 0,20 євро, а у Бразилії ці витрати взагалі становлять до 0,13 євро за 1 літр пального. Виграє той, хто використовуватиме для виробництва біоетанолу дешеву сировину. Перспективним здається виробництво пального в ЄС з дешевої цукрової тростини, придбаної, скажімо, в Бразилії. Якщо Україна хоче вийти на ринок біоетанолу зі своєю продукцією, то основним її конкурентом буде якраз Бразилія.

Крім цього, можуть бути зменшені викиди CO₂ на 1000 млн. т щороку (це еквівалентно спільним щорічним викидам у Канаді та Італії), якщо країни — члени Організації економічного співробітництва і розвитку (ОЕСР) будуть використовувати замість вугілля біомасу — паливо, джерелом якого є відходи сільськогосподарського виробництва і лісової промисловості. Біомаса є економічно ефективним і нейтральним, з погляду вмісту вуглецю джерелом енергії. Саме біомаса може забезпечити енергоспоживання 100 млн. будинків, що еквівалентно енергії з 400 традиційних великих електростанцій.

У 2020 р. використання біомаси в Європі збільшиться до 235 млн т. Отже, біомаса становитиме 65,8 % усіх відновних джерел енергії. За прогнозами експертів, потенціал біомаси збільшиться: у 2030 р. — з 243 до 361 млн т, з них у майбутньому найбільшу частку займатимуть саме енергетичні культури.

? Питання для самоконтролю:

1. Біопаливо – це...
2. Для визначення чого вживається термін «енергетичні плантації»?
3. Найбільш сприятливі енергетичні культури для отримання твердого біопалива – це...
4. Біоетанол – це... Які джерела його отримання?

5. Які стадії включає сучасна промислова біотехнологія отримання етанолу із харчових продуктів?
6. Біометанол – це...
7. Біобутанол – це...
8. Диметиловий ефір – це...
9. З чого виробляється біодизельне паливо?
10. Біоводень – це...
11. Біопаливо другого покоління – це...
12. Біопаливо третього покоління – це...

3.3 Біогеотехнологія. Біотехнологічне вилуговування металів

Біогеотехнологія – використання геохімічної діяльності мікроорганізмів у гірничодобувній промисловості. Це екстракція й концентрування металів при біологічному очищенні стічних вод підприємств гірничодобувної промисловості та флотаційних процесах: вилуговування бідних і відпрацьованих руд, десульфування кам'яного вугілля, окислення піритів і порід, що містять пірит.

Своїм корінням біогеотехнологія йде в геологічну мікробіологію. Мікроорганізми приймали та беруть активну участь у геологічних процесах. Біологічні властивості різних груп мікроорганізмів і особливості їхньої життєдіяльності в родовищах корисних копалин складають наукові основи біогеотехнології.

Біогеотехнологія стихійно зародилася ще в XVI в. До нас дійшли відомості про те, що в ті далекі часи в Угорщині для одержання міді добуту руду зрошували водою. Цей нехитрий технологічний прийом виявився прообразом сучасного бактеріально-хімічного методу купчастого вилуговування металів з руд. Зрозуміло, тоді ще не знали, що даний процес одержання міді за своєю природою є біотехнологічним. Це стало відомо тільки в 1922 р. завдяки роботам німецьких вчених Рудольфа й Хельброннера. Надалі біогеотехнологія розвивалася нерівномірно й свого повноліття досягла до початку 80-х років XX століття. До цього часу поряд з бактеріальним вилуговуванням металів сформувалися й інші розділи біогеотехнології – видалення сульфуру з вугілля, боротьба з метаном у вугільних шахтах, підвищення нафтовіддачі нафтоносних шарів.

Біогеотехнологія вилуговування металів – оснований на використанні, головним чином, тіонових (окислюючих сірку та сірковмісні сполуки) бактерій для екстракції металів з руд, рудних концентратів і гірських порід. При переробці бідних і складних руд тисячі й навіть мільйони тонн коштовних металів губляться у вигляді відходів, шлаків, «хвостів». Відбуваються також викиди шкідливих газів в атмосферу. Бактеріально-хімічне вилуговування металів зменшує ці втрати. Основу цього процесу становить окислення сульфідних мінералів, що містяться в рудах, тіоновими бактеріями.

Окислюються сульфіди міді, заліза, цинку, олова, кадмію й т.д. При цьому метали з нерозчинної сульфідної форми перетворюються на сульфати, добре розчинні у воді. Із сульфатних розчинів метали добуваються шляхом осадження, екстракції, сорбції. Одним з можливих шляхів добування металів з розчинів є адсорбція металів клітинами живих мікроорганізмів, так звана біосорбція металів. Метали включаються до складу специфічних білків – металотіоненів. Корисними для біогеотехнології властивостями володіє цілий ряд мікроорганізмів. Але основним з них, безумовно, є відкритий в 1947 р. Колмером і Кінкелем вид тіонових бактерій – *Thiobacillus ferrooxidans*. Необхідну для росту енергію ці бактерії одержують при окисленні відновлених сполук сірки і двовалентного заліза в присутності вільного кисню. Вони окислюють практично всі відомі на цей час сульфіди металів. Джерелом вуглецю для росту бактерій служить при цьому вуглекислий газ. Характерною рисою їхньої фізіології є потреба в дуже кислому середовищі. Вони розвиваються при рН від 1 до 4,8 з оптимумом при 2 – 3. Інтервал температур, у якому можуть розвиватися бактерії цього виду, становить від 3 до 40°C з оптимумом при 28 °C. Тіонові бактерії широко поширені в природі. Вони живуть у водоймах, ґрунтах, вугільних і золоторудних родовищах. У значних кількостях зустрічаються вони в родовищах сульфатних і сульфідних руд. Але в умовах природного залягання таких руд активність тіонових бактерій стримується відсутністю кисню. При розробці сульфідних родовищ руди вступають у контакт із повітрям, і в них розвиваються мікробіологічні процеси, що призводять до вилуговування металів. Застосовуючи певні біотехнологічні заходи, цей природний процес можна прискорити.

Основною технологічною операцією цього способу є зрошення відвалів добутої руди розчинами, що містять сульфатну кислоту, іони двох- і тривалентного заліза, а також життєздатні клітини тіонових бактерій. Іноді для посилення процесів вилуговування усередину відвалу подають повітря. У таких умовах цей розчин фільтрується через товщу руди і в результаті мікробіологічних і хімічних процесів збагачується металами, що видобувають із руди. Потім цей розчин збирають за допомогою системи колекторів, і з нього добувають метали одним із фізико-хімічних методів. Щорічно у світі таким способом добувають сотні тисяч тонн міді, або приблизно 5 % від її загального видобутку. У ряді країн цим способом одержують також значні кількості урану.

У бактеріальному вилуговуванні беруть участь наступні мікроорганізми:

1. *Thiobacillus ferrooxidans*. Цей найбільш вивчений із усіх мікроорганізмів, що вилуговують, майже завжди можна виділити із середовища, де відбувається окиснення заліза чи мінералів. *T. ferrooxidans*, імовірно, представлений у різних природних середовищах штамми з температурним оптимумом від 10 до 30 °C. Максимальна температура його життєдіяльності дорівнює 37 °C .

2. *Leptospirillum ferrooxidans*. Цей організм уперше був виділений у Вірменії, однак тепер відомо, що зустрічається в багатьох місцях, де здійснюється вилуговування. Він може рости при 40 °C і рН 1,2 на піриті (FeS_2) і, очевидно, окислює тільки залізо. Цим він відрізняється від *T. ferrooxidans*, що

окисляє сірку так само добре, як залізо.

3. *Thiobacillus thiooxidans*, *T. acidophilus* і *T. organoparus*. Ці ацидофільні організми окисляють тільки сірку і її сполуки, а також діють на сірку піриту разом з *Leptospirillum ferrooxidans*. Вони можуть брати участь в окисненні сірки, що утвориться в результаті хімічної реакції між іонами тривалентного заліза і сульфідами міді. *T. thiooxidans* змінює рН середовища, у якому він росте, до значно менших величин (0,65), ніж ті, котрі переносить охарактеризований штам *T. ferrooxidans*, і здатний таким чином підвищувати ефективність прямого кислото залежного вилуговування сульфідів (наприклад, Pb, Cd, Ni) у присутності елементарної сірки.

Помірні термофіли. Виявлено різні термофільні мікроорганізми, що окислюють пірит, залізо і сірку бактерії, які найкраще ростуть при температурах близько 50 °С. Ця група помірних термофілів включає факультативних гетеротрофів, хемолітотрофних гетеротрофів і автотрофів, причому виявляються все нові організми цього класу. Дані організми можуть відігравати істотну роль у вилуговуванні мінералів, що само розігріваються.

Крайні ацидотермофіли. Найкраще вивчений рід *Sulfolobus*. Усі його види окислюють сірку, а деякі (наприклад, *S. brierleyi*) здатні до окиснення заліза і таких мінералів, як халькопірит. Ці організми переносять температуру до 85 °С і виділені в основному з гарячих джерел. Утім, недавно з дренажних вод вугільних відвалів був отриманий організм, подібний з *Sulfolobus*. Рід *Sulfolobus* відноситься до *Archebacteriaceae* – окремої групи бактерій, що пропонують вважати третім царством живих організмів. Представники цього роду, імовірно, відіграють важливу роль у вилуговуванні мінералів при підвищених температурах.

Усі згадані бактерії переводять метали в розчин різними шляхами. Відповідні методи були названі «прямими» і «непрямими». Окисним процесом, який «прямо» каталізується ферментами бактерій, є окиснення заліза.

Вилуговування, що відбувається з участю іона трьохвалентного заліза, що утворюється в результаті життєдіяльності бактерій, називають «непрямою» екстракцією. Нерідко в ході цієї хімічної реакції утворюється елементна сірка, що може безпосередньо окислюватися бактеріями до сірчаної кислоти. Це також сприяє вилуговуванню сульфідів

У наш час бактеріальне вилуговування відоме також як біотехнологія металів [*metal biotechnology*] — технологія добування металів з руд, концентратів, гірських порід і розчинів з використанням мікроорганізмів або їх метаболітів (продуктів обміну в живих клітинах). Найбільш вивчені і освоєні процеси купчастого і підземного вилуговування міді, цинку, урану та інших металів з бідних руд. Собівартість міді, що отримується цим способом, в 1,5-2 рази нижча за відомі технології. У процесах вилуговування металів біотехнологія металів застосовується при переробці тих концентратів, які неможливо переробляти традиційними способами. Біотехнологічні схеми замкнуті, що знижує або виключає забруднення довкілля.

До нових тенденцій в розвитку біотехнології металів слід віднести збагачення гірських порід і руд, наприклад, бокситів, сульфідизацію окислених

руд, біосорбцію металів з розчинів. Використання бактерійно-хімічних способів дозволяє розширити сировинні ресурси, забезпечити комплексність використання сировини без створення складних гірничодобувних комплексів, автоматизувати процеси, підвищити продуктивність праці і культуру виробництва, вирішити багато проблем охорони довкілля.

Деякі мікроорганізми можуть каталізувати певні окисно-відновні реакції – окислення Fe й Mn у воді, окислення сульфурвмісних сполук, окислення-відновлення азотовмісних сполук. Аеробні бактерії можуть виділяти залізо, мідь, сульфати.

Вилуговування мідних відвалів. Методи, що використовувалися у XVIII ст. для вилучення міді з куп вивітреної породи, в основному збереглися до наших днів. У XX столітті вилуговування відвалів, як називають цей процес, розвивалося в США. Воно використовується для одержання міді з бідних руд (< 0,4 % міді), а також з відвального матеріалу з низьким вмістом міді. Такі відвальні матеріали накопичуються при великомасштабній відкритій розробці руди. Бідну руду або відвальну породу перевозять з кар'єру у місце де природний схил дає можливість збирати розчини. Щоб уникнути забруднення ґрунтових і поверхневих вод вибирають непроникні для води ділянки.

Відвали, що утворюються в результаті роботи землерийної техніки, мають величезні розміри, досягаючи у висоту 300 і більше метрів. Для початку процесу вилуговування відвал змочують водою, підкисленою сірчаною кислотою до рН 1,5–3,0, шляхом її розпилення, чи поливу через труби, поміщені вертикально всередину породи. Цей кислий розчин просочується крізь бідну руду. Він містить кисень і вуглекислий газ і створює сприятливе середовище для розмноження ацидофільних тіобацил, широко розповсюджених у сульфідних рудах. У деяких випадках вміст *Thiobacillus ferrooxidans* перевищує 10^6 кліток на 1 кг породи і на 1 мл розчину, що вилуговує. Цей організм активно окислює розчинні іони двовалентного заліза і впливає на сірко- і залізовмісні мінерали. *T.ferrooxidans* прискорює окиснення двохвалентного заліза в 10^6 разів. При окисненні мідно-сульфідних мінералів нерідко утворюється елементарна сірка. Ця сірка маскує частки мінералів, обмежуючи вплив на них з боку тривалентного заліза. *T. ferrooxidans*, окислює деякі розчинні сполуки сірки та елементарну сірку. Руйнування сірки цим організмом приводить до видалення шару сірки, що маскує мінерали, і підсилює процес вилуговування. Таким шляхом *Thiobacillus thiooxidans* і *Thiobacillus ferrooxidans* спільно розкладають мінерали сульфідної природи і є могутнім окисником для розчинення мідно-сульфідних мінералів і утворення сірчаної кислоти. Остання створює сприятливе середовище для діяльності мікроорганізмів і утримує іони двовалентної міді у розчині.

У середовищі розвиваються природні тіобацили. Необхідній активності мікроорганізмів сприяють забезпечення кислотності відвалів і доступ кисню. Циркуляції повітря усередині породи сприяє й особлива форма відвалів (з гребенями, ребрами). Іноді вертикально всередині відвалу поміщають труби з отворами і через них продувають повітря, що сприяє протіканню біологічних і хімічних реакцій.

Відвали, що вилуговують, мають значні розміри. Це створює багато інженерних проблем, може перешкоджати діяльності бактерій і протіканню важливих хімічних реакцій. До таких проблем відносяться, по-перше, ущільнення відвалів і утворення осадів, що ускладнюють взаємодію розчину з мінералами; по-друге, попадання усередину відвалів великих мінералізованих брил, які не піддаються руйнуванню; і по-третє, підвищення температури відвалів за рахунок протікання в них екзотермічних реакцій. При високих температурах тіобацили інактивуються, але може підвищуватися активність термофільних бактерій, що вилуговують. З відвалів були виділені ацидотермофільні штами, близькі до *Thiobacillus*, однак термофільні штами *Sulfolobus* не виявлені.

З відвалів витікають розчини, що містять мідь. Ці розчини направляють у відстійники, мідь з них одержують шляхом осадження з використанням заліза чи екстракцією розчинниками. У першому випадку створюють умови, при яких розчини контактують із залізом і протікає наступна реакція: «відпрацьовані» розчини знову надходять у відвал. В останні роки для одержання міді з розчину почали застосовувати екстракцію розчинниками.

Вилуговування урану. Для екстракції урану бактерії застосовуються рідше. Для того щоб при вилуговуванні урану можна було використовувати біологічну технологію, руда і зв'язані з нею породи повинні бути багаті сульфідними мінералами і не занадто інтенсивно поглинати кислоту. Бактеріальне вилуговування урану застосовували в східних районах Канади для вилучення залишкового урану на уже вироблених площах, а також з відвалів. У першому випадку стінки і дах вибоїв (при підземному виробництві) промивали звичайною чи підкисленою водою. Для росту бактерій досить 3–4 місяці, за цей час *T. ferrooxidans* окислює залізо до трьохвалентного. Потім трьохвалентне залізо окислює відновлений уран до розчинного окисненого стану. Після цього періоду вибої знову промивають. Промивні води, що містять уран, збирають і вилучають з них уран за допомогою іонного обміну або екстрагують розчинниками.

Через величезні масштаби операцій по вилуговуванню відвалів активність бактерій, що розвиваються в ході процесу, можна контролювати тільки обмежено. Для найбільш ефективного використання бактеріального вилуговування необхідно створювати такі інженерні схеми, що дозволяли б здійснювати контроль за активністю мікробів. Крім вилуговування відвалів у гірничорудній промисловості існують процедури, при яких для екстракції металів використовуються гідрометалургійні процеси (реакції, що відбуваються у воді). Ці технології (вилуговування *in situ*, чанове вилуговування, кучне вилуговування) застосовуються і до процесів бактеріальної екстракції металів.

Вилуговування *in situ* з успіхом використовують для вилучення урану. Розчини, що вилуговують, вводять у незруйноване урановмісне рудне тіло через ін'єкційну свердловину. Ці розчини містять хімічний окиснювач (наприклад, пероксид водню), взаємодіють з мінералом, окислюючи уран і переводячи його в розчинну форму. Далі розчини викачують через вихідні свердловини.

Такий же підхід можливий і при екстракції інших металів, що присутні у низьких концентраціях і глибоко залягають в родовищах.

Чанове вилуговування використовується в гірничорудній промисловості для вилучення урану, золота, срібла і міді. Мідні й уранові руди сильно подрібнюють і змішують з розчинами сірчаної кислоти у великих ємностях (звичайно розміром 30 м·50 м·6 м) для переведення металу в розчинну форму. Час вилуговування, як правило, складає кілька годин. Мідь одержують з кислого розчину електролізом, уран — іонообмінним шляхом чи екстракцією розчинником. Ферментація в чанах, а також у відстійниках з постійним чи попереднім перемішуванням може з успіхом застосовуватися для бактеріального вилуговування тому, що при цьому легко контролювати фактори, що впливають на активність мікроорганізмів. До цих факторів відносяться: розмір часток руди, її якість, щільність пульпи (маса руди на одиницю об'єму розчину), рН, вміст вуглекислого газу, кисню, час перебування часток у реакторі, температура і вміст живильних речовин. Чанове вилуговування створює передумови для використання специфічних штамів мікроорганізмів (наприклад, ацидотермофільних бактерій) або мікробів, отриманих методами генетичної інженерії. Спочатку чанове вилуговування застосовували для руд з дуже високим вмістом металів, однак ця технологія може використовуватися й у випадку матеріалів більш низької якості. При цьому варто враховувати економічні і технологічні фактори.

Кучне вилуговування застосовують для хімічної екстракції урану, міді, золота і срібла. При вилуговуванні урану і міді руду подрібнюють і поміщають на спеціальні водонепроникні поверхні. Купи можуть містити $10\text{--}50 \cdot 10^8$ кг руди і у висоту досягати 4,5–5,5 м. Вершини куп вирівнюють і наносять на них розчин сірчаної кислоти. Нові купи часто поміщають поверх вже існуючих. Такий спосіб вилуговування урану і міді подібний з відвальним, однак тут використовуються більш концентровані розчини сірчаної кислоти, частки породи менші по розміру, а якість породи (вміст металу в ній) вище. Кучне вилуговування триває кілька місяців, а для відвалів вимагаються роки. Цей метод застосовують також для екстракції золота і срібла з руд і навіть з відходів, подібних до шлаку (порожня порода, що залишається після вилучення руди і подрібнення). Щоб забезпечити ефективне протікання розчину, тонко подрібнений шлак піддають агломерації (спікання в кульки). У лужних розчинах ціанідів срібло і золото утворюють комплекси, які потім відокремлюють від розчину за допомогою активованого вугілля

Хоча процеси біологічного вилуговування і являють собою альтернативу звичайним процесам екстракції, малоімовірно, що мікробіологічна технологія в найближчому майбутньому замінить такий здавна існуючий процес, як виплавка металів. Проте, передбачається, що мікробіологічна технологія дозволить переробляти руди і відходи, використання яких звичайними методами не економічно. Прикладами такого роду є переробка величезних кількостей шлаків і відходів з невеликим, але все-таки помітним вмістом дорогоцінних чи стратегічних металів, а також екстракція металів, з мінеральних матриксів. Бактерії легко розкладають пірит, арсенопірит і інші

мінерали звільняючи метали.

Ще одна галузь застосування біологічного вилуговування, що обіцяє бути економічно вигідною, – вибіркоче вилуговування деяких металів. При цьому один з металів якого-небудь мінералу переходить у розчин, а інші залишаються нерозчиненими. Деякі мінерали для збільшення їхньої здатності до флотації можна піддати попередньому біологічному вилуговуванню. Флотація являє собою метод поділу мінералів, утворена реагентами піна піднімає на поверхню води деякі тонко здрібнені мінерали, тоді як інші тонуть.

Біотехнологія вилуговування металів здатна зменшити руйнування земної поверхні, а також усунути необхідність виплавки металів із сульфідних мінералів. За допомогою цього підходу можна буде вилучати бідні сульфідні мінерали при великій глибині їх залягання. Розробка подібних родовищ загальноприйнятими підземними методами чи відкритим способом нерентабельна.

Одна із самих багатообіцяючих можливостей бактеріального вилуговування – використання його для видалення сірки з вугілля перед спалюванням останнього. *Біогеотехнологія видалення сульфуру* з вугілля основана на використанні тіонових бактерій для видалення сульфурвмісних сполук із вугілля. Як буре, так і кам'яне вугілля нерідко містять значні кількості сульфуру. Загальний зміст сірки у вугіллі може досягати 10 – 12%. При спалюванні вугілля сірка, що міститься в ньому, перетворюється в сірчистий газ, що надходить в атмосферу, де з нього утворюється сульфатна кислота. З атмосфери сульфатна кислота випадає на поверхню землі у вигляді сульфатнокислотних дощів.

За наявним даними, у деяких країнах Західної Європи в рік на 1 га землі з дощами випадає до 300 кг сульфатної кислоти. Неважко собі представити, який збитокносять кислотні дощі здоров'ю людини, його господарській діяльності й навколишній природі. Крім цього, високо сірчисте вугілля погано коксується й тому не може бути використане у кольоровій металургії. Мікробне видалення сірки з вугілля, на думку фахівців, є економічно вигідним, і з ним пов'язують надії на вирішення проблеми сульфатнокислотних дощів.

Перші досліді по спрямованому видаленню сірки з вугілля з використанням мікроорганізмів були виконані в 1959 р. С. М. Зарубіною, Н. Н. Ляліковою і Е. І. Шмук. У результаті цих дослідів за 30 діб за участю бактерій *Th. Ferrooxidans* з вугілля було вилучено 23 – 30% сірки. Пізніше кілька робіт по мікробіологічному видаленню сірки з вугілля було опубліковано американськими дослідниками. Їм удалося за допомогою тіонових бактерій знизити вміст піритної сірки в кам'яному куті за 4 доби майже на 50 %.

Цей метод супроводжується попутним вилуговуванням різних металів. Відомо, що в помірних кількостях містяться у вугіллі германій, нікель, берилій, ванадій, золото, мідь, кадмій, свинець, цинк, марганець. Попутне одержання коштовних металів при десульфуризації вугілля дає додатковий економічний ефект.

Роботи з видалення піритної сірки з вугілля мікробіологічним шляхом

проводиться зараз у багатьох країнах світу. За останніми повідомленнями в лабораторних умовах вдається знизити вміст сірки у вугіллі шляхом мікробіологічного вилуговування за 5 діб майже на 100 %. Мікробіологічний спосіб десульфуризації вугілля розглядається як досить перспективний.

Бактерії легко каталізують розчинення неорганічної (піритної) сірки, що міститься в кам'яному вугіллі. Однак на органічну сірку ці бактерії не діють. Були досліджені й іншої бактерії, здатні ефективно видаляти сульфурвмісні органічні речовини з кам'яного вугілля.

У порівнянні зі звичайними методами видобутку і збагачення руд і виплавки металів бактеріальне вилуговування може виявитися цілком конкурентоздатним завдяки меншим енерговитратам, зниженню витрати реагентів при екстракції металів, а також меншому негативному впливу на навколишнє середовище.

Практичне застосування бактеріального вилуговування стримується з ряду причин. Головна перешкода полягає у тому, що процес ще погано досліджений як на дослідних установках, так і в польових умовах. Тому важко судити про економічну значимість процесів бактеріального вилуговування й оцінити технологічні складнощі, що можуть виникнути при широкомасштабному промисловому використанні мікробіологічних процесів. Цілком імовірно, що створення спеціальної системи оптимізації біологічної активності розширило б використання бактерій при вилуговуванні. До параметрів, що повинні при цьому враховуватися, відносяться температура, живильні речовини, вміст кисню і вуглекислого газу, розмір часток, якість мінералу, щільність пульпи, рН та ін.

Процеси бактеріального вилуговування нерідко протікають повільніше, ніж хімічні процеси, у яких дрібні частки обробляють сильними реагентами при підвищених температурі і тиску. При екстракції металів з ряду мінеральних концентратів швидкі хімічні процеси економічно більш вигідні. Однак у тих випадках, коли при обробці мінералів вартість хімічних реагентів і енерговитрати дуже високі, а швидкість переробки не має вирішального значення, правильно обрані способи бактеріального вилуговування можуть виявитися кращими.

При бактеріальному вилуговуванні сульфідних мінералів у системі повинна утворюватися достатня кількість кислоти і не міститися занадто багато мінералів, що поглинають кислоти. Для бактерій, що окисляють залізо і сірку, потрібне кисле середовище. Тому для переробки непридатні руди і відходи, що поглинають кислоту у великій кількості.

Якщо якийсь мікробіологічний процес відпрацьований для вилуговування металу (металів) з визначеного рудного тіла, то навряд чи його вдасться застосувати без змін для одержання оптимальних результатів при вилученні подібного металу з іншого рудного тіла. Навіть якщо метали подібні, тип рудного мінералу й утримуючої його породи цілком можуть різнитися.

У зв'язку з величезними обсягами матеріалу, що переробляється, вилуговування проводять під відкритим небом, а не в приміщеннях із контрольованими умовами. Тому мікроорганізмам приходится «працювати»

при різних погодних умовах, що істотно змінює рН та ін. Ні система в цілому, ні рудне тіло не бувають стерильними, у них завжди присутні природні бактерії. Спеціально підібрані мутантні штами бактерій повинні добре співіснувати з природною мікрофлорою. Безсумнівно, що за допомогою генетичних маніпуляцій можуть бути отримані штами з підвищеною здатністю окислювати залізо чи мінерали, а також переносити високі концентрації металів або кислот. Роботи в цьому напрямку обмежуються неповнотою наших знань про мікроорганізми і про деталі механізму розкладання сульфідних мінералів.

Біогеотехнологія й боротьба з метаном у вугільних шахтах – використання метанокислюючих бактерій для зниження концентрації метану у вугільних шарах і вироблених пустотах.

У шарах кам'яного вугілля міститься величезна кількість метану, яка досягає сотні кубометрів на 1 т вугілля. При цьому, чим глибше залягає вугілля в надрах землі, тим більше метану він містить. При підземному видобутку вугілля метан з розроблювальних вугільних шарів й вироблених пустот, які при цьому утворюються, надходить в атмосферу шахт. Скупчення цього вибухонебезпечного газу в гірських виробленнях створює постійну погрозу для життя шахтарів. Відомі випадки великих вибухів метану у вугільних шахтах світу, які забрали сотні людських життів.

Традиційні засоби боротьби з метаном у вугільних шахтах (вентиляція, вакуумна дегазація, зволоження шарів водою) в умовах постійної інтенсифікації гірських робіт і переходу на усе більш глибокі вугленосні пласти часто вже не можуть забезпечити одночасно високий рівень вуглевидобутку й безпечні умови праці. В основі біогеотехнологічних способів боротьби з метаном лежить процес поглинання цього газу метанокислюючими бактеріями у вугільних шарах і вироблених пустотах. На даному рівні розвитку науки цей процес являє собою єдину можливість руйнування молекули метану при температурах розроблювальних вугленосних пластів.

Ідея про використання метанокислюючих бактерій для боротьби з метаном у вугільних шахтах належить радянським ученим. У 1939 р. О. С. Юровський, Г. П. Капілаш і Б. В. Мангубі запропонували застосовувати ці бактерії для зниження виділення метану з вироблених пустот. Незважаючи на широке поширення метанокислюючих бактерій у природі, у вугільних шарах і прилягаючих породах вони відсутні. Тому необхідну кількість активних метанокислюючих бактерій вирощують у ферментерах й у вигляді суспензії в поживному середовищі додають у поровий пласт вугільних шарів і вироблені пустоти. Робоча суспензія виготовляється безпосередньо в шахті. У рудничну воду додають задану кількість біомаси метанокислюючих бактерій і відсутні для їхньої активної життєдіяльності мінеральні солі. Як правило, це мінеральні сполуки азоту й фосфору. У вугільний шар робоча суспензія нагнітається насосами через шпари, пробурені у вугіллі або з підземних пустот, або з поверхні землі: 1 т вугілля може прийняти 20–40 л робочої суспензії. У вугіллі мікроорганізми розподіляються по тріщинах і порам.

Таким шляхом здійснюється насичення вугілля метанокислюючими бактеріями. Але для розвитку цих бактерій необхідний вільний кисень, якого

немає у вугільних шарах. Тому в насичений метанокислючими бактеріями ділянки вугільного шару через ті ж шари компресором постійно прокачується повітря. У таких умовах бактерії споживають метан, що міститься у вугіллі, і за рахунок цього відбувається зменшення вихідної газоносності вугільного шару. Мікробіологічні способи боротьби з метаном були неодноразово випробувані у вугільних шахтах. Надходження метану як з вугільних шарів, так і з вироблених пустот у ході цих випробувань було знижено в середньому в 2 рази. За інших рівних умов це дозволяє підвищувати видобуток вугілля приблизно в 1,5 рази.

Біогеотехнологія підвищення нафтовіддачі – використання різних груп мікроорганізмів для збільшення вторинного видобутку нафти.

Нафта, як відомо, є в цей час основною енергетичною й хімічною сировиною. Однак за деякими прогнозами світові запаси нафти можуть бути вичерпані вже протягом найближчих 50 років. Разом з тим існуюча технологія дозволяє видобувати тільки половину нафти, яка міститься в родовищах. Це обумовлено міцними зв'язками нафти з породами, які її містять. Підвищення нафтовіддачі на 10–15 % було б рівносильним відкриттю нових родовищ. У зв'язку із цим у цей час помітно зріс інтерес до пошуку шляхів і засобів підвищення вторинного видобутку нафти.

Один зі способів припускає використання комплексу вуглеводеньокислюючих і метанутворюючих бактерій для збільшення нафтовіддачі який оснований на активації геохімічної діяльності цих мікробів у нафтовому покладі, куди вони попадають разом із поверхневими водами, що закачуються через свердловину. Активація цих мікробіологічних процесів досягається шляхом аерації води і додавання в них мінеральних солей азоту й фосфору. Недостатня кількість цих хімічних елементів найчастіше лімітує активність мікрофлори в природних умовах. Нагнітання в нафтовий поклад збагаченої киснем і мінеральними солями води приводить до утворення аеробної зони в нафтоносному шарі навколо нагнітальної свердловини. Тут починають інтенсивно відбуватися процеси руйнування нафти аеробними вуглеводеньокислюючими мікробами. Це супроводжується нагромадженням вуглекислого газу, водню й низькомолекулярних органічних кислот, які надходять в анаеробну зону нафтового покладу. Тут вони перетворюються метанутворюючими бактеріями в метан. Руйнування нафти й утворення газів приводять до розрідження нафти й підвищенню газового тиску в нафтоносному шарі, що й повинно супроводжуватися збільшенням видобутку нафти з видобувних свердловин.

? Питання для самоконтролю:

1. Біогеотехнологія – це...
2. На використанні чого основана біогеотехнологія вилугування металів?

3. До нових тенденцій в розвитку біотехнології металів слід віднести...
4. Які біотехнологічні методи вилуговування мідних відвалів?
5. Яка одна із самих багатообіцяючих можливостей бактеріального вилуговування?
6. Біотехнологія вилуговування металів здатна зменшити...
7. За яких причин стримується практичне застосування бактеріального вилуговування?
8. Біогеотехнологія підвищення нафтовіддачі – це...

4 БІОТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Біотехнології очищення забруднених вод

Очищення стічних вод - обробка з метою руйнування чи вилучення з них певних речовин, які перешкоджають відведенню цих вод у водойми відповідно до нормативних вимог.

Біотехнологічне очищення - метод очищення стічних вод від органічних і деяких неорганічних домішок, що здійснюється спільнотою мікроорганізмів (біоценозом), яка включає велику кількість різних бактерій, простіших і ряд більш високоорганізованих організмів - водоростей, грибків тощо, пов'язаних між собою в єдиний комплекс складними взаємовідносинами (метабіоз, симбіоз і антагонізм). У процесі очищення стічних вод беруть участь дві групи бактерій: гетеротрофи та автотрофи. Ці групи бактерій відрізняються за способом використання джерела вуглецевого живлення. Гетеротрофи використовують вуглець з готових органічних речовин, що переробляються ними для отримання енергії, необхідної для біосинтезу клітин. Автотрофи для синтезу клітин застосовують неорганічний вуглець, а енергію утримують у результаті фотосинтезу або хемосинтезу (окислення деяких органічних сполук: аміаку, нітритів, солей двовалентного заліза, сірководню та ін.).

Під дією мікроорганізмів можуть протікати окислювальний (аеробний) або відновлювальний (анаеробний) процеси. Механізм біологічного окислення в аеробних умовах гетеротрофними бактеріями можна подати у вигляді такої схеми: органічні речовини + O₂ + N + P = мікроорганізми + CO₂ + H₂O + біологічно неокислені розчинені речовини. Ця реакція описує процес окислення органічних речовин у стічних водах та утворення нової біомаси. При цьому в очищених стічних водах залишаються біологічно неокислені речовини переважно в розчиненому стані, оскільки колоїдні та нерозчинені речовини виводяться із стічної води методом сорбції.

Після використання джерела живлення (повного окислення органічних речовин) починається процес окислення кліткової речовини за реакцією: мікроорганізми + O₂ = H₂O + N + P + біологічно нестійкі частинки кліткової речовини. Аеробний процес може відбуватись нормально, якщо концентрація органічної речовини в очищеній воді, виражена у біологічній потребі в кисні, не

перевищуватиме певне значення. У зв'язку з цим під час біологічного очищення концентровані стічні води розводять слабкоконцентрованими побутовими стічними водами, а в окремих випадках чистою водою. Відновлюваний процес біологічного очищення стічної води відбувається за такою схемою: органічні речовини + $H_2O = CH_4 + CO_2 + NH_4 + HCO_3 +$ мікроорганізми.

Анаеробний процес часто застосовують для очищення дуже концентрованих стічних вод, що викидаються малярними, лакувальними, машинобудівними, деревообробними та іншими промисловими підприємствами.

Метод очищення рідких промислових відходів вибирають на основі вивчення їх складу і властивостей, доцільності їх регенерації чи утилізації, а також після з'ясування характеру й об'єму водоюми, її народногосподарського значення й особливостей використання для визначення можливості скидання відходів. Методи очищення промислових стічних вод поділять на деструктивні й регенераційні.

До деструктивних відносять методи, при яких забруднюючі стічну воду речовини руйнують окисненням, відновленням чи іншими біологічними, хімічними і фізико-хімічними методами (продукти розпаду вилучаються у вигляді газів і осадів або залишаються в розчині). Оброблені таким чином рідкі відходи підлягають скиданню чи захороненню. Для деструктивної обробки застосовують різні реагентні методи, термічне знищення, біохімічне окиснення тощо.

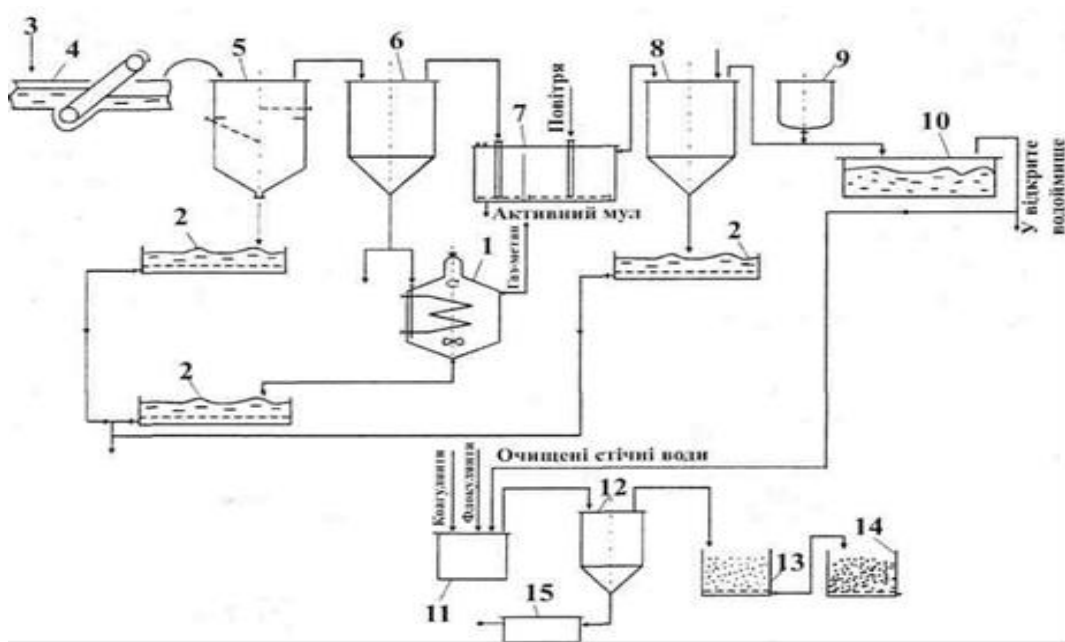
До регенераційних відносяться методи, що дозволяють повернути оброблені рідкі відходи в технологічний цикл, використовувати їх в іншому виробництві чи вилучити з них цінні речовини. Об'єктами регенерації можуть бути вода (забруднені стічні води), хімікати (відпрацьовані розчини, забруднені води), паливно-мастильні матеріали (відпрацьовані оливи, паливо) і навіть багатокомпонентні суміші.

У зв'язку з великою різноманітністю складу і властивостей стічних вод для їх очищення застосовують механічний, фізико-хімічний, хімічний, біологічний і термічний способи. На рис. 4.1 наведена принципова схема механо-біолого-хімічної очистки стічних вод.

Біологічне очищення є основою зовні простого та примітивного, але насправді складного процесу перетворення органічних речовин в забруднених токсично-промислових чи побутових стічних вод на чисту екологічно безпечну та біологічно повноцінну воду.

Біологічні процеси відбуваються у воді на всіх етапах її утворення та проходження через очисні споруди. Біологічне очищення стічних вод може здійснюватися:

- в природних умовах (поля зрошування, поля фільтрації, біологічні ставки);
- в спеціальних штучних спорудах (аеротенки, біофільтри, метантенки).



1 – метантенк; 2 – мулові майданчики; 3 – стічна вода; 4 – решітки; 5 – пісковловлювач; 6 – первинний відстійник; 7 – біореактор (аеротенк з біоплівкою); 8 – вторинний відстійник; 9 – ємність для хлорування; 10 – контактний резервуар; 11 – ємність для флокуляції-коагуляції; 12 – відстійник; 13 – піщаний фільтр; 14 – фільтр з активним вугіллям; 15 – згущувач осаду

Рисунок 4.1 – Принципова схема механо-біолого-хімічної очистки стічних вод.

Біологічні технології очищення стічних вод ґрунтуються на використанні закономірностей біохімічного і фізіологічного самоочищення водойм. В основі методу біологічної очистки стічних вод лежить здатність мікроорганізмів використовувати різноманітні речовини, які містяться в стічних водах, у якості джерела живлення в процесі життєдіяльності. Таким чином мікроорганізми звільняють воду від забруднень. Біологічне очищення відбувається в природних умовах: на полях зрошення, полях фільтрації, біологічних ставках або в штучних умовах — біологічних фільтрах, аеротенках.

Природна ґрунтова біотехнологія очищення стічних вод заснована на здатності самоочищення ґрунту, вона здійснюється на полях зрошення або полях фільтрації. *Полями зрошення* називають спеціально підготовлені і сплановані земельні ділянки, призначені для очищення стічних вод з одночасним використанням цих ділянок для сільськогосподарських цілей. *Поля фільтрації* — земельні ділянки, призначені тільки для очищення стічних вод без вирощування на них сільськогосподарських культур.

Сутність процесу природного очищення полягає в тому, що при фільтрації стічних вод через ґрунт у верхньому її шарі затримуються зважені і колоїдальні речовини, що утворюють на поверхні частинок ґрунту густозаселених мікроорганізмами плівку. Ця плівка адсорбує на своїй поверхні розчинені речовини, що знаходяться в стічних водах. Використовуючи кисень, що проникає з атмосфери в пори ґрунту, мікроорганізми переводять органічні

речовини в мінеральні сполуки. Ступінь очищення стічних вод на полях зрошення і полях фільтрації значно знижується в зимовий час в силу уповільнення і навіть припинення біологічних процесів при низьких температурах. У цей період поля всіх видів працюють переважно як накопичувачі поверхневим наморожуванням.

Біологічні ставки являють собою штучно створені водойми для біологічного очищення стічних вод, заснованої на процесах, які відбуваються при самоочищенні водойм. Ставки споруджують невеликої глибини – від 0,5 до 1 м. Це дозволяє створити значну поверхню контакту води з повітрям і сприятливі умови для насичення води киснем, необхідним для окислення органічних речовин, а також забезпечує хороший прогрів і перемішування води. Нормальна експлуатація ставків відбувається в теплу пору року (при температурі води не нижче 60 °С). Для того щоб забезпечити належне очищення води, влаштовують серійні ставки в 4–5 ступенів, які вода проходить послідовно. Ступінь чистоти води з кожною наступною сходинкою поступово підвищується. Ставки кожного ступеня зазвичай мають площу від 2 до 2,5 га. Нижні щаблі серійних біологічних ставків можуть бути використані для розведення риб. Стічні води, що пройшли біологічні ставки, можуть бути використані для зрошення.

У *біофільтрах* стічні води пропускаються через шар крупнозернистого матеріалу, покритого тонкою бактеріальною плівкою, в якій інтенсивно протікають процеси біологічного окиснення органічних речовин, через яку зверху вниз просочується стічна вода. Поверхня завантажувального матеріалу обростає біоплівкою, утвореної колоніями аеробних мікроорганізмів. Вихідна вода рівномірно розподіляється по поверхні завантаження, а очищена збирається в піддоні під завантаженням і відводиться у вторинний відстійник.

Фільтруючись через завантаження біофільтра, стічна вода залишає в ній нерозчинені домішки, що не осіли в первинних відстійниках, а також колоїдні і розчинені органічні речовини. Ці речовини сорбуються біологічної плівкою, що покриває поверхню завантаженого в біофільтр матеріалу. Мікроорганізми біоплівки окислюють органічні речовини. Частина органічних речовин мікроорганізми використовують як матеріал для збільшення своєї маси. Необхідний для біологічного окислення кисень повітря надходить у товщу фільтруючого матеріалу шляхом природної або штучної вентиляції фільтра.

Таким чином, зі стічної води видаляються органічні речовини і в той же час збільшується маса активної біологічної плівки в тілі біофільтра. Відпрацьована плівка змивається стічною водою і виноситься з тіла біофільтра.

Матеріалами для біофільтрів є щебінь і галька міцних гірських порід, керамзит, полімери, а також пластмаси. Такі фільтри працюють більш ефективно, оскільки володіють розвиненою площею поверхні. Надійна робота біофільтра може бути досягнута тільки при рівномірному зрошенні водою його поверхні. Зрошення проводиться спеціальними розподільними пристроями, які поділяються на нерухомі і рухомі. Біофільтри можуть застосовуватися для видалення органіки одночасно з видаленням азоту біологічним і фосфору реагентним способом в додаткових спорудах, оскільки в діапазоні застосування

біофільтрів – станції продуктивністю до 20000 м³/добу – видалення фосфору біологічним способом нераціонально. Очисні споруди з біофільтрами мають досить просту технологічну схему, не вимагають дорогого устаткування, прості в експлуатації. Труднощі виникають при замулюванні завантаження біофільтра в результаті перевищення проектних органічних навантажень на споруду.

Система з іммобілізованими на мобільному носії клітинами відрізняється від біофільтрів своєю економічністю, так як використовуються високі концентрації мікроорганізмів. *Іммобілізовані мікробні клітини* — клітини мікроорганізмів, зафіксовані на твердих носіях або включені до матриці за допомогою адсорбції (з використанням активованого вугілля, оксиду алюмінію, силікагелю, поліуретанів та ін.) або механічних включень у гелі (які отримані полімеризацією ненасичених мономерів чи поліконденсацією і здатні до просторової структуризації, або отримані на основі неструктурованих природних і синтетичних полімерів) та хімічних методів (наприклад, приєднання чи зв'язування клітин до поверхні зерен сефадексу за допомогою глутарового альдегіду) тощо. Іммобілізація нативних мікробних клітин розширює шляхи використання мікроорганізмів і вироблених ними біокатализаторів (ферментів) у різних технологічних процесах за рахунок суттєвого подовження роботи біокатализаторів у стандартних умовах.

Така система може знайти застосування в очищенні локальних стоків, з вузьким спектром забруднень. Їх доцільно очищати в самостійних біологічних системах, не змішуючи зі стоками інших виробництв. Це дозволяє отримати біоценози мікроорганізмів, адаптовані до даного вузького спектру забруднень, при цьому швидкість і ефективність очищення різко зростають.

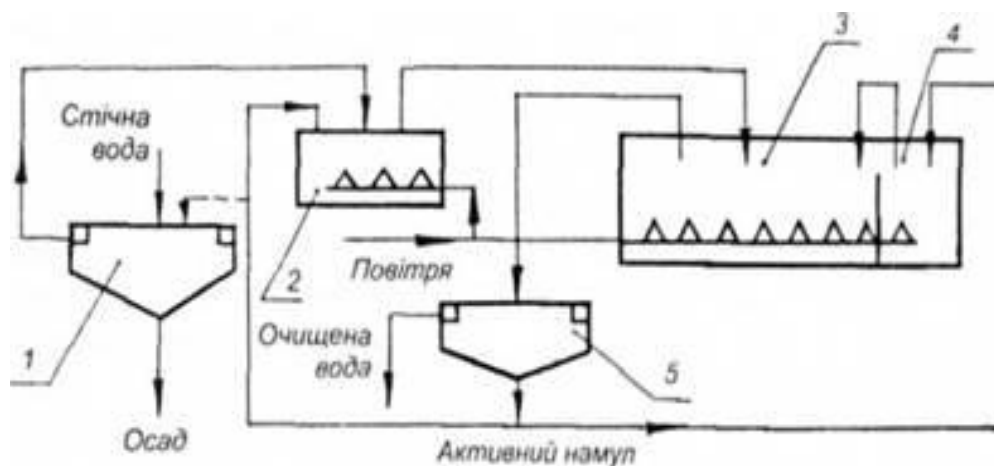
Аеробне біологічне очищення води відбувається в аеротенках. В основі біологічного очищення води лежить діяльність активного мулу (АМ) або біоплівки, природно виниклого біоценозу, що формується на кожному конкретному виробництві залежно від складу стічних вод і вибраного режиму очистки.

Аеротенки являють собою резервуари, в яких стічна вода змішується з активним мулом і аерується за допомогою різних систем аерації (рис. 4.2).

Найбільш широке поширення одержали аеротенки з пневматичною аерацією, в яких повітря подається від повітродувних установок і розподіляється в рідині за допомогою спеціальних аераторів. Аерація мулової суміші виробляється подачею стисненого повітря через різного роду диспергатори (дірчасті труби, пористі пластини, дрібнопузирчасті диспергатори), які виготовляють зі сталі, керамічних пластмасових матеріалів і пористого поліетилену. Аератор складається з основної перфорованої труби з поліетилену з насадженням на неї диспергаторів з двошарового пористого поліетилену: на грубий пористий шар нанесений дрібнопористий, що забезпечує рівномірність утворення бульбашок повітря.

Активний мул являє собою біоценоз мікроорганізмів - мінералізаторів, здатних сорбувати на своїй поверхні і окисляти в присутності кисню повітря органічні речовини стічної рідини. Аерація забезпечує ефективне змішування стічних вод з активним мулом, подачу в суміш мулу кисню і підтримання мулу

в зваженому стані. Суспензія мулу в стічній воді протягом усього часу перебування в аеротенку піддається аерації повітрям. Інтенсивна аерація суспензії активного мулу киснем приводить до відновлення його здатності сорбувати органічні домішки.



1 – первинний відстійник; 2 – передаератор; 3 – аеротенк; 4 – регенератор; 5 – відстійник

Рисунок 4.2 – Схема установки для біологічного очищення стічних вод із використанням аеротенків

Активний мул це темно-коричневі пластівці, розміром до декількох сотень мікрометрів. На 70 % він складається з живих організмів і на 30% - з твердих частинок неорганічної природи. Живі організми разом з твердим носієм утворюють зооглею – симбіоз популяцій мікроорганізмів, покритий загальною слизовою оболонкою. Мікроорганізми, виділені з активного мулу відносяться до різних родів: *Actynomyces*, Азотобактер, *Bacillus*, бактерії, коринебактерії, *Desulfomonas*, синьогнійна, *Sarcina* та ін. Найбільш численні бактерії роду *Pseudomonas*, які відрізняються всеїдністю. Залежно від зовнішнього середовища, яким в даному випадку є стічна вода, та чи інша група бактерій може виявитися переважною, а інші стають супутниками основної групи.

В процесі окислення органічної речовини збільшується біомаса мікроорганізмів і утворюється надлишковий активний мул. Відділення активного мулу від очищеної води відбувається у вторинних відстійниках, з яких він повертається в аеротенки (циркуляційний активний мул), а надлишковий активний мул періодично виводиться з вторинного відстійника.

Істотна роль у створенні та функціонуванні активного мулу належить найпростішим. Функції найпростіших досить різноманітні. Вони самі не беруть безпосередньої участі в споживанні органічних речовин, але регулюють віковий та видовий склад мікроорганізмів в активному мулі, підтримуючи його на певному рівні. Поглинаючи велику кількість бактерій, найпростіші сприяють виходу бактеріальних екзоферментів, що концентруються в слизовій оболонці і тим самим беруть участь у деструкції забруднень. Показником якості активного мулу є коефіцієнт протозойності, який відображає співвідношення кількості

клітин найпростіших мікроорганізмів до кількості бактеріальних клітин. У високоякісному мулі на 1 мільйон бактеріальних клітин має припадати 10–15 клітин найпростіших.

При зміні складу стічної води може збільшитися чисельність одного з видів мікроорганізмів, але інші культури все одно залишаються в складі біоценозу. На формування ценозів активного мулу можуть впливати і сезонні коливання температури, забезпеченість киснем, присутність мінеральних компонентів.

Ефективність роботи очисних споруд залежить також від концентрації мікроорганізмів у стічних водах і віку активного мулу.

У звичайних аеротенках поточна концентрація активного мулу не перевищує 2–4 г/л. Збільшення концентрації мулу в стічній воді призводить до зростання швидкості очищення, але вимагає посилення аерації, для підтримки концентрації кисню на необхідному рівні. Таким чином, аеробна переробка стоків включає в себе наступні стадії:

- 1) адсорбція субстрату на клітинній поверхні;
- 2) розщеплення адсорбованого субстрату позаклітинними ферментами;
- 3) поглинання розчинених речовин клітинами;
- 4) ріст і ендогенне дихання;
- 5) вивільнення екскретованих продуктів;
- 6) «виїдання» первинної популяції організмів вторинними споживачами.

В ідеалі це повинно призводити до повної мінералізації відходів до простих солей, газів і води. На практиці очищена вода і активний мул з аеротенків подаються у вторинний відстійник, де відбувається відділення активного мулу від води. Частина активного мулу повертається в систему очищення, а надлишок активного мулу, що утворився в результаті росту мікроорганізмів, надходить на мулові майданчики, де зневоднюється і вивозиться на поля. Надлишок активного мулу можна також переробляти анаеробним шляхом.

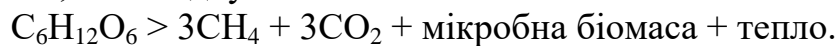
Ефективність процесів біологічного очищення стічних вод залежить від температури, рН середовища, наявності біогенних елементів, рівня живлення мікроорганізмів, кисневого режиму, вмісту токсичних речовин.

Найбільша ефективність біологічного очищення вод забезпечується при:

- температурі в очисних спорудах 20–30 °С;
- рН середовища 5–9 (оптимальна 6,5–7,5);
- достатній концентрації основних елементів живлення бактерій — органічного вуглецю (БПК), азоту і фосфору з розрахунку БПК : N : P = 100: 5:1;
- кількості забруднення, що припадає на 1 м³ очисної споруди, на 1 г біомаси або на 1 г беззольної частини біомаси (100–300 мг БПКпов. на 1 г беззольної речовини);
- постійній концентрації розчиненого кисню не нижче 2 мг/л;
- допустимій дозі токсичних речовин, яка могла б негативно вплинути на біологічні процеси.

Анаеробні системи очистки стічних вод. Анаеробний процес протікає без доступу повітря. Його часто застосовують для очищення дуже концентрованих стічних вод, що викидаються малярними, лакувальними, машинобудівними, деревообробними та іншими промисловими підприємствами. Анаеробний процес в основному використовують для знешкодження твердих осадів, що утворюються при механічній, фізико-хімічній та біологічній очистки стічних вод. Ці тверді осади зброджуються анаеробними бактеріями в спеціальних герметичних резервуарах, які називаються метантенками. Залежно від кінцевого продукту бродіння буває спиртове, молочнокисле, метанове та ін.

Для зброджування осадів стічних вод використовується метанове бродіння, воно відбувається за такою схемою:



Анаеробна деградація органічних речовин, при метаногенезі здійснюється як багатоступінчастий процес, в якому необхідна участь щонайменше чотирьох груп мікроорганізмів: гідролітиків, бродильників, ацетогенів і метаногенів. У анаеробній фауні між мікроорганізмами існують тісні і складні взаємозв'язки, що мають аналогії в багатоклітинних організмах, оскільки зважаючи на субстратну специфічність метаногенів, їх розвиток неможливий без трофічного зв'язку з бактеріями попередніх стадій. У свою чергу метанові археї, використовуючи речовини, які продукуються первинними анаеробами, визначають швидкість реакцій, здійснюваних цими бактеріями. Ключову роль в анаеробній деградації органічних речовин до метану грають метанові археї родів *Methanosarcina*, *Methanosaeta* (*Methanothrix*), *Methanomicrobium* та інші.

При їх відсутності або недостатці анаеробне розкладання закінчується на стадії кислотогенного і ацетогенного бродіння, що призводить до накопичення летких жирних кислот, в основному масляної, пропіонової і оцтової, зниження рН і зупинки процесу.

Процеси анаеробного очищення протікають в герметичних метантенках чи біореакторах, які виконуються з бетону, металу або високоміцного пластика. Процеси очищення протікають без викиду енергії, тому підвищення температури в ємності відсутня. Під час розкладання органіки чисельність колоній бактерій практично не змінюється.

Оскільки в конструкції не потрібна складна система контролю умов середовища, то анаеробна очистка — більш дешевий метод. Перевагою анаеробного біологічного очищення стічних вод є висока швидкість і використання речовин в низьких концентраціях. Перевагою є також відносно незначне утворення мікробної біомаси.

Важливо, що головним недоліком анаеробного методу очищення є те, що в результаті діяльності анаеробів виділяється горючий газ — метан. З цієї причини діють певні обмеження при застосуванні анаеробної методики очищення. Такі конструкції можна зводити тільки на рівній добре вентильованій (продувається) поверхні. По периметру конструкції обов'язково встановлюються газоаналізатори. Аналізатори підключаються до системи оповіщення про пожежу.

Біоремедіація забруднених вод. Основним масштабним забруднювачем

водних систем є нафта: втрати сирової нафти при аварійних ситуаціях на нафтопромислах і шляхах транспортування складає десятки мільйонів тонн. Згідно з сучасними даними, мікроорганізми — нафтодеструктори поширені в природі дуже широко і можуть бути виділені з будь-якого ґрунту, морської і річкової води. Але їх концентрація в природних зразках низька і процеси самоочищення відбуваються досить повільно. При внесенні мікроорганізмів-деструкторів у водоймі, що забруднені нафтою, лімітуючими факторами можуть бути: низька плавучість мікроорганізмів на поверхні води; недоступність забруднювача для мікроорганізмів при утворенні крапель, що важко диспергуються, щільних грудок (нафти, нафтопродукту) на поверхні води. Для біоремідації забруднених вод зберігаються, в основному, ті ж принципи, які для біоремедіації ґрунтів.

Існують такі методи біоремедіації води: *in situ* та *ex situ*. Збір нафти для наступного очищення в біореакторі відбувається механічними методами або з використанням спеціальних сорбентів (бажано біодеградуючих). Сорбенти, що застосовуються для збору нафти можуть бути: натуральні органічні сорбенти (торф'яний мох, солома, сіно, деревна тирса, подрібнені кукурудзяні качани, пір'я); натуральні неорганічні сорбенти (глина, перліт, скловолокно, пісок, або вулканічний попіл); синтетичні сорбенти (поліетилен, поліпропілен, поліуретан).

? Питання для самоконтролю:

1. Очищення стічних вод – це...
2. Охарактеризуйте біотехнологічне очищення, як метод очищення стічних вод.
3. Як поділяють методи очищення промислових стічних?
4. Охарактеризуйте деструктивні методи очищення промислових стічних вод.
5. Охарактеризуйте регенераційні методи очищення промислових стічних вод.
6. За яких умов може здійснюватися біологічне очищення стічних вод?
7. На використанні чого ґрунтуються біологічні технології очищення стічних вод?
8. Полями зрошення називають...
9. Поля фільтрації – це...
10. Біологічні ставки являють собою...
11. У біофільтрах стічні води пропускаються через...
12. Матеріалами для біофільтрів є...
13. Іммобілізовані мікробні клітини – це...
14. Де відбувається аеробне біологічне очищення води?
15. Аеротенки являють собою...
16. Активний мул являє собою...

17. Які стадії включає в себе аеробна переробка стоків?
18. Ефективність процесів біологічного очищення стічних вод залежить від...
19. При яких умовах забезпечується найбільша ефективність біологічного очищення стічних вод?
20. Анаеробні системи очистки стічних вод – це...
21. Біоремедіація забруднених вод – це...

4.2 Біотехнології очищення ґрунтів

Відомі різні способи відновлення порушених екосистем. Існують фізичні й хімічні (електрокінетичні, промивання, стабілізація, окислювання або відновлення) методи очищення навколишнього середовища. Слід зазначити, що ці способи найчастіше малоефективні й надмірно дорогі, до того ж вони, як правило, приводять до вторинного забруднення навколишнього середовища.

Для хімічного й фізичного редукування сміття й забруднень потрібні великі фінансові витрати, що ускладнює реалізацію «зелених» програм. Щоб знищити гори сміття, очистити заражений ґрунт і отруєні води вчені пропонують вийти з матеріально обтяженого положення, скориставшись доступними природними засобами.

Перш ніж використати ту або іншу біотехнологію, варто провести ретельний аналіз місця, що підлягає відновленню, установити тип токсичного з'єднання, його концентрацію, глибину проникнення в ґрунт, тип ґрунту, наявність ґрунтових вод, кількість опадів у період вегетації й т.п. Пошук ефективних біотехнологічних методів очищення забруднених ґрунтів є необхідною складовою у вирішенні проблеми захисту навколишнього середовища. Для цієї мети використовують, у тому числі, і методи біоремедіації, базовий принцип дії яких засновано на здатності різних груп живих організмів у процесі своєї життєдіяльності розкладати або акумулювати у своїй біомасі забруднювачі (важкі метали, радіонукліди, азотні, фосфорні та органічні сполуки тощо). За умови відновлення життєздатності та видової розмаїтості природного мікробіоценозу ґрунту біологічні методи є ефективними, проте сам процес очищення забрудненого ґрунту досить повільний і тривалий.

Біоремедіація (*bio* — життя, *remedio* — лікування) це використання біологічних агентів, таких як бактерії, гриби та рослини, для видалення або нейтралізації речовин, що забруднюють ґрунт або воду. Технології, що застосовуються в біоремедіації ґрунтів можна об'єднати в дві групи: методи *in situ* і методи *ex situ*. Вибір технології біоремедіації проводиться на основі таких критеріїв як природні умови місця очищення, властивості ґрунту, концентрація і рівень токсичності забруднювача. Біоремедіація *in situ* – це очищення середовища від забруднювача без видалення ґрунту, що підлягає очищенню, з місця забруднення. Технології *in situ* не вимагають проведення землерийних

робіт. Тому вони є дешевшими, створюють менше запилювання повітря і вивільняють менше летких забруднювачів, чим технології *ex situ*. Біоремедіацію *in situ* проводять:

- активацією мікроорганізмів, які присутні у забрудненому ґрунті;
- внесенням вирощеної культури – деструктора специфічного забруднювача.

Біостимуляція: для активації природних мікроорганізмів у забруднений ґрунт подають кисень за допомогою спеціального устаткування, з тим, щоб стимулювати розмноження мікроорганізмів і аеробну біодеградацію забруднювачів. Ця техніка найчастіше застосовується для очищення від різних нафтопродуктів. Окрім аерації, для стимуляції біодеградації в ґрунт вносять поживні речовини, які необхідні для активного росту мікроорганізмів – деструкторів речовин - забруднювачів. Найчастіше для цих цілей використовують азот- і фосфорвмісні добрива.

Біоаугментація. Іншим поширеним підходом є введення в ґрунт мікроорганізмів (у тому числі генетично модифікованих) або ферментів для прискорення деградації органічних забруднювачів, що знаходяться у ґрунті.

Біоремедіація *ex situ* — ґрунтується на екскавації ґрунту та очищенню його за межами місця забруднення в біореакторі. З ґрунту видаляються великі камені, він перемішується для забезпечення однорідності, додається вода і утворюється глиниста суспензія. В біореактор вносять мікроорганізми – деструктори і створюють оптимальні умови для їх дії. Після завершення очищення ґрунт висушується і повертається в довкілля. Ці технології дорожчі, ніж біоремедіація *in situ*, проте вони вимагають менше часу і забезпечують повний контроль процесу очищення. Можливо для біоремедіації *ex situ* застосовувати інший спосіб: видалений з місця забруднення ґрунт розміщується на певній території, її забезпечують аерацією, поживними речовинами і водою для стимуляції росту мікроорганізмів-деструкторів. В порівнянні з очищенням за допомогою біореакторів, ця технологія вимагає багато місця і часу.

Біоремедіацію використовують для очищення ґрунту від нафти та ксенобіотиків. Наприклад, до деградації ксенобіотиків здатні базидіальні гриби *Pleurotus ostreatus* (вешенка звичайна). Вони здатні до біоремедіації ґрунту, забрудненому хлорорганічними сполуками, такими як пентахлорофенолом (ПХФ), який використовують у складі фунгіцидів, пестицидів; дихлордифенілтрихлоретан (ДДТ); гербіцидами групи триазинів, наприклад, антразіном, який широко застосовують для знищення бур'янів при обробленні кукурудзи. Вешенка має унікальну здатність розщеплювати один з найбільш стійких біополімерів поліфенольної природи – лігнін за рахунок синтезу ферментів лаккази та пероксидази. Ті ж самі ферменти приймають участь у руйнуванні різноманітних стійких органічних сполук практично будь-якої хімічної будови, включаючи поліциклічні ароматичні вуглеводні

Біоремедіація забруднених ґрунтів являє собою набір технік. Відповідно до розробленої вченими концептуальної моделі біоремедіації забруднених важкими металами ґрунтів, яка передбачає використання класу біологічних методів ремедіації техногенно забруднених ґрунтів з градацією їх на дві групи –

методи біодеградації забруднювачів за використання мікроорганізмів; методи біонакопичення рослинами та /або перерозподілу забруднювачів у ґрунті за одночасного впливу на біологічну та косну (мінеральні речовини, що є продуктами деструкції гірських порід і утворюються без участі живих організмів, компоненти біологічного колообігу) складові ґрунту. Це призводить до оптимізації його екологічного стану за рахунок збільшення вмісту органічної речовини та його зв'язування глинистими мінералами і поліпшення структурного стану ґрунту, трофічного і газового режимів, властивостей ґрунтової системи в цілому.

Аналіз запатентованих способів біоремедіації забруднених ґрунтів в Україні свідчить про використання амброзії (*Ambrosia artemisiifolia L.*, *Ambrosia trifida L.*), яку збирають до набуття повної фази цвітіння, хоча її використання має обмеження внаслідок алергічної дії на людей; технічних олійних культур – ріпаку (*Brassica napus L.*) або суріпиці (*Barbarea vulgaris R. Br.*), або тифону (*Brassica rapa*) як рослин-аккумуляторів ВМ, висів і вирощування рослин родини *Gramineae* (насадження кукурудзи (*Zea mays L.*) або пшениці (*Triticum L.*), скошування їх фітомаси та її утилізацію; газонної трави за попередньої обробки насіння розчином гумінового стимулятора-адаптогена; використання стрес-толерантних трансгенних рослин *Triticum L.* до дії важких металів.

За фіторекультивації техногенно забруднених і збіднених ґрунтів розроблено біопрепарат комплексної дії, який одержано з культуральної рідини *Pseudomonas sp.* PS-17, вирощеної на оптимізованому поживному середовищі. Вченими розроблено спосіб вирощування сільськогосподарських культур на ґрунтах, забруднених радіонуклідами і важкими металами, що передбачає передпосівну обробку ґрунту та насіння шляхом його дражування біогумусом черв'яка. У іншому відомому способі використовують біогумус червоного каліфорнійського черв'яка або біогумус дощового черв'яка разом із природним сапропелем у складі агроекологічного препарату «Біокольчуга». Ще в одному відомому способі для рекультивації техногенно забруднених ґрунтів також використовують натуральний біогумус і глауконіт за співвідношення компонентів 50–90 та 50–10 вагових (у %). Відомий інший спосіб, що передбачає використання промислового препарату «Гумівіт» як складової суміші, котра підвищує вміст ґрунтових мікроорганізмів. Українські вчені розробили кондуктометричний біосенсор, який включає селективну до важких металів ферментну систему інвертаза – мутаротаза – глюкозооксидаза та мультибіосенсор, що складається з ферментів, відповідно, ацетилхолінестерази, бутетрилхолінестерази, уреаз, глюкозооксидази, мутаротази – інвертази – глюкозооксидази, селективних до токсичних речовин – важких металів, пестицидів і гербіцидів, з метою точного, селективного, експресного визначення їх вмісту у водних розчинах різних об'єктів довкілля.

Фіторемедіація — комплекс методів очищення стічних вод, ґрунтів і атмосферного повітря з використанням зелених рослин. Один з напрямків більш загального методу біоремедіації. Ідея полягає у висаджуванні на уражених територіях рослин, які здатні до фіторемедіації, що набагато дешевше, ніж будівництво спеціальних очисних споруджень, і до того ж

максимально екологічно.

Економічна ефективність фітореMediaції є, мабуть, самим вагомим аргументом на користь даної біотехнології. Біологічний спосіб відновлення антропогенно-порушених екосистем є найбільш економічним і безпечним. Наприклад, індійський вчений-еколог М. Н. Прасад підрахував, що вартість очищення ґрунтів забруднених важкими металами, радіонуклідами, нафтою й пестицидами за допомогою рослин, що використовують тільки енергію сонця, становить усього 5% від витрат на інші способи відновлення екосистем. Американські дослідники також підраховали, що відновлення звичайним способом одного акра (0,4 га) ґрунту, забрудненим ртуттю до глибини 50 см, у середньому обходиться від 400 тис. до 1 млн. 700 тис. доларів США, тоді як застосування фітореMediaційної технології коштує від 60 до 100 тис. Різниця в ціні красномовна. Отже, виявлення із природної флори регіонів видів рослин, здатних до акумуляції ксенобіотиків, є перспективним завданням, що стоїть й перед ученими нашої країни. Існують види рослин, що накопичують надлишок важких металів, а також види, що акумулюють пестициди й руйнують їх до нешкідливого стану. Відомі так звані рудеральні рослини, що виростають на забруднених, непридатних територіях: сарептська гірчиця, буряк, коноплі, лобода тощо. Виявлено, що деякі дикі злакові рослини також пристосовані до забруднених умов ґрунту важкими металами.

Сучасні фітореMediaційні біотехнології можуть ґрунтуватися на різних методологічних підходах — це фітоекстракція, ризофільтрування, фітодеградація, фітоволоталізація та інші (рис. 4.3).

Фітоекстракцію звичайно використовують для очищення ґрунтів і водойм, забруднених важкими металами й радіонуклідами. Особливістю фітоекстракції є поглинання забруднювачів кореневою системою рослин разом з живильними речовинами й транслокація їх у надземні органи. По завершенню вегетації й транслокаційних процесів надземні органи рослин скошуюються й підлягають відповідній переробці. Наприклад, після озолення зібраної біомаси зола стає джерелом кольорових металів. Якщо одержання металів із золи обходиться дорожче їхньої собівартості, то біомасу рослин компостують. Ефективність фітоекстракції визначається коефіцієнтом біоаккумуляції, що дорівнює відношенню концентрації металів у рослинах до концентрації їх у ґрунті або в забрудненій воді.

Ризофільтрація — здатність рослин створювати навколо кореневої системи мікросередовище, що сприяє концентрації й проникненню речовин у рослини. Безумовна перевага ризофільтраційної технології полягає в її дешевині й можливості використати широко розповсюджені рослини, у тому числі й деревні. Для застосування в даній технології рослини повинні відповідати наступним вимогам: відрізнятися швидким ростом, інтенсивно накопичувати біомасу, мати потужну кореневу систему. В основному це широколисті, однодольні багаторічні рослини, що добре ростуть в умовах і теплого, і холодного клімату. Цим вимогам відповідають багато водних і болотних рослин. Рослини перебувають у тісній взаємодії з мікроорганізмами, що заселяють ґрунт. Рослинний організм у ході фотосинтезу акумулює сонячну

енергію у вуглеводах (цукрах). Від 10 % до 20 % всієї запасеної в процесі фотосинтезу енергії витрачається рослиною на синтез і виділення речовин (цукру, спирти, органічні кислоти) у прикореневу зону, що сприяє розвитку мікроорганізмів. Тому безпосередньо поруч із поверхнею корінь в одному кубічному сантиметрі втримується близько 130 млрд мікроорганізмів, а на відстані 10 м їхня присутність падає до 20 млрд. Найважливішим механізмом “фітореємедіації” ґрунту є біодеградація вуглеводнів нафти мікроорганізмами, чий розвиток стимулюється виділеннями корінь.

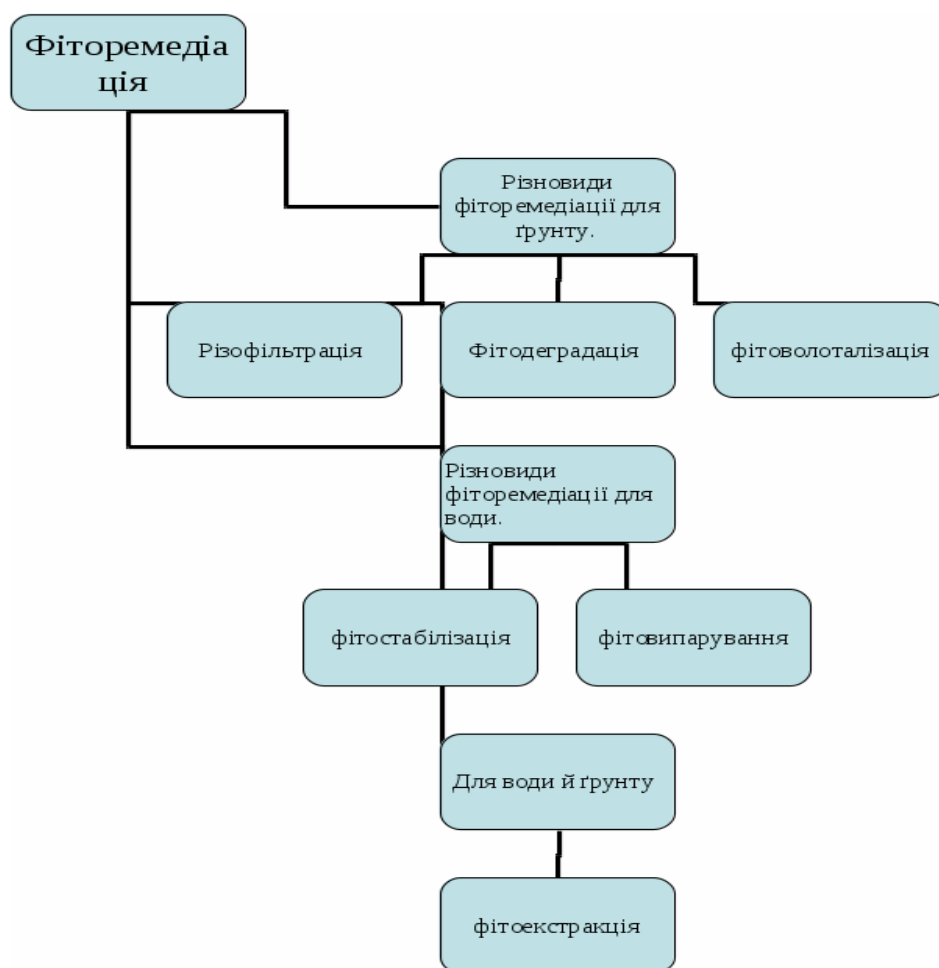


Рисунок 4.3 – Різновиди фітореємедіаційної біотехнології для очищення ґрунтів та води

Фітодеградація або фітотрансформація — «внутрішнє» руйнування вуглеводнів рослиною — після поглинання розкладання їх у ході метаболічних процесів або «зовнішнє», коли нафтопродукти розкладаються під дією корневих виділень — безсумнівно, один з основних технологічних прийомів фітореємедіації. Він заснований на можливості рослин разом із ґрунтовою мікрофлорою здійснювати ферментативне розщеплення органічних токсикантів ґрунту. У процесі деградації органічних речовин, мабуть, відбувається видалення із ґрунту й неорганічних токсичних забруднювачів, таких як важкі метали й радіонукліди. Фітодеградаційна технологія виявилася ефективною у випадках забруднення ґрунту високими концентраціями аліфатичних, ароматичних, і поліциклічних вуглеводнів, фенолів, пестицидів та ін. Звичайно

всі рослини володіють деградаційною токсикантною властивістю. Однак найбільш високі фітодеградаційні характеристики проявляють такі однолітні трав'янисті рослини, як вівсяниця, хрін, люцерна й деревні рослини: дуб, тополя, верба, кипарис. Багато водоростей так само активно метаболізують органічні токсиканти.

Фітоволоталізація. Сутність її полягає в здатності рослин до газообміну й транспірації, тобто випару води листами. При цьому токсиканти, що надійшли через кореневу систему, виділяються в атмосферу із транспіраційним струмом (струм всмоктаного коріннями сирого соку, який рухається по судинам і трахеїдам рослини). Ця технологія виявилася придатною для очищення ґрунтів і водойм від органічних і навіть неорганічних з'єднань на основі селену і ртуті. Однак у цієї технології в ряді випадків є серйозні обмеження — нетрансформовані токсиканти, що виділилися в атмосферу, можуть бути залучені в харчовий ланцюг і бути причиною вторинного забруднення навколишнього середовища.

При забрудненнях водної поверхні або викидах більших кількостей поллютантів, коли з'являються так звані «калюжі», необхідно використати інші біотехнологічні методи очищення. Разом з тим, для випадків забруднень, коли поллютанти не утворюють суцільного шару або плівки на поверхні, а проникають углиб ґрунту й попадають у підґрунтові води, найбільш ефективним з технічної й економічної точки зору методом ліквідації забруднення є фіторемедіація. З ризосфери обраних рослин будуть виділені й протестовані штами-деструктори нафтопродуктів.

Фітостабілізація являє собою нагромадження, або іммобілізацію рослиною забруднюючих речовин із ґрунту або ґрунтових вод. При цьому можливі різні механізми процесів — абсорбція поллютантів коріннями й нагромадження їх в рослині, адсорбція поллютантів у прикореневій зоні - ризосфері й (або) їхнє осадження там. На жаль, із всіх видів рослин, що вивчалися, жодна не показала значного ефекту відносно нафти й нафтопродуктів, хоча даний метод добре зарекомендував себе для видалення із ґрунту й ґрунтових вод важких металів.

Фітовипар — здатність рослини поглинати нафту або нафтопродукти в процесі підтримки свого водного балансу, тобто разом з водою «викачують» із ґрунту забруднюючу речовину. Ця здатність хоча й може бути використана для очищення забруднень, разом з тим є напівзаходом, тому що в цьому випадку забруднююча речовина виводиться в атмосферу в процесі транспірації.

Біотехнологія деградації забруднювачів у ґрунтах за використання мікроорганізмів. Принцип дії: деструкція забруднювачів різними видами мікроорганізмів за рахунок активізації аборигенної мікрофлори або внесення у ґрунт певних культур мікроорганізмів, використання комплексних біопрепаратів та інших методів, створення оптимального середовища для розвитку певних груп мікроорганізмів, що розкладають забруднювач. Ґрунт стає придатним для вирощування рослин. Для біодеградації важких металів (ВМ) у ґрунтах розроблено спосіб їх очищення шляхом обробки культурою бактерій (штам *Bacillus fastidiosus* ВКПМ В-4368) у рідкому мінеральному

живильному середовищі, яке містить вуглеводи. Процес біологічне вилуговування проводять до досягнення значення рН = 4,0–6,0 з витратою рідкого компонента у кількості 0,4–10 масових частин на 1 масову частину ґрунту, що обробляється. Метод ефективний, але є матеріаловитратний (доведення рН 2,8 до рН 4–6 потребує великої кількості нейтралізуючої речовини, витрати 0,4–10 масових частин поживного середовища на 1 масову частину ґрунту також є ресурсовитратними). При використанні методів біодеградації забруднень у ґрунті, досить часто використовують посилюючі методи. Так, існуючі механічні методи активізації мікрофлори у ґрунті передбачають використання розпушування, оранку, дискування, змішування забрудненого ґрунту із осадам стічних вод (ОСВ), змішування забрудненого ґрунту із чистим, що призводить до активізації мікрофлори.

Сумісне використання механічних методів із біологічно активними речовинами (передпосівна інкрустація насіння рослин, обробка рослин задля змін ростових процесів), крім стимулюючої дії на фотосинтетичні процеси рослин, сприяє збільшенню висоти і загальної продуктивності рослин.

Використання біологічних поверхнево-активних речовин для захисту від токсичності Cd у ґрунті сприяє гальмуванню розщеплення органічних сполук у разі одночасного забруднення ґрунту ВМ і органічними речовинами (гідрофобні нафта і нафтопродукти). Встановлено здатність біосурфактанта пом'якшувати токсичність Cd при розщепленні фенантрени за дози Cd 390 мг/кг суглинного ґрунту та біодоступної концентрації у ґрунтового розчину 3 мг/л. Пороговою є концентрація 1000 мг/кг фенантрени. Більші його концентрації призводять до зниження активності мікробоценозу ґрунту. До речі, застосування екологічно безпечних біогенних сурфактантів мікробного походження для обробки забрудненого ВМ ґрунту стають більш економічно ефективними, перспективи їх широкого впровадження зростають за рахунок подальшого їх удосконалення та здешевлення внаслідок зростаючої потреби у їхньому розвитку. Дослідження механізмів утворення метал-сурфактантних комплексів має теоретичне значення для пояснення взаємодії біосурфактантів з мікроорганізмами та ВМ ґрунту, формування стійких мікробних клітин до їх впливу.

Важкі метали (ВМ) діють як акцептор електронів (кислота Льюїса), органічні ліганди – як донор електронів (основа Льюїса). Через константи умовної стабільності комплексів – ВМ-органічний ліганд кількісно визначається міцність хімічного зв'язку ВМ і ліганду катіонних біосурфактантів (рамноліпідів, фульвової, оцтової, щавлевої та лимонної кислот) базується на утворенні координаційних сполук.

ВМ з органічною речовиною ґрунту. Продукт змішування забрудненого ґрунту з осадами стічних вод (ОСВ), за умови дотримання вимог щодо вмісту ВМ у ОСВ та у ґрунті, розглядається як добриво, що підвищує біологічну активність ґрунту за активізації мікроорганізмів, іммобілізує ВМ шляхом їх переведення у малодоступні для рослин форми за рахунок абсорбції органічною речовиною ОСВ. Отже, забезпечується ремедіація забруднених ВМ ґрунтів.

Таким чином, біотехнологічні методи очищення ґрунтів від забруднень дозволяють підтримувати екологічний баланс шляхом засвоєння й метаболічної деградації антропогенних забруднень.

? Питання для самоконтролю:

1. Біоремедіація — це...
2. Біоремедіація *in situ* – це...
3. На чому ґрунтується біоремедіація *ex situ*?
4. Фіторемедіація — це...
5. Для чого звичайно використовують фітоекстракцію?
6. Ризофільтрація – це...
7. Фітодеградація або фітотрансформація — це...
8. Фітоволоталізація – це...
9. Який принцип дії біотехнологічних методів деградації забруднювачів у ґрунтах з використання мікроорганізмів?
10. Біотехнологічні методи очищення ґрунтів від забруднень дозволяють...

4.3 Біотехнології очищення газоповітряних викидів та утилізації твердих відходів

4.3.1 Біотехнологія очищення газоповітряних викидів

Біотехнологічні методи очищення засновані на здатності мікроорганізмів руйнувати і перетворювати різні з'єднання. Розкладання речовин відбувається під дією ферментів, що виробляються мікроорганізмами в середовищі газів, що очищаються. При частій зміні складу газу мікроорганізми не встигають адаптуватися для продукування нових ферментів, і ступінь руйнування шкідливих домішок стає неповним. Тому біотехнологічні системи понад усе придатні для очищення газів постійного складу. Біотехнологічну газоочистку проводять або в біофільтрах, або в біологічних скруберах.

Біофільтрація – біотехнологічний метод очищення повітря від шкідливих домішок побутового та промислового походження. Метод заснований на природній здатності мікроорганізмів утворювати біологічно активну плівку (*biofilm*) на поверхні твердого пористого носія, витягувати домішки органічних і неорганічних летючих речовин, враховуючи органічні речовини штучного походження (ксенобіотики), окисляти і розкладати їх до води і вуглекислого газу.

Біологічні фільтри являють собою металеві або залізобетонні резервуари, заповнені фільтрувальним матеріалом (шлак, керамзит, гравій, пластмаса, щебінка та інші).

За типом завантаження біофільтри поділяють на біофільтри:

- із об’ємним завантаженням (щебінь, гравій, керамзит, шлак тощо);
- площинним (пластмаси, азбестоцемент, кераміка, метал тощо) завантаженням.

Біофільтри з об’ємним завантаженням за розміром і висотою завантаження поділяються на:

- краплинні, які мають крупність фракцій матеріалу завантаження 20–40 мм і висоту шару завантаження 1,5–2 м;
- високонавантажувані, які мають крупність фракцій матеріалу завантаження 40–60 мм і висоту шару завантаження 2–4 м (у вітчизняній практиці високонавантажувані біофільтри з висотою шару завантаження більшою 2 м і штучною вентиляцією отримали назву аерофільтри);
- вежні (великої висоти), які мають крупність фракцій матеріалу завантаження 60–80 мм і висоту шару завантаження 8–16 м.

Об’ємне завантаження біофільтрів має питому вагу 500 – 1500 кг/м³ і пористість 40–50 %.

Біофільтри з площинним завантаженням поділяють за типом завантаження на:

1. Біофільтри із жорстким засипним завантаженням у вигляді кілець, обрізків труб й інших елементів із кераміки, пластмаси, металу й ін. матеріалів. У залежності від матеріалу завантаження його питома вага становить 100 – 600 кг/м³, пористість — 70 – 90 %, а висота шару завантаження — 1 – 6 м. Біофільтри із жорстким блочним завантаженням у вигляді решіток чи блоків, що збираються з плоских чи гофрованих листів, найчастіше пластмасових (полівінілхлорид, поліетилен, поліпропілен, полістирол й ін.) чи азбестоцементних. Питома вага пластмасового завантаження становить 40–100 кг/м³, пористість — 90 – 97 %, а висота шару завантаження — 2 – 16 м.

Питома вага азбестоцементного завантаження становить 200–250 кг/м³, пористість – 80-90 %, а висота шару завантаження — 2–6 м.

2. Біофільтри з м’яким завантаженням із металевих сіток, пластмасових плівок чи синтетичних тканин (нейлон, капрон), які кріпляться на спеціальних каркасах чи вкладаються у вигляді рулонів. Таке завантаження висота шару 3-8 м має питому вагу 5 – 60 кг/м³ і пористість — 94 – 99 %.

Порівняльна характеристика різних типів біофільтрів наведена у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Технологічні параметри різних типів біофільтрів

Технологічні параметри	Біофільтр			
	Краплинний	Високонавантажувальний	Вежний	З пластмасовим завантаженням
Висота завантаження, м	1,5 – 2	2 – 4	8 – 16	3 – 4
Гідравлічне навантаження, м ³ /(м ² ·добу)	1 – 3	10 – 30	30 – 50	30 – 45
Окислювальна потужність, г ПК _{повн} /(м ³ ·добу)	150 – 300	500 – 1000	1000 – 2500	2700
Допустима БПК _{повн} очищувальних стічних вод, мг/л	220	300	250 – 500	250

Закінчення таблиці 4.1

Кількість надлишкової біоплівки, г на 1 жителя	8	28	28	28
Рекомендована продуктивність по стічних водах, м ³ /добу	до 1000	до 50000	до 50000	до 50000

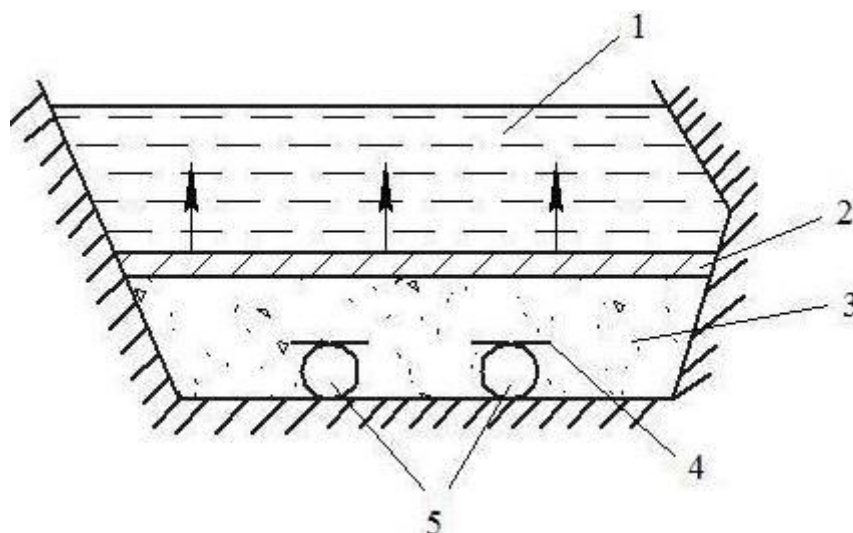
За способом подачі повітря в тіло біофільтра вони поділяються на:

- біофільтри з природною вентиляцією;
- біофільтри із штучною вентиляцією.

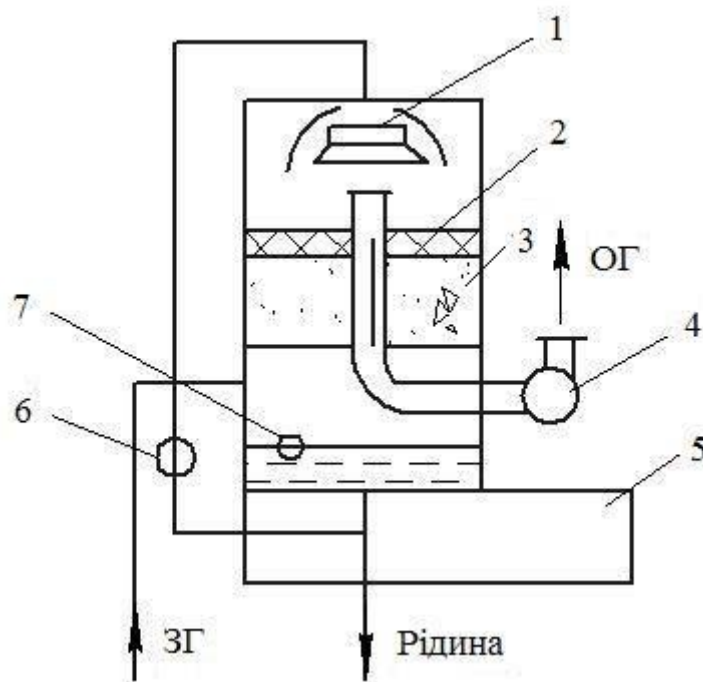
У біофільтрах газ, що очищається, пропускають через шар насадки, зрошуваний водою, яка створює вологість, достатню для підтримки життєдіяльності мікроорганізмів. Поверхня насадки покрита біологічно активною біоплівкою (БП) з мікроорганізмів. Мікроорганізми БП в процесі своєї життєдіяльності поглинають і руйнують речовини, що містяться в газовому середовищі, внаслідок чого відбувається зростання їх маси. Ефективність очищення значною мірою визначається масоперенесенням з газової фази в БП і рівномірним розподілом газу в шарі насадки. Такого роду фільтри використовують, наприклад, для дезодорації повітря. Газовий потік, що в цьому випадку очищується, фільтрується в умовах прямогоку із зрошуваною рідиною, що містить живильні речовини. Після фільтру рідина потрапляє у відстійники і далі знов подається на зрошування. В даний час біофільтри використовують для очищення газів, що відходять, від аміаку, фенолу, крезолу, формальдегіду, органічних розчинників фарбувальних і сушильних ліній, сірководню, метилмеркаптану й інших сіркоорганічних сполук. До недоліків цього методу слід віднести: низьку швидкість біохімічних реакцій, що збільшує габарити устаткування; специфічність (високу вибірковість) штамів мікроорганізмів, що ускладнює переробку багатоконпонентних сумішей; трудомісткість переробки сумішей змінного складу.

Біологічні фільтри прості за конструкцією і їх експлуатація не пов'язана з великими капіталовкладеннями. Найпростіший біофільтр – це ємність в землі, в якій під шар фільтрувального матеріалу подають потік газу, який очищається. Схема такого біофільтра, спорудженого для очищення і дезодорації повітря на одному з підприємств для переробки твердих відходів у Німеччині, наведена на рис. 4.4.

Ефективність біофільтра подібного типу невисока, поверхня контакту фаз незначна, а гідравлічний опір може бути занадто великим. Частково усунути ці недоліки вдалося конструкторам біореактора з насадкою „Полінет” (Нідерланди), призначеного для тонкого очищення вентиляційного повітря виробничих приміщень (рис. 4.5). Ступінь очищення від газових домішок в біофільтрах з насадкою «Полінет» складає 70-95%, а залишковий вміст пилу не перевищує 5 мг/м³.



1 – свіжий компост; 2 – просіяний великий компост; 3 – великий шлак; 4 – картон, насичений бітумом; 5 – перфоровані бетонні труби
Рисунок 4.4 – Біофільтр для очищення і дезодорації повітря (Німеччина)

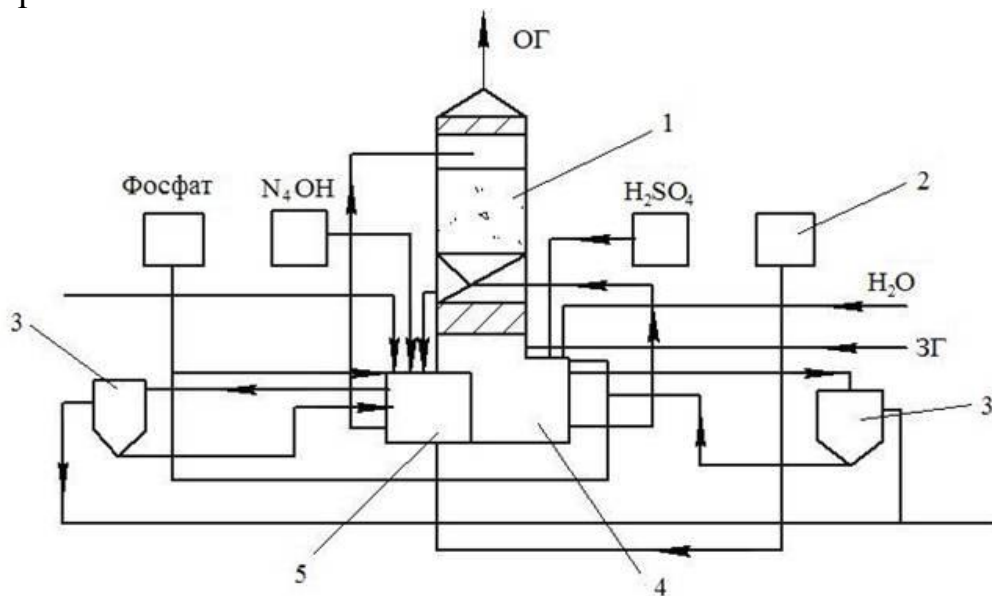


1 – водозливна тарілка; 2 – розподільна плита; 3 – насадка; 4 – вентилятор;
5 – опорна арматура; 6 – насос; 7 – поплавкова водопровідна лінія
Рисунок 4.5 – Біореактор тонкого очищення з насадкою «Полінет»

В біоскруберах витягнені із газів компоненти розкладаються при контактуванні їх з суспензією активного мулу, для чого можна використовувати скрубери найрізноманітнішої конструкції. Фірма «Керамхеми» (Німеччина) розробила біоскруберну установку газоочищення відхідних газів при виробництві кераміки (рис. 4.6).

Відхідні гази надходять на очищення в двоступеневий насадковий абсорбер (1), перша ступінь якого зрошується слабкою суспензією активного мулу і служить для вловлювання основних органічних і неорганічних

домішок, а друга ступінь зрошується слаболужною суспензією активного мулу. рН середовища регулюють автоматично додаванням 20%-го розчину сірчаної кислоти чи гідроксиду натрію. На обох ступенях поглинач підживлюють фосфатом. Для компенсації втрат води при випаровуванні подають свіжу воду в об'ємі 0,2-1,2 м³/год. У відстійники (3) зі скрубера надходить 0,2 м³/год. суспензії активного мулу, з яких 0,1 м³/год. вертають на установку. Частину освітленої рідини постійно скидають, щоб запобігти накопиченню солей, які пригнічують розвиток мікроорганізмів. У неробочі періоди активний мул підживлюють конденсатом з вмістом 9000 мг БПК, аерацію здійснюють вентилятори.

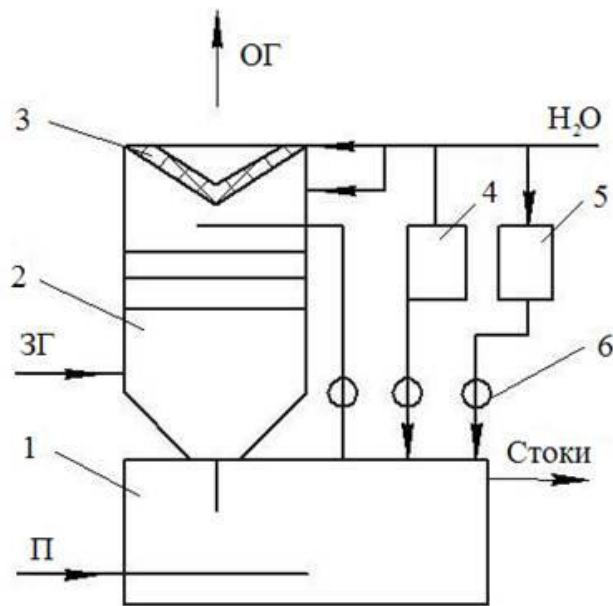


1 – насадочний абсорбер; 2 – ємність для живильних речовин; 3 – відстійники; 4 – ємність для кислотного оброблення; 5 – ємність для лужного оброблення
Рисунок 4.6 – Схема біоскруберної установки «Керамхемі» (Німеччина)

Ряд цікавих нововведень у систему біотехнологічного очищення аспіраційних газів внесли конструктори фірми «Фудзі касуй кото» (Японія). По-перше, для стабілізації дії активного мулу і поліпшення процесу його регенерації до суспензії додають активоване вугілля. По-друге, в установках очищення використовують активний мул із станцій очищення стічних вод тих же підприємств, які роблять роботу установок безвідходною (рис. 4.7).

Повітря з колектора аспіраційних газів попередньо обезпилують в циклоні, після чого подають в реактор (1) з барботажним скрубером (2), де відбувається тонке очищення суспензією активного мулу. Концентрацію активованого вугілля підтримують постійною шляхом внесення відповідних доз вугілля при заміні активованого мулу, який обновлюють один раз на добу (в кількості 5 м³). Використаний активний мул обробляють на вмонтованій віджимній центрифугі. Оскільки газ, який очищується, вміщує аміак, в суспензію як живильну речовину додають дешеву фосфорну кислоту.

Ступінь дезодорації складає 98–99%, ступінь очищення: для фенолу — 93%, формальдегіду — 96%, аміаку — 98%. Ступінь розкладання вилучених речовин в розрахунку на ХПК 96–97%.



1 – реактор; 2 – абсорбер; 3 – краплиновловлювач; 4 – ємність для активованого вугілля; 5 – ємність для живильних речовин; 6 – насоси

Рисунок 4.7 – Схема установки для очищення аспіраційних газів стічними водами (Японія):

Гази з неприємним запахом можуть видалятися біотехнологічно в «сухих» або «мокрих» біоскруберах. «Мокрий» біоскрubber, працює як реактор з насадкою з іммобілізованою біомасою і протитечією рідини. При цьому, гази, що неприємно пахнуть, переносяться з газової фази в рідку, а потім окислюються. Основні переваги цього процесу полягають у наступному: має місце велика ефективність поглинання, біологічне окислення практично до нуля знижує смердючі забруднення, різко зменшується обсяг поглинання рідкої фази; паралельно вирішується проблема видалення стічних вод.

«Сухий» біоскрubber завантажується насадкою з біоактивного сорбуючого матеріалу (компост, торф), через який продуваються забруднені гази. Сорбовані з'єднання активно окислюються мікробними спільнотами, що розвиваються на поверхні насадки, одночасно регенеруючи її. За такою біотехнологією, наприклад, проводиться очищення повітря в свинарниках.

Перспективним напрямом біотехнології очищення газів є створення біологічно активних сорбентів та оптимізації мікробного співтовариства (включаючи генетичні методи), що окислюють широкий спектр субстратів.

? Питання для самоконтролю:

1. Біофільтрація – це...
2. Біологічні фільтри являють собою...
3. Чим значною мірою визначається ефективність очищення?
4. Найпростіший біофільтр – це...

5. Біоскрubber – це...
6. Яким чином працює «мокрый» біоскрubber?
7. «Сухий» біоскрubber — це...
8. Перспективним напрямом біотехнології очищення газів є...

4.3.2 Біотехнологічні методи утилізації твердих відходів

Проблема утилізації відходів є для України актуальною, оскільки країна виступає європейським лідером за кількістю відходів на душу населення. Водночас ситуація з їх утилізацією залишається на колишньому рівні.

На міських звалищах щорічно накопичуються сотні тисяч тон побутових відходів. В Україні нараховується близько 2000 об'єктів складування відходів, які були організовані без проектів та інженерно-гідрологічних вишукувань. Місцезнаходження, облаштування та умови експлуатації більшості місць видалення відходів не відповідають нормативним вимогам. Як правило, такі звалища на сьогодні розташовані вже в межах міських територій, займають значні площі. Аналіз досліджень з оцінки стану місць видалення відходів в Україні доводить, що звалища функціонують в умовах відсутності організованого механізму перетворення їх на природоохоронні системи, постійний потік відходів виключає умови для рекультивациі, а довготривалі процеси знешкодження відходів та їх метаболітів вилучають територію звалища як зону екологічного лиха з системи природокористування. Отже, виникає необхідність впровадження технологічних рішень із підвищення рівня екологічної безпеки функціонуючих звалищ ТПВ.

Методи утилізації ТПВ повинні відповідати наступним основним гігієнічним вимогам:

- надійний знешкоджуючий ефект, перетворення відходів на нешкідливий в епідемічному та санітарному відношенні субстрат. В епідемічному відношенні ТПВ є надзвичайно небезпечними: мікробне число сягає десятків та сотень мільярдів, містять патогенні та умовно-патогенні бактерії, віруси, яйця гельмінтів;
- швидкість – найкращим вважається такий метод, який дозволяє ефективно знешкодити відходи за той проміжок часу, за який вони утворюються;
- повинен запобігти відкладенню яєць та розвитку личинок та лялечок мух (*Musca domestica*) як у відходах під час знешкодження, так і в отриманому внаслідок знешкодження субстраті;
- повинні запобігти доступу гризунів у процесі знешкодження відходів і перетворити відходи в субстрат, несприятливий для їх життя та розвитку;
- повинні запобігати забрудненню повітря леткими продуктами руйнації органічних речовин (ТПВ містять до 80 % органічних речовин, з яких 20–30 % у теплий період року легко загнивають і виділяють при цьому сморідні гази: сірководень, індол, скатол і меркаптани);

– при знешкодженні відходів не повинні забруднюватися поверхневі та підземні води;

– повинні дозволяти максимально і безпечно для здоров'я людей використовувати корисні властивості ТПВ, оскільки вони містять до 6% утилю, при їх спалюванні можна отримувати теплову енергію, при біотермічній переробці — органічні добрива, а харчові відходи використовувати для відгодівлі тварин.

Сучасні способи поводження з відходами можна розділити на три групи методів: захоронення та складування, спалювання, утилізація. Утилізація – це така переробка відходів, в результаті якої отримуються продукти, які можна використовувати у інших виробництвах, тобто залучати їх у безперервний цикл виробництва — рециклінг. Вирішення проблеми поводження з відходами таким чином є раціональним, ресурсозберігаючим, екологічно безпечним та економічно доцільним.

Біологічні технології знаходяться в даний час у фазі бурхливого розвитку, але рівень їх розвитку багато в чому визначається науково-технічним потенціалом країни. Всі високорозвинені країни світу відносять біотехнологію до однієї з найважливіших сучасних галузей, вважаючи її ключовим методом реконструкції промисловості у відповідності до потреб часу, і вживають заходів зі стимулювання її розвитку. З точки зору екологічної доцільності біотехнологічні заходи не мають конкурентів, тому що є природними, а отже, не супроводжуються побічними ефектами, які важко, і часто неможливо прогнозувати при розробленні природоохоронних технологій у випадку застосування хімічних, фізико-хімічних, фізичних заходів, а також деяких біологічних, що базуються на використанні організмів, які не є представниками природних екосистем.

Отже, за кінцевою метою методи утилізації ТПВ поділяються на: утилізаційні (переробка відходів в органічні добрива, біопаливо, виділення вторинної сировини /наприклад, металевого брухту/ для промисловості, використання як енергетичного палива) та ліквідаційні (поховання в землю, скид в моря, спалювання без використання тепла).

За технологічним принципом методи утилізації відходів поділяються на:

1) біологічні або біотермічні (поля заорювання, удосконалені звалища, полігони складування, поля компостування, біокамери, заводи біотермічної переробки; у сільській місцевості в особистих господарствах — компостні кучі, парники);

2) термічні (сміттеспалювальні заводи без, або з використанням теплової енергії, що утворюється при спалюванні відходів; піроліз з одержанням горючого газу та нафтоподібних мастил);

3) хімічні (гідроліз);

4) механічні (сепарація відходів з подальшою утилізацією, пресування відходів в будівельні блоки);

5) змішані.

У випадку з утилізацією ТПВ значний інтерес представляють біотехнологічні методи. Перспективність та ефективність застосування

біотехнологічних процесів обумовлена високим рівнем їх продуктивності. Ці процеси піддаються контролю та регулюванню, реалізуються у нормальних умовах, є природними і не мають побічних негативних впливів на біоту та навколишнє середовище, не вимагають значних земельних площ, не потребують застосування пестицидів, гербіцидів та інших чужорідних для навколишнього середовища агентів. Оскільки до 40 % ТПВ відноситься до органічних відходів, що легко розкладаються, вилучення цієї частини відходів зі звалищ за рахунок компостування та перетворення відходу на вторинний матеріальний ресурс дозволить суттєво зменшити екологічне навантаження фактично розміщених та потенційно запланованих звалищ на довкілля.

Серед біотехнологічних методів, які можуть бути використані для ефективної утилізації органічних відходів можна виділити найбільш вивчені та перспективні на даний момент з точки зору еколого-економічної доцільності:

- анаеробне зброджування (біометаногенез);
- аеробне зброджування;
- компостування;
- вермікомпостування.

Найбільше розповсюдження отримали біотермічні методи. В їх основі лежать складні процеси самоочищення ґрунту від органічних забруднень. Біотермічний метод утилізації відходів передбачає отримання компосту, який може використовуватися як добриво в сільському господарстві. Компостування – це технологія переробки відходів, що заснована на їх природному біорозкладі. Під впливом аеробних умов у присутності мікроорганізмів температура підвищується до 70° С і відбувається окислення органічних речовин. В анаеробних умовах, коли кількість кисню зменшується, температура знижується, процес розкладу уповільнюється. У результаті біотермічного обробітку отримують компост, нешкідливий у санітарно-гігієнічному відношенні, без неприємного запаху, який не приваблює мух і може використовуватись як добриво чи біопаливо.

Біотермічне знешкодження дозволяє:

- 1) розкласти складні органічні речовини відходів та продукти їх метаболізму до більш простих сполук з тим, щоб у подальшому за допомогою спеціальних мікроорганізмів, в присутності кисню повітря, синтезувати нову, стійку, безпечну у санітарному відношенні речовину, що зветься гумусом;
- 2) знищити вегетативні форми патогенних та умовно-патогенних бактерій, віруси, найпростіші, яйця гельмінтів, яйця і личинки мух.

Ефективність біотермічного методу знешкодження ТПВ залежить від:

- аерації відходів (на 1 об'єм ТПВ необхідно подавати 25 об'ємів повітря);
- вологості відходів (якщо вологість <30%, ТПВ необхідно штучно зволожувати; якщо >70 %, необхідно влаштовувати пристрої для її зменшення);
- вмісту у відходах органічних речовин, що здатні легко загнивати (повинні бути не <30%, співвідношення вуглецю і азоту 30:1), і неорганічних сполук (не >25%);
- розміру частинок відходів (оптимальний розмір 25–35 мм);

- активна реакція (рН) відходів (оптимальною є рН 6,5–7,6);
- ступеню вихідної контамінації відходів мезофільними та термофільними мікроорганізмами (для інтенсифікації очистки проводять штучну інокуляцію);
- температурних умов (чим швидше буде підніматися температура у товщі відходів, тим краще і надійніше відбудеться біохімічне руйнування органічних речовин та відмирання патогенної мікрофлори).

Найбільш рентабельним в даний час є метод компостування. Компостування — це екзотермічний процес аеробного біологічного розкладу відходів в умовах підвищеної температури та вологості. У процесі біодеградації органічний субстрат піддається фізичним та хімічним перетворенням з утворенням стабільного гуміфікованого кінцевого продукту, який використовується у сільському господарстві як добриво та як засіб, що покращує структуру ґрунтів, підвищує їх стійкість до ерозії.

Відходи, що піддаються компостуванню: міське сміття, гній тваринницький ферм, відходи рослинництва, сирий активний мул тощо. Організми, що беруть участь у компостуванні: бактерії, актиноміцети, гриби, водорості, найпростіші, вищі гриби, багатоніжки, кліщі, черви, мурашки тощо.

Процес компостування поділяють на чотири стадії:

- мезофільна — відходи мають температуру навколишнього середовища, рН слабокисле. Мікроорганізми, присутні у відходах, починають швидко розмножуватись, у процесі розщеплення ними органічних сполук виділяється енергія, температура піднімається до 40°C, рН підкисляється;

- термофільна — при підвищенні температури понад 40 °С починають гинути мезофіли та переважають термофіли. Це піднімає температуру до 60 °С, процес розкладання речовин продовжують споротворні бактерії та актиноміцети, гриби стають неактивними. Гинуть термочутливі патогенні мікроорганізми, бур'яни та їх насіння. рН стає лужним;

- охолодження — рН повільно падає, але лишається лужним. Швидкість тепловиділення стає дуже низькою, температура знижується до температури навколишнього середовища;

- дозрівання — втрати маси та тепловиділення малі, процес триває декілька місяців.

Параметри процесу компостування:

- склад — сировина для компостування має містити максимум органічного матеріалу та мінімум неорганічних відходів;

- дисперсність частинок - розмір частинок для механізованих установок з перемішуванням та примусовою аерацією — 12,5 мм, для нерухомих куп з природною аерацією — 50 мм;

- поживні речовини — вміст елементів у відходах, як правило, є оптимальним для здійснення процесу компостування, лише співвідношення С/Н та зрідка рівень фосфору можуть потребувати коригування. С/Н має перебувати у межах 25/1;

- вологість — має бути в межах 50-60;

- аерація — оптимум — 10–18% кисню;

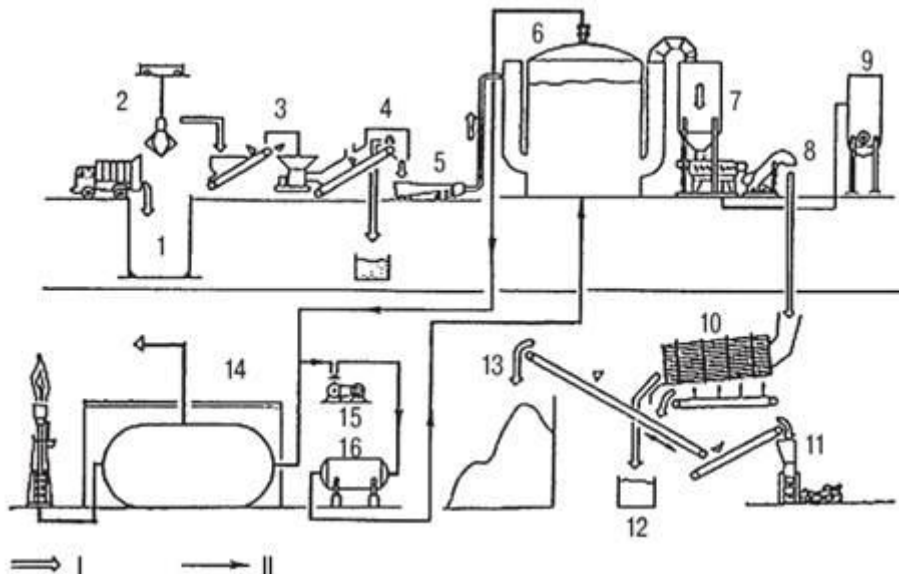
– перемішування — здійснюється для забезпечення киснем усіх зон компостної маси та диспергування крупних фрагментів сировини;

– розміри купи — будь-яка довжина, висота 1,5 м та ширина 2,5 м для куп та компостних рядів з природною аерацією. У разі примусової аерації розміри купи мають перешкоджати перегріву.

В основі біологічної переробки сміття на компост лежить аеробна переробка відходів. В результаті діяльності термофільних бактерій відбувається підвищення температури всередині відходів до 50-70 °С, що створює умови для більш швидкого розкладання органічних речовин та відмирання патогенної мікрофлори і яєць гельмінтів. У звичайних, природних умовах повна переробка сміття відбувається за 1–1,5 роки. Для більш швидкого процесу знешкодження ТПВ необхідно використовувати додаткові фактори та методи.

Найголовнішою перевагою компостування, як складової маловідходного чи безвідходного виробництва, є екологічність цього методу.

Принципова схема переробки ТПВ методом анаеробного компостування наведена на рис. 4.8.



I – напрямок руху відходів; II – напрямок руху біогазу

1 – приймальний бункер; 2 – мостовий грейферний кран; 3 – дробарка; 4 – магнітний сепаратор; 5 – насос-змішувач; 6 – метантенк; 7 – шнековий прес; 8 – розрихлювач; 9 – ємність для збору «віджиму»; 10 – циліндричний грохот; 11 – пакувальна машина; 12 – великий відсів; 13 – склад добрив; 14 – газгольдер; 15 – компресор; 16 – вирівнювальна камера.

Рисунок 4.8 – Схема переробки ТПВ методом анаеробного компостування

Крім того, що завдяки компостуванню зменшується навантаження на природне довкілля за рахунок виключення потрапляння до нього відходів, які значною мірою негативно впливають на навколишнє середовище та вносять в нього забруднюючі та токсичні речовини, в результаті компостування отримується цінний вторинний ресурс – біогумус, який за сучасного стану ґрунтів може допомогти вирішити проблему стрімкого спаду родючості земель.

Біогумус – концентроване органічне добриво, яке є сипучою дрібно гранульованою масою з розміром гранул 1-3 мм та утворюється під час проходження процесів, що властиві природі. Добриво легко засвоюється рослинами протягом всього циклу свого розвитку та є складовою уникнення зростання темпів деградації навколишнього середовища.

У добриві міститься комплекс необхідних поживних речовин і мікроелементів, ґрунтові антибіотики, вітаміни і ферменти, гормони росту і розвитку рослин. У біогумусі мешкає унікальне співтовариство мікроорганізмів, які створюють ґрунтову родючість.

Компостування в штабелях. На спеціально відведених полях сміття укладається в штабелі, які мають форму трапеції: висота до 2 м, довжина до 25 м. Зверху засипається торфом чи землею, або на 2–3 тижні закривається поліетиленовою плівкою. Площа території під компостування 1,5–2 га на 10 000 тис. населення.

Безкамерні знешкодження з додатковою аерацією – це таке ж штабелювання, але вже з висотою штабеля 3-4 м. Всередину штабеля укладаються вентиляційні дрени, через які відбувається посилена аерація сміття в результаті різниці між температурою повітря і температурою всередині штабеля. За допомогою такого простого пристосування вдається скоротити тривалість процесу до 3–4 місяців.

Біотермічне компостування. Цей спосіб утилізації твердих побутових відходів заснований на природних, але прискорених реакціях трансформації сміття при доступі кисню у вигляді гарячого повітря при температурі близько 60 градусів Цельсія. Біомаса ТПВ у результаті таких реакцій у біотермічних установці перетворюється в компост. Однак для реалізації цієї технологічної схеми вихідне сміття повинне бути очищене від великогабаритних предметів, а також металів, скла, кераміки, пластмаси, гуми. Отримана фракція сміття завантажується в біотермічні барабани, де витримується протягом 2 діб з метою отримання товарного продукту. Після цього компостований сміття знову очищується від чорних і кольорових металів, подрібнюється і потім складається для подальшого використання як компост, у сільському господарстві, або біопаливо, в паливній енергетиці. Біотермічне компостування зазвичай проводиться на заводах з механічної переробки побутових відходів та є складовою частиною технологічного ланцюга цих заводів. Але сучасні технології компостування не дають можливості звільнитися від солей важких металів, тому компост з ТПВ фактично малоприсадний для використання в сільському господарстві.

Біотермічні камери – це ємності з заліза, бетону, об'ємом від 2 м³ до 20 м³. За рахунок додаткової аерації вдається досягти температури 70 °С. Термін компостування скорочується до 60 днів. Однак використання цих камер не набуло широкого розповсюдження.

Найбільшу цікавість в даний час викликає будівництво компостних заводів, які являють собою ціле промислове підприємство з переробки сміття, твердих відходів. Перевага цих заводів у тому, що процес переробки закінчується протягом 5 діб, а в деяких випадках цей процес скорочується до 3

діб. На цих заводах сміття в прийомних бункерах сортується – видаляються металеві домішки за допомогою магніту. Потім подається в барабан, який обертається, де сміття ретельно подрібнюється та аерується, температура досягає 65 °С.

Отже, переваги компостування відходів:

- зменшення обсягу відходів, що захоронюються чи спалюються;
- зниження потреби у площах для захоронення;
- зменшення негативного впливу звалищ та ССЗ на здоров'я населення і довкілля;
- можливість отримання біогазу та органічних добрив;
- позитивний вплив компосту на ґрунти. Він сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур, зменшує необхідність застосування мінеральних добрив та витрати на їх придбання, дозволяє отримати більший прибуток.

Біотехнологічний метод *вермикультивування* дозволяє трансформувати різні відходи, які до цього були основними забруднювачами навколишнього середовища, з одного боку, у повноцінний білок тваринного походження, придатний для використання у годівлі тварин та харчуванні людей (черв'ячна біомаса), а з другого – у зернисте гумусне добриво (біогумус).

Вермикомпостуванню піддаються різні відходи – рослинництва, тваринництва, побутові та промислові, осади стічних вод; на компост за допомогою дощових черв'яків переробляють навіть відходи, які важко піддаються утилізації – відходи целюлозно-паперової промисловості.

Під час вермикультивування не потрібно вносити хімічних добрив, застосовувати гербіциди. Вирощувати екологічно чисті продукти можна, застосувавши вермикомпост, основний продукт вермикультури.

Вермикультура – біотехнологічна галузь про використання черв'яків, котрих вирощують на дешевій кормовій базі для потреб птахівництва, рибництва і навіть як особливий делікатес для харчування людей (у деяких країнах Сходу, а останнім часом набуває все більшого поширення і в країнах Євросоюзу та США). Предметом вермикультури є особливі, штучно виведені, високопродуктивні, гібридні лінії черв'яків. Їх вирощують або траншейним способом, або в контейнерах, або в неглибоких кюветах. Червоний каліфорнійський черв'як темно-червоного кольору живе на територіях з помірним кліматом. Доросла особина досягає у довжину 8–10 см, у діаметрі 3–5 мм, масою 0,8 –1 г. За день споживає кількість корму, що приблизно дорівнює його масі (близько 1 г), після перетравлення якого виділяється 0,8–0,9 г копролітів. Найкрупніші частинки, які може проковтнути черв'як, мають розміри до 1 мм. Тривалість життя – майже 16 років (дикі форми — 4 роки). Дуже плодючий. Кожна особина має чоловічі й жіночі статеві органи (гермафродити), але не може самоzapлiднюватись. Статевозрілі особини обоєплідно запліднюють одне одного.

Оптимальною є температура 20–22 °С, а критичною — нижча від 0 °С та вища від 42 °С. При температурі 7 °С черв'як впадає у стан анабіозу, тобто він

живий, але нерухливий і не харчується. Кислотність — 6,8–7,2. Оптимальна вологість – 75–88 %, а критична — нижча від 60 % і вища від 90 %.

Практика показала, що культивовані черв'яки майже не хворіють і мало піддаються епізоотіям. Розвитку будь-якого захворювання сприяє нестача або небажаний надлишок основних або одного з показників середовища. Причина може полягати в закисанні ґрунту, надто високій температурі навколишнього середовища, надлишку вологи, солей, відсутності провітрювання, нестачі корму, невідповідності фізико-хімічних властивостей ґрунту.

Найчастіше загибель черв'яків викликає отруєння протеїном при незакінченій ферментації субстрату. У результаті черв'як стає «кислотним» і виділяє шкідливі гази, які є смертельними для інших черв'яків. Важливою умовою є частий огляд черв'яків, регулярна заміна частини ґрунту, запобігання перенаселенню черв'яків. Важливим правилом годівлі є часте давання корму, але невеликими порціями. При надлишковому зволоженні потрібне внесення сухої фракції свіжого ґрунту, при небезпечному рівні висихання–зволоження до приблизного стану вологості 80 %. У разі виявлення патологічно розвинутих особин останніх слід обов'язково видаляти. Це запобігає подальшому розвитку можливої хвороби, її розповсюдженню, а також можливому зараженню всієї популяції. У разі, якщо виявлено генетично успадковану хворобу, небажаним є її подальше успадкування потомством.

Слід ураховувати два важливих аспекти, при яких можливе захворювання черв'яків:

- а) наявність у популяції ослаблених особин;
- б) наявність збудника хвороби.

Отже, якщо не допускати появи цих факторів, шансів негативного впливу на черв'яків досить мало. До того ж дощові черв'яки історично є досить старими організмами. За деякими даними науковців, їм біля 5 млрд. років, а це свідчить про їх досить добру пристосованість до негативного впливу середовища. Як показало життя, дощові черв'яки можуть жити навіть у дуже забруднених ґрунтах. Адаптивність до аерації ґрунту і починається незворотна зміна рослинності та ландшафту.

Незважаючи на відносно високу живучість дощових черв'яків, все ж потрібно слідкувати за запахом з контейнера. Поява неприємного аромату може бути першим тривожним сигналом. Необхідно одразу ретельно дослідити вміст контейнера і вивчити стан черв'яків. Якщо в контейнері для черв'яків функціонує нормально, то не повинно виділятися підозрілих, надто сильних запахів.

Існують наступні вимоги до вихідного органічного субстрату (відходів) для одержання якісного корму для черв'яків: вологість 70–80 %, рН 6,8–7,2, достатня кількість целюлози (20–25 %), вміст оксидів заліза не більше 10 %, відсутність твердих частин — металевих, дерев'яних, камінців, скла тощо.

Для проведення ферментації органічні відходи буртують на рівному майданчику з допустимим нахилом 1–3°. Бурти можуть мати різні розміри: ширину — 1,7–2 м, довжину — 15–80 і висоту — 1,5–2 м. Бурти мають бути витягнуті з півночі на південь для кращого прогрівання субстрату. В умовах

доступу води і кисню та під впливом мікроорганізмів-аеробів, які є на субстраті (грибів, актиноміцетів, бактерій), органічні відходи розкладаються. У результаті гідролітичного розщеплення високомолекулярних сполук (білків, жирів, вуглеводів) утворюються проміжні й кінцеві низькомолекулярні продукти, які споживаються черв'яками.

Процес ферментації субстрату проходить у двох температурних режимах. Після закладки буртів температура в середині субстрату підвищується до термофільних величин (50–60 °С), а потім зменшується до мезофільних значень (25–35 °С) і через декілька місяців знижується до температури довкілля. Стабільність цього показника свідчить про закінчення ферментації і придатності субстрату для годівлі черв'яків. Біотермічні процеси, які відбуваються при температурі 50–60 °С, згубно діють на патогенну мікрофлору, яйця і личинки гельмінтів, насіння бур'янів, а сечовина і гіпурова кислота, які містяться в гноєві, розкладаються до аміаку, двоокису вуглецю і води. Крім аміаку, виділяється ще певна кількість метану, який також згубно діє на черв'яків.

Під час проходження ферментації у субстраті контролюють рН середовища. Незначне коливання рН (6,8–7,2) порівняно з оптимальним значенням негативно впливає на ріст і розвиток аеробної мікрофлори, а отже, і на інтенсивність процесів ферментації. Надмірну кислотність нейтралізують шляхом додавання необхідної кількості вапна, крейди, дефекату, сланцевої золи, мергелю й інших речовин, які є одночасно й мінеральними домішками. Високу лужність усувають надмірним поливом.

Для забезпечення достатньої аерації субстрату його ретельно перемішують. Повний термін ферментації субстрату в буртах при природному режимі ферментації залежить від виду органічних відходів і може тривати до 6–12 міс.

Як свідчить практика, кормом для черв'яків можуть бути різні органічні відходи як побутового і промислового, так і сільськогосподарського виробництва. Але найкраще, щоб основою будь-якого раціону для черв'яків був гній, до якого додають у певній пропорції інші органічні компоненти. Великі органічні частинки відходів потрібно подрібнити (до 1 мм, не більше), тому що вони не поїдаються черв'яками.

Важливою є умова відсутність шкідливих і токсичних домішок. Адже вся продукція біотехнологічного процесу вермикомпостування, має відповідати найвищим вимогам, бо вважається екологічно чистою.

Особливістю біотехнологічних методів утилізації є те, що вони не потребують значних трудових і матеріальних витрат і можуть бути застосовані як безпосередньо у домашніх господарствах, так і централізовано.

В європейських країнах компостується приблизно п'ята частина усіх відходів. З прийняттям у 1999 р. Європейської Директиви по захороненню відходів у більшості країн ЄС було заборонено розміщувати на полігонах несортовані відходи, а також відходи, які біологічно розкладаються. Завдяки цим діям обсяги відходів, що розміщуються на полігонах, значно скоротилися.

Отже, біотехнологічні методи утилізації відходів є ефективними як з

екологічних, так із економічних міркувань.

? Питання для самоконтролю:

1. Яким основним гігієнічним вимогам повинні відповідати методи утилізації відходів?
2. На які групи методів можна розділити сучасні способи поводження з відходами? Як поділяються за кінцевою метою методи утилізації відходів?
3. Як поділяються за технологічним принципом методи утилізації відходів?
4. Чим обумовлена перспективність та ефективність застосування біотехнологічних процесів?
5. Які біотехнологічні методи можуть бути використані для ефективної утилізації органічних відходів з точки зору еколого-економічної доцільності?
6. Біотермічне знешкодження дозволяє -...
7. Від чого залежить ефективність біотермічного методу знешкодження?
8. Компостування – це... На які стадії поділяють процес компостування?
9. Які основні параметри процесу компостування?
10. Найголовнішою перевагою компостування є...
11. Біотехнологічний метод вермикультивування дозволяє...
12. Вермикультура – біотехнологічна галузь про...
13. Особливістю біотехнологічних методів утилізації є...

5 ЗМІСТ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

5.1 Стадії біотехнологічних виробництв. Обґрунтування вибору технологічної схеми біовиробництв

Мета роботи: ознайомлення зі стадіями біотехнологічних виробництв та обґрунтуванням вибору технологічної схеми біовиробництв.

📖 Короткі теоретичні відомості

Усі продукти біотехнологічних виробництв одержують за індивідуальними технологіями зі своїми біологічними об'єктами, сировиною, кількістю стадій та технологічних режимів. Але можна скласти загальну, типову схему майже всіх біотехнологічних виробництв.

Схема складається зі стадій, у кожній із яких сировина витримує окремі технологічні перетворення, послідовно перетікаючи в більш важливі продукти і, наприкінці, у кінцевий продукт. Загальний вид такої схеми наступний (рис. 5.1).

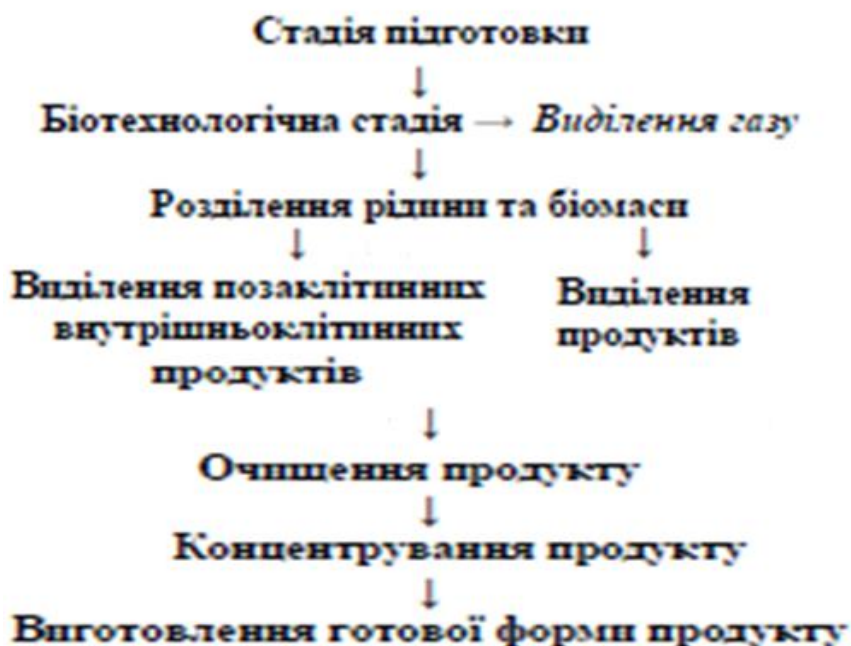


Рисунок 5.1 – Загальна схема стадій біотехнологічних виробництв

Основною стадією біотехнологічного виробництва є біотехнологічна стадія, сутність якої полягає в перетворенні субстрату за участю біологічного об'єкта (мікроорганізмів, ізольованих клітин, ферментів або клітинної органели), у необхідний продукт. Тобто, головним завданням біотехнологічної стадії є одержання окремої органічної речовини. Ця стадія містить низку різних біотехнологічних процесів:

- ферментація – процес, який здійснюється за допомогою культивування

мікроорганізмів;

– біотрансформація – процес змінення хімічної структури речовини під дією ферментативної активності клітин мікроорганізмів або готових ферментів. У цьому процесі відбуваються незначні змінення у структурі речовини. Воно майже готове, але йде його хімічна модифікація (додавання або віднімання радикалів, гідроксильних іонів, дегідратації та інше). Накопичення клітин мікроорганізмів не здійснюється;

– біокаталіз – хімічні перетворення речовини, які протікають з використанням біокаталізаторів – ферментів.

– біоокислення – перетворення забруднених речовин за допомогою мікроорганізмів або асоціації мікроорганізмів в анаеробних умовах;

– метанове бродиння – переробка органічних відходів за допомогою асоціації метаногених мікроорганізмів в анаеробних умовах.

– біокомпостування – зниження вмісту шкідливих органічних речовин за допомогою асоціації мікроорганізмів, у твердих відходах, котрим надана спеціальна пухка структура, для забезпечення доступу кисню і рівномірної вологості;

– біосорбція – сорбція шкідливих домішок із газів або рідини мікроорганізмами, які закріплені на спеціальних твердих поверхнях;

– біодеградація – деструкція шкідливих зв'язків під дією мікроорганізмів-біодеструкторів.

– бактеріальне вилуговування – процес переводу нерозчинних у воді зв'язаних металів у розчинений стан під дією спеціальних мікроорганізмів.

Вихідними протоками біотехнологічної стадії, звичайно, є один рідинний і один газовий, рідше – один рідинний, в окремих випадках – один потік твердого продукту (наприклад, при дозріванні сиру, біокомпостуванні відходів).

Біотехнологічну стадію випереджує стадія підготовки сировини та набуття необхідного їй виду. На стадії підготовки використовують такі процеси:

– виготовлення середовища – у більшості рідкого, яке вміщує необхідні компоненти для харчування біотехнологічних об'єктів для біотехнологічної стадії;

– стерилізація середовища – для асептичних біотехнологічних процесів, де попадання сторонньої мікрофлори не бажане.

Підготовка до стерилізації газів (зокрема, повітря), є необхідною для протікання біотехнологічного процесу. Найчастіше підготовка повітря містить очищення його від пилу, вологи, мікроорганізмів та їх спор, надання необхідної температури.

Підготовка посівного матеріалу для проведення мікробіологічного процесу, процесу культивування відокремлених клітин рослин або тварин полягає у вирощуванні малої кількості матеріалу, порівняно з кількістю біологічного агента цільової стадії.

Підготовка біокаталізатора зводиться до попередньої підготовки біокаталізатора, ферменту у вільному або закріпленому на носії виду або

вирощуванні мікроорганізмів до стану, у якому проявляється їх ферментативна активність.

Розглянемо стадію, наступну за біотехнологічною – розділення рідини й біомаси. Для цього в залежно від властивостей біомаси й рідини використовують різні процеси:

- відстоювання — розділення під дією гравітаційних сил (при очищенні стічних вод);

- фільтрація — пропускання суспензії крізь фільтруючий матеріал, на якому затримуються частки твердої фази – біомаса (виробництво антибіотиків);

- сепарація, центрифугування — розподіл під дією центробіжних сил (виробництво кормової біомаси – дріжджів, бактерій).

- мікрофільтрація — пропускання суспензії крізь мембрани з малим діаметром пор, котрі забезпечують утримання клітин мікроорганізмів;

- ультрафільтрація забезпечує затримання крупних молекул розчинних речовин;

- коагуляція — додавання до суспензії реагентів, які допомагають осадженню більш крупних клітинних агрегатів і відділенню їх із рідини шляхом відстоювання;

- флоатація — захоплення біомаси мікроорганізмів кульками піни і виділення їх із пінної фракції.

Виділення продуктів біосинтезу. Ця стадія залежить від місця локалізації продукту – внутріклітинного або неклітинного.

Для внутріклітинних продуктів спочатку здійснюють руйнування клітинної оболонки одним із таких методів:

Дезінтеграція клітин – руйнування клітинної оболонки фізичними методами: роздавлюванням, дією ультразвуку методом різкого зниження тиску (декомпресією) або хімічними й біотехнічними методами. Найбільш часто використовують:

- ферментоліз — руйнування клітинних оболонок під дією ферментів при підвищеній температурі.

- гідроліз – руйнування клітинних оболонок під дією хімічних реагентів та температур.

- автоліз — різновидність ферментолізу, коли використовують ферменти цієї ж клітини.

Після проведення попередньої операції руйнування клітин, виділення цільового продукту здійснюється із розчину методами, котрі є загальними для позаклітинних і внутрішньоклітинних продуктів і містять такі методи:

- екстракція — перехід цільового продукту з водної фази в незмішану з водою органічну рідину (екстрагент – бензин, хлороформ, ефір, бутилацетат). Екстракція прямо із твердої фази (зокрема їх біомаси мікроорганізмів) має назву екстрагування;

- осадження — виділення цільового продукту шляхом додавання до рідини реагенту, який взаємодіє з розчиненим продуктом, переводячи його в тверду фазу;

- адсорбція — переведення розчиненого в рідині продукту в тверду фазу

шляхом його сорбції на спеціальних твердих носіях (сорбентах);

- іонний обмін — такий же, як і адсорбція, але в цьому випадку в тверду фазу переходять іони (катіон та аніон), а не цілком молекула цільового продукту або домішок;

- відгін, ректифікація — ці методи використовують для виділення розчинених у культуральній рідині легко киплячих продуктів (етиловий спирт);

- ультрафільтрація, нанофільтрація і повернений осмос – використовують для виділення високомолекулярних з'єднань (білків, поліпептидів, полінуклітидів).

Нанофільтрація і повернений осмос дозволяють відокремити також невеликі за розміром молекули;

- центрифугування, ультрацентрифугування – використовують для виділення вірусів, клітинних органел, високомолекулярних з'єднань.

На цій стадії виділення продукту головне завдання – відокремити головну частину продукту, можливо неочищеного, з певними домішками. У випадку, коли необхідно отримати біопродукт високої якості, додають ще стадію очищення продукту.

Очищення продукту. Завдання цієї стадії – видалення домішок та одержання максимально чистого продукту. Для цього використовують процеси: екстракція, екстрагування, адсорбція, іонний обмін, ультрафільтрація, повернений осмос, ректифікація і ферментоліз.

Крім цих процесів використовується:

- хроматографія — процес, який нагадує адсорбцію, але відрізняється тим, що на твердому сорбенті відокремлюється кілька здебільш близьких за структурою речовин (суміші білків, нуклеотидів, цукрів, антибіотиків) і виходять вони з сорбенту ніби разом, що дозволяє їх розділити й очистити один від одного;

- діаліз — процес, у якому крізь напівпроникну перегородку можуть проходити низькомолекулярні речовини, а високомолекулярні залишаються (очищення вакцин і ферментів від солі й низькомолекулярних розчинних домішок);

- кристалізація — процес, що ґрунтується на різній розчинності речовини при різних температурах. Повільніше охолодження дозволяє формувати кристали високої чистоти (розчинів у воді або розчинників) збільшують чистоту продукту.

Концентрування продукту. Після очищення продукту він часто перебуває у розчині в невеликій концентрації.

На різних біотехнологічних стадіях концентрація цільового продукту змінюється таким чином: не виходячи з біотехнологічної стадії суспензія має приблизно 0,1–1 % цільового продукту, після стадії відокремлення біомаси – 0,1–2 %, після стадії виділення — 1–10 %, після очищення — 50–80 %, після концентрування — 90–100%.

На стадії концентрування використовують наступні методи: випарювання, сушення, осадження, кристалізацію з фільтрацією добутих кристалів, ультрафільтрацію, нанофільтрацію, „віджимання” розчинника з

розчину.

Добуток готової форми продукту. Кінцева стадія, на якій продукт набуває товарної форми, за рахунок таких процесів, як гранулювання (формування прямо з розчину), таблетування, розлив або фасування, ампулювання.

Таким чином ми розглянули загальну схему біотехнологічного виробництва. Це виробництво на окремих стадіях має певні стоки і викиди в атмосферу. Очищення стоків – це окреме біотехнологічне виробництво, яке має велику кількість стадій (підготовчу, біотехнологічну, відстоювання, додаткове очищення, переробку осаду). Очищена вода може повертатися у виробництво.

Зміст роботи

Завдання 1.

1.1 Зарисувати схему біотехнологічних стадій, у кожній із яких сировина витримує окремі технологічні перетворення, послідовно перетікаючи в більш важливі продукти і, наприкінці, у кінцевий продукт. Загальний вид такої схеми представлений на рис. 5.1.

2. Використовуючи короткі теоретичні відомості, заповнити схему (рис. 5.2), яка наочно представляє низку різних біотехнологічних процесів, що містить біотехнологічна стадія.

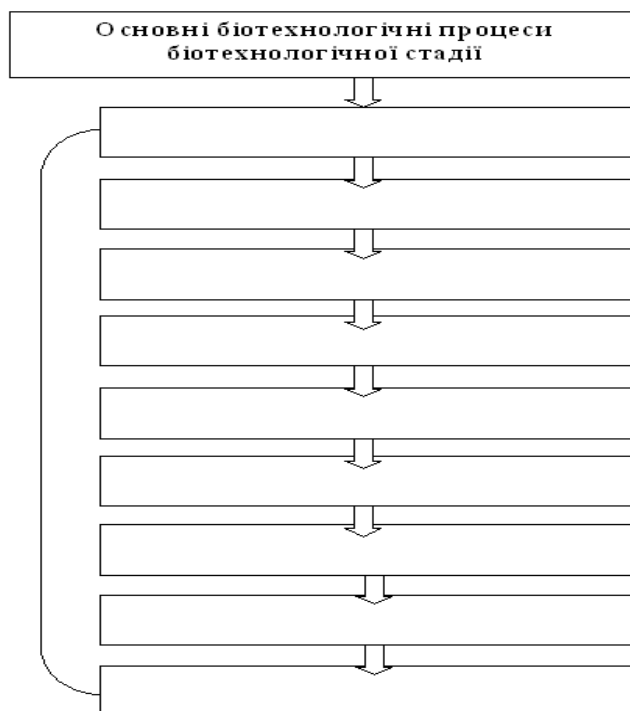


Рисунок 5.2 – Схема основних біотехнологічних процесів біотехнологічної стадії

3. Використовуючи короткі теоретичні відомості, заповнити схему (рис. 5.3), яка наочно представляє процеси, які використовують на стадії підготовки.

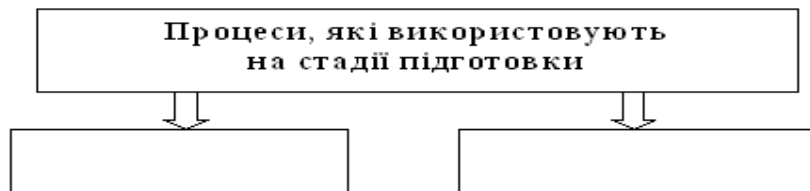


Рисунок 5.3 – Схема процесів, які використовують на стадії підготовки.

4. Використовуючи короткі теоретичні відомості, заповнити схему (рис. 5.4), яка наочно представляє процеси стадії розділення рідини та біомаси.



Рисунок 5.4 – Схема процесів стадії розділення рідини та біомаси.

5. Використовуючи короткі теоретичні відомості, заповнити схему (рис. 5.5), яка наочно представляє методи виділення цільового продукту.

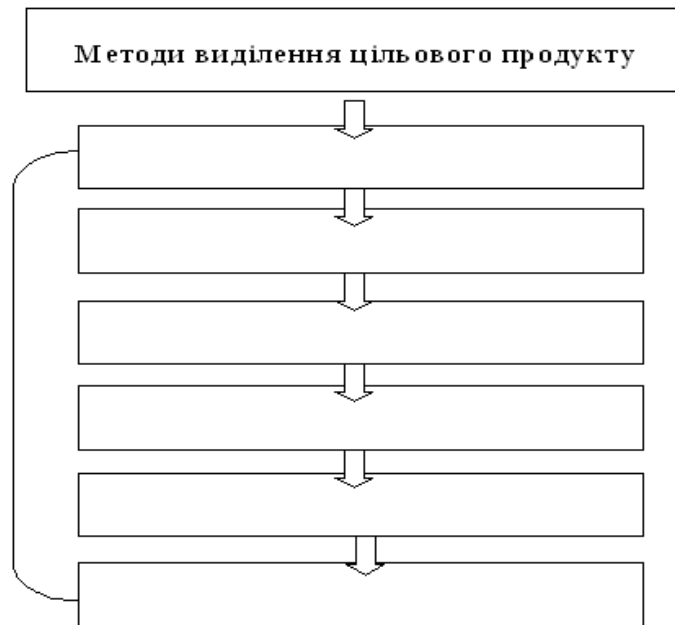


Рисунок 5.5 – Схема методів виділення цільового продукту.

6. Дати відповіді на контрольні запитання.

Контрольні запитання:

1. В чому полягає сутність біотехнологічної стадії?
2. Що є головним завданням біотехнологічної стадії?
3. Вихідними потоками біотехнологічної стадії, звичайно, є...
4. Яка стадія є наступною за біотехнологічною?
5. Від чого залежить стадія виділення продуктів біосинтезу?
6. Якими методами здійснюється дезінтеграція клітин – (руйнування клітинної оболонки)?
7. Які процеси використовують на стадії очищення продукту?
8. Яке головне завдання на стадії виділення продукту?
9. Яке завдання стадії очищення продукту?
10. Яким чином змінюється на різних біотехнологічних стадіях концентрація цільового продукту?
11. Які методи використовують на стадії концентрування?
12. За рахунок яких процесів здійснюється кінцева стадія, на якій продукт набуває товарної форми?

5.2 Блок-схеми біотехнологічних виробництв. Екологічні аспекти біотехнологічного виробництва

Мета роботи: ознайомитися з прикладами блок-схем біотехнологічних виробництв. Вивчити екологічні аспекти біотехнологічного виробництва.

Короткі теоретичні відомості

Продукти біотехнологічних виробництв відрізняються не тільки кольором, смаком, запахом, хімічним складом, але й місцем, яке посідають у типовій технологічній схемі.

За цією ознакою продукти класифікують таким чином:

1. Продуктом є гази зі стадії ферментації (CO_2 у спиртовому виробництві, біогазу в переробці відходів шляхом метанового бродіння, H_2 при культивуванні фототрофів, очищений газ, коли його пропускають крізь біофільтр).

2. Продукт — середовище ферментації (культуральна рідина разом з мікроорганізмами – кефір, йогурт; твердий субстрат – сир або ферментована із закваскою ковбаса).

3. Концентрат культуральної рідини – випарений або висушений (кормовий лізин, харчові антибіотики).

4. Рідина, що виникає після відділення біомаси від культуральної рідини (може бути готовим продуктом – пиво, вино, квас). Ця рідина має назву залежно від засобу розділення – висвітлена, фільтрат та інше.

5. Концентрат рідини, який добувають випарюванням, сушенням, ультрафільтрацією.

6. Біомаса інактивована (харчові дріжджі, які пройшли теплову стерилізацію).

7. Біопрепарат – життєздатна біомаса мікроорганізмів (пекарські дріжджі, бактеріальні речовини захисту рослин, силосні закваски, бактеріальні добрива).

8. Послаблена біомаса мікроорганізмів – (живі вакцини – клітини патогенних мікроорганізмів, які піддаються обробці теплими або хімічними реагентами для зниження їх патогенності).

9. Позаклітинний біопродукт – легкокипляча рідина (етанол, виділений із середовища відгонкою або ректифікацією).

10. Позаклітинний біопродукт – тверда речовина або висококипляча рідина, розчинена в культуральній рідині (багато антибіотиків, чисті харчові або медичні амінокислоти, лимонна кислота).

11. Внутрішньоклітинний продукт різного ступеня очищення (антибіотики, вітаміни, нукліотиди).

12. Перероблена біомаса мікроорганізмів (гідролізати, ферменталізатори як джерело харчування тварин або смакові добавки; клітинні оболонки мікроорганізмів використовують як сорбент для очищення соків, вина).

13. Очищений від забруднення потік рідини (при очищенні стічних вод).

14. Очищене від забруднення тверде середовище (грунт при

мікробіологічному очищенні його від нафтових забруднень).

15. Рідке середовище (культуральна рідина) з екстрагованими (вилуженими) з твердої фази компонентами (бактеріальне вилужування металів із руд, мікробіологічне знесірчення вугілля та нафти)

16. Середовище ферментації (як правило, напівтверде), яке збільшило свій обсяг за рахунок виділення газів мікроорганізмами (хліб, сир).

Для багатьох перерахованих видів продуктів біотехнологічних виробництв технологічна схема буде скорочена, за винятком однієї або кількох стадій. Це встановлюється:

- цільовим завданням;
- властивостями мікроорганізмів;
- властивостями сировини;
- властивостями готового продукту.

Блок-схема відображає послідовність технологічних стадій при одержанні продукту. Нижче наведені приклади блок-схем біотехнологічних виробництв.

Виробництво йогурту (рис. 5.6). У виробництві йогурту є дві підготовчі стадії: одна біотехнологічна, інша – стадія приведення продукту до готової форми (розлив).

Пастеризація молока

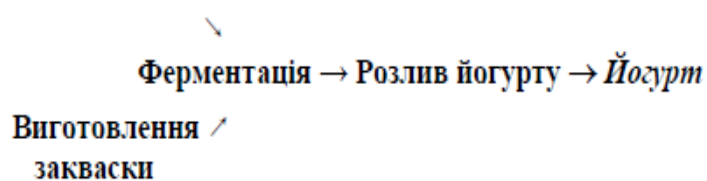


Рисунок 5.6 – Блок-схема виробництва йогурту

Виробництво технічних неклітинних ферментів містить повний комплект підготовчих операцій для асептичної ферментації (рис. 5.7).



Рисунок 5.7 – Блок-схема виробництва технічних неклітинних ферментів

Виробництво пекарських дріжджів є прикладом виготовлення живого біопрепарату (рис. 5.8). При сушенні необхідна порівняно низька температура, для того щоб клітини зберегли життєздатність. Стоки з процесу в цикл не повертаються, а надходять на очищення.

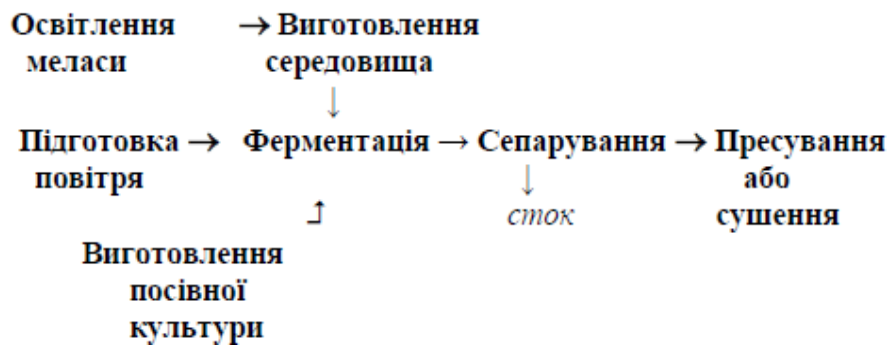


Рисунок 5.8 – Блок-схема виробництва пекарських дріжджів

Екологічні аспекти біотехнологічного виробництва.

Сучасне біотехнологічне виробництво є більш екологічним, ніж хімічне виробництво тому, що:

- в основі його міститься використання біологічних об'єктів, що є збалансованим комплексом біокаталізаторів;
- значно менше витрачають води;
- менш енергоємні;
- мають менше виробничих відходів.

Але й біотехнологічне виробництво має необхідність покращення, а саме:

- одержання та використання більш активних, іммобілізованих біооб'єктів-продуцентів;
- мембранних технологій на стадії виділення та очищення цільового продукту;
- менш дефіцитних середовищ та реагентів.

Екологічні проблеми біотехнологічних виробництв, насамперед, полягають в утилізації або очищенні виробничих відходів твердих, рідинних та газоподібних тощо.

До твердих відходів належить, насамперед, біомаса продуцента, яка відокремлена від культуральної рідини та цільового продукту, представленого біологічно активною речовиною. Обсяг цих відходів з одного підприємства досягає сотні тонн на рік.

На сучасних виробництвах такі відходи змішують з ґрунтом і закладають на кілька років у закриті ями з бетонними стінками та підложками, для ферментативного розщеплення з утворенням компосту. Ці ями, зазвичай, розташовують на території виробництва.

Можливе додаткове використання відходів біомаси. Наприклад, певні відходи біомаси після стерилізації додають до корму тваринам. Відходи виробництва антибіотиків можна застосовувати для підвищення якості керамзиту та цегли. Але ці процеси в більшості тільки розробляються й малоекономічні. Рідинні відходи являють собою культуральну рідину після відділення від неї біомаси та цільового продукту. Обсяг цих стоків для одного виробництва досягає кількох десятків тисяч кубометрів. Метою очищення є можливість зливання її у відкриті водоймища. Залежно від природи забруднювальних речовин схема біологічного очищення може змінюватися.

Основою майже всіх систем такого очищення є біологічне очищення з використанням активного мулу.

Активний мул становить собою біоценоз багатьох мікроорганізмів, які мають комплекс ферментів для здійснення окиснення різних речовин. Видовий склад мікроорганізмів активного мулу різниться залежно від хімічного складу відходів.

Біологічне очищення з використанням активного мулу містить:

- відстоювання культуральної рідини з виділенням забруднюючої речовини у вигляді осаду (до 40% від початкової кількості);

- окиснення речовин рідини до CO_2 та H_2O в одному або кількох послідовно розміщених аеротенках за умов постійного збовтування пухирцями повітря (до 50 % від початкової кількості);

- окислення важкоокислювальних речовин за допомогою біофільтрів, які утворені іммобілізованими клітинами мікроорганізмів (до 10% від початкового вмісту).

Очищена вода за необхідністю хлорується та надходить до водоймища.

Газові відходи очищуються у спеціальних колонках з неорганічними каталізаторами при температурі від 300 до 1000 °С, при цьому утворюється CO_2 . Іноді використовують біологічні фільтри на основі мікроорганізмів з високими окиснювальними можливостями.

Зміст роботи

Завдання 1.

1.1 Зарисувати блок-схеми біотехнологічних виробництв, які відображають послідовність технологічних стадій при одержанні різних продуктів. Загальний вид блок - схем представлений на рис. 5.6, 5.7 та 5.8.

2. Використовуючи короткі теоретичні відомості, заповнити схему (рис. 5.9), яка наочно представляє визначення кількості стадій технологічних блок – схем біотехнологічних виробництв різних продуктів.



Рисунок 5.9 – Схема визначення кількості стадій технологічних блок – схем біотехнологічних виробництв різних продуктів

3. Використовуючи короткі теоретичні відомості, заповнити схему (рис. 5.10), яка наочно представляє екологічні відзнаки сучасних біотехнологічних виробництв у порівнянні з хімічним виробництвом.



Рисунок 5.10 – Схема екологічних відзнак сучасних біотехнологічних виробництв у порівнянні з хімічним виробництвом

4. Використовуючи короткі теоретичні відомості, заповнити схему (рис. 5.11), яка наочно представляє напрямки покращення біотехнологічних виробництв.

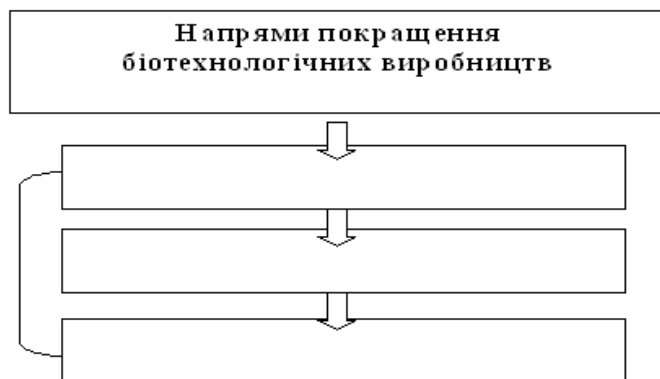


Рисунок 5.11 – Схема напрямків покращення біотехнологічних виробництв

5. Використовуючи короткі теоретичні відомості, заповнити схему (рис. 5.12), яка наочно представляє етапи біологічного очищення рідинних відходів з використанням активного мулу.



Рисунок 5.12 – Схема біологічного очищення рідинних відходів з використанням активного мулу

6. Дати відповіді на контрольні запитання теми.

Контрольні запитання:

1. Чим відрізняються продукти біотехнологічних виробництв?
2. Яким чином класифікують продукти біотехнологічних виробництв?
3. Що відображає блок-схема біотехнологічних виробництв?
4. В чому, насамперед, полягають екологічні проблеми біотехнологічних виробництв?
5. До твердих відходів належить, насамперед...
6. Яке можливе додаткове використання відходів біомаси?
7. Що становить собою активний мул?
8. Яким чином очищуються газові відходи біотехнологічних виробництв?

5.3 Біотехнологічне виробництво біогазу

Мета роботи: ознайомитися з процесом біотехнологічного виробництва біогазу.

Короткі теоретичні відомості

Біогаз – енергоносіє, який є сумішшю метану (60–70 %), діоксиду вуглецю (30–40 %), невеликої кількості сірководню, водню, аміаку та оксиду азоту(5 %). Склад біогазу може змінюватись в залежності від сировини (біомаси), мікроорганізмів, що беруть участь у процесі, добавок та фізичних факторів.

Основний компонент біогазу – метан — виникає в результаті

ферментаційних реакцій, які забезпечують життєдіяльність метаноутворюючих мікроорганізмів у процесі перетворення енергії хімічних зв'язків біомаси в енергію хімічних зв'язків метану.

Основою біотехнології утилізації біомаси з виробленням біогазу є анаеробне метанове бродіння біомаси з участю метаногенерувальних археїв (метаногенів). Метаногени (метаноутворювальні археї) – найдавніші бактерії. Серед відомих видів метаногенерувальних бактерій знайдено види, які розвиваються за низьких значень окисно-відновного потенціалу середовища; метаногени, життєдіяльність яких перебігає за високих концентрацій солей (галобактерії). Необхідну для забезпечення життєдіяльності енергію метаногени черпають у реакціях, що супроводжуються біосинтезом метану. Субстратами для утворення метану є діоксин вуглецю та водень, ацетат, метанол, метиламіни. Приблизно 70 % метаногенних перетворень проходять через «ацетатний шлях», 25–30 % — через «водневий шлях». Метаногени входять до складу домену *Archaea*, філи — *Euryarchaeota*. Археї здійснюють ряд біохімічних процесів, що не властиві іншим живим організмам і існують в екстремальних умовах. На підставі цього був зроблений висновок, що археї являють собою самостійний таксон. Нині відкрито понад 25 родів метаногенів, які належать до 10 родин, 5 порядків, 3 класів. Здатність до метаногенезу виявлено тільки в археїв.

Метанове бродіння – багатостадійний процес, у ході якого біополімери біомаси перетворюються багатовидовою мікробною асоціацією у газоподібні продукти. Обов'язковими компонентами асоціації є первинні анаероби гідролітичної мікрофлори (здійснюють гідроліз біополімерів), бродильної мікрофлори (зброджують молекули мономерів), ацетогенної мікрофлори (перетворюють різноманітні продукти бродіння в субстрати метаногенезу) та вторинні анаероби – метаноутворювальні бактерії (метаноутворювальні археї).

Технологічно метанове бродіння поділяють на два етапи: дозрівання метанового біоценозу та ферментацію. Протягом першого етапу розвиваються бактерії, які беруть участь у анаеробному розкладі початкових органічних речовин та продуктів їх розпаду. Внаслідок діяльності цих мікроорганізмів утворюються оптимальні умови для активного біосинтезу метану.

Біохімічний процес перетворення енергії, який відбувається без доступу кисню, називається метановим бродінням або біометаногенезом. Біометаногенез здійснюється за три етапи:

- розчинення і гідроліз органічних сполук;
- ацетогенез;
- метаногенез.

Відповідно до цих етапів біометаногенезу у процесі задіяні три групи мікроорганізмів (табл. 5.1).

На першому етапі процесу задіюються мікроорганізми, що володіють целюлозолітичною, протеолітичною, ліполітичною, сульфівідновлюючою, денітрифікуючою та іншими видами активності. Склад домінуючої мікрофлори цієї фази залежить від складу мікрофлори вхідної сировини, а також від хімічної природи проміжних продуктів розпаду органічних речовин.

Таблиця 5.1 – Фази біометаногенезу.

Групи бактерій, які беруть участь у процесі	Вихідні речовини	Продукти
1. Біогідроліз полімерів та ацидогенез		
Гідролітичні ацетоногени	Комплекс органічних речовин	Вищі жирні кислоти (масляна, пропіонова, молочна)
2. Ацетогенез (отримання оцтової кислоти) та дегідрогенізація		
Гідрогенпродукуючі бактерії	Вищі жирні кислоти	H ₂ , CO ₂ , CH ₃ COOH (водень, вуглекислий газ, оцтова кислота)
3. Метаногенез		
Метаноутворюючі бактерії	H ₂ , CO ₂ , CH ₃ COOH	CH ₄ , CO ₂ (метан, вуглекислий газ)

Зауваження: ацидогенез – отримання вищих жирних кислот; ацетогенез – отримання оцтової кислоти.

У цій фазі біля 76 % органічних речовин перетворюється у вищі жирні кислоти, до 20 % — в ацетат і 4 % — у водень. Цю фазу можна умовно розділити на дві частини: гідролізу і ацидогенезу (кислотоутворення).

На другому етапі в процес задіються ацетогенні і гідрогенпродукуючі бактерії. Вони перетворюють пропіонат в ацетат, CO₂ та H₂, якщо в середовищі одночасно присутні водень-споживаючі бактерії, оскільки водень є інгібітором оцтовокислих бактерій. В умовах завантаження біореактора субстратом, що швидко розкладається, концентрація H₂ може збільшуватись і в середовищі будуть накопичуватись пропіонова, масляна та оцтова кислоти.

Третій етап — метаногенний. В ньому задіяні метаноутворюючі бактерії. З біохімічної точки зору метанове бродіння – це анаеробне дихання, в результаті якого електрони від органічних речовин переносяться до вуглекислого газу, котрий потім відновлюється до метану. Окрім різних органічних субстратів (таких, як оцтова кислота), донором електронів для метанобактерій слугує водень, котрий продукується декількома типами анаеробних бактерій.

Біомаса належить до відновлюваних джерел енергії. Річне світове виробництво біомаси еквівалентне 26,65 ТВт / год. (тера = 10¹²) енергії. Це майже у 3 рази більше як кількість електроенергії, що виробляється за такий же період всіма генераторами у світі.

Приблизний склад біомаси різного походження представлений в табл. 5.2 та 5.3.

З однієї тонни сухої речовин біомаси шляхом біоконверсії отримують 350–500 м³ біогазу, теплотворна здатність якого становить 5–8 тис. ккал/ м³. Сировиною для біогазу є біомаса — органічні речовини, які є відходами рослинного або тваринного походження. При використанні біомаси з великим вмістом клітковини в біогазі утворюються рівні кількості метану і діоксиду вуглецю. При збільшенні в біомасі азотовмісних речовин та жиру концентрація метану збільшується, а діоксиду вуглецю зменшується.

Таблиця 5.2 – Хімічний склад відходів рослинництва, % щодо сухої речовини (В. Баадер, 1982).

Складова	Солома		Кукурудзяне стебло	Бурякова гичка	Картопляне бадилля
	житня	пшенична			
Органічна речовина	95.4	91.4	91.7	78.5	78.9
Сира клітковина	47.5	45.5	33.3	11.5	23.8
Сирий жир	1.5	1.6	1.7	1.5	3.2
Сирий протеїн	2.9	2.9	7.5	12.5	14.6
Лігнін	15-20	15-20	5.5	-	-
Відношення C:N	80-150	90-165	30-65	18	17
Азот	0.46	0.46	1.20	2.00	2.34
Фосфор	0.12	0.09	0.11	0.26	0.20
Калій	0.88	0.79	2.32	3.57	1.67
Кальцій	0.19	0.14	0.19	1.40	2.57
Магній	0.06	0.07	0.30	0.60	0.83

Таблиця 5.3 – Хімічний склад гною сільськогосподарських тварин та птиць, % на суху речовину (В. Баадер, 1982 р.)

Складова	Велика рогата худоба		Свині	Кури
	Корови	Тварини на відгодівлі		
Органічна речовина	77–85	77–85	77–84	76–77
Сира клітковина	27,6–50,3	–	19,5–21,4	13,0–17,8
Сирий жир	2,9–4,3	–	3,5–4,0	2,4–5,0
Сирий протеїн	9,3–20,7	–	16,4–21,5	20,5–42,1
Лігнін	16–30	16–30	–	9,6–14,3
Відношення C:N	9,5–15	9–15	9–15	9–15
Азот	1,9–6,5	2,3–4,0	4,0–10,3	2,3–5,7
Фосфор	0,2–0,7	0,4–1,1	1,9–2,5	1,0–2,7
Калій	2,4	1,0–2,0	1,4–3,1	1,0–2,9
Кальцій	2,3–4,9	0,6–1,4	–	5,6–11,6
Магній	–	0,5–0,6	–	0,9–11

Важливим аргументом на користь виробництва і використання біогазу як джерела енергії є необхідність вирішення екологічних проблем, зумовлених утилізацією відходів. Однією з основних тенденцій у розгортанні екологічно безпечного перероблення органічних відходів є розвиток комплексних технологій утилізації біомаси за рахунок метанового зброджування у результаті якого утворюється біогаз. Коефіцієнт трансформації енергії біомаси в енергії біометану досягає 80 %.

Найбільш рентабельним є виробництво електроенергії з біогазу (коефіцієнт корисної дії з урахуванням тепла, що утворюється під час виробництва електроенергії, досягає 80–85 %). Зріджений біогаз до 200–250 атм є придатним паливом для двигунів внутрішнього згорання (октанове число

цього палива — 100–115).

У зв'язку з тим, що близько 90 % вуглецю біомаси трансформується у вуглець біогазу, метанове бродіння є найбільш ефективним способом очищення стічних вод, а близькість відновлюваних джерел сировини до установок вироблення біогазу підвищують конкурентоспроможність біотехнологій його виробництва і збільшують автономність цього джерела енергії. Усього в світі використовується або розробляється близько 60 різних технологій виробництва біогазу. Найбільш поширений метод — анаеробне зброджування в метантенках або анаеробних колонах.

Біогазова установка (БГУ), в загальному вигляді являє собою комплект обладнання, у який включають: ємність для накопичування біомаси, ферментер або реактор (камеру для бродіння — метантенк), резервуар або газгольдер (газозбірник). Виробництво біогазу забезпечується анаеробною ферментацією біомаси (субстрату) рослинного чи тваринного походження або стоків різних виробництв харчової та целюлозопереробної промисловості.

В БГУ також входить допоміжне обладнання: системи підігріву та перемішування, трубопроводи, насоси та газові компресори, центрифуги, контрольно — вимірювальна апаратура та засоби автоматизації. Субстрат може подаватися до БГУ безперервно (проточна система) або через визначені проміжки часу. При цьому об'єм поступаючої та перебродженої біомас повинен бути однаковим. При такій технологічній схемі забезпечується найбільша продуктивність БГУ.

Періодична або циклічна система використання реакторів, яких на установці повинно бути два або більше, передбачає поступове заповнення їх свіжим субстратом. Обов'язковим є неповне звільнення реактора від перебродженого субстрату, що тут відіграє роль закваски. Через декілька діб після заповнення бродильної камери починається метаногенез, інтенсивність якого після досягнення максимуму знижується. Для безперебійного та рівномірного забезпечення споживача біогазом при такій схемі роботи БГУ необхідно об'єднати декілька реакторів у блок.

При періодичній системі бродильні камери використовується менш ефективно, ніж при системі неперервного режиму роботи реактора. Періодичність заповнення реактора потребує будівництво сховища для біомаси. Щоб уникнути попадання повітря під час вивантаження субстрату, реактор необхідно заповнювати біогазом з допоміжних ємностей.

На рис. 5.13 наведена схема біогазової установки.

Принципова схема виробництва біогазу передбачає:

- нагромадження і підготовку біомаси;
- трансформацію біомаси у біогаз (безпосередньо метанове бродіння);
- раціональне використання продуктів метанового бродіння (біогазу та органо-мінеральних добрив).

У найпростіших реакторах першого покоління всі процеси протікали в одній ємності без поділу на стадії або фази, бактеріальні клітини були у завислому стані і в міру розмноження видалялися разом із перебродженою масою. Важливою умовою нормального функціонування таких реакторів була

необхідність підтримувати рівномірність швидкостей розмноження бактерій і подачі сировини у реактор, за умови, що концентрація органічної речовини в сировині не менша від 2 %. При менших концентраціях органічної речовини густина бактеріальних клітин різко зменшується, а процес практично зупиняється.

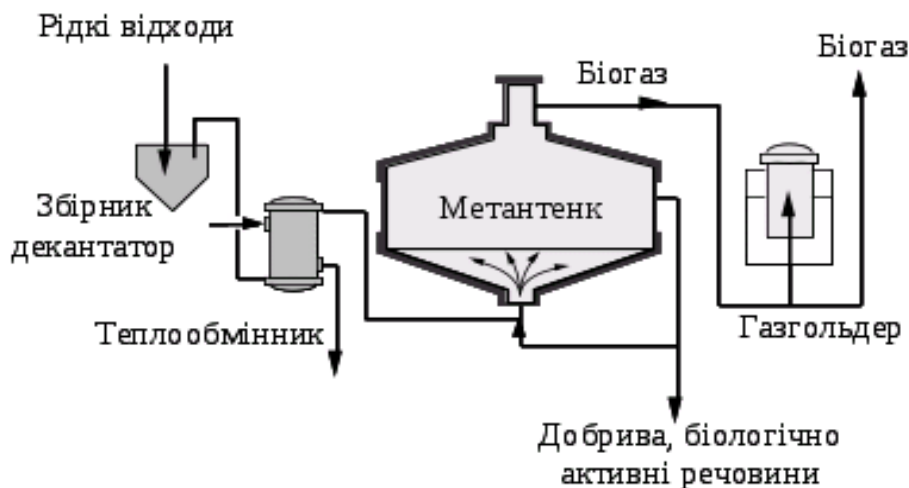


Рисунок 5.13 – Схема біогазової установки

Цей недолік усунули в реакторах другого покоління, в яких бактерії з потрібною густиною знаходяться в іммобілізованому стані. В таких реакторах можна зброджувати субстрати з низьким вмістом органічних речовин (0,5% за сухою речовиною) при високій швидкості його пропускання через реактор (такі реактори часто називають «анаеробними фільтрами»). Носієм бактерій у таких системах використовують гальку, керамічні, поліхлорвінілові, поліуретанові кільця або скловолно.

Втілюються технології, що ґрунтуються на розділенні процесу метанового бродіння на фази: кислотну та метанову. Двофазний процес здійснюється у двох реакторах, що з'єднані послідовно. Швидкість подачі сировини та об'єм реакторів розраховані так, щоб у першому протікала тільки стадія утворення кислот, значення рН середовища не повинно перевищувати 6,5. Ця бражка подається у другий реактор, в якому з великою швидкістю протікає безпосередньо утворення метану. Двофазний процес дозволяє збільшити загальну швидкість метаногенезу у два-три рази. Інколи на практиці, при використанні двофазного процесу, з метою додаткової генерації товарного біогазу процес бродіння в першому ферментері роблять при 35–37°C, а у другому — при 55°C. При нормальних умовах ферментації на кожен тону забродженої речовини утворюється до 300–600 м³ біогазу.

Система, при котрій ферментаційна камера одночасно відіграє роль реактора та ємності для тимчасового зберігання шламу (твердий залишок після бродіння), називається акумулятивною або басейною. Прикладів впровадження такої системи у виробництво мало.

Бродильні камери або реактори – це основні частини БГУ. Рентабельність біогазового виробництва значною мірою залежить від конструктивних

особливостей бродильної камери. В діючих БГУ перевагу мають реактори овальної і циліндричної форми. В таких реакторах з найменшими затратами можна перемішувати субстрат, вивантажувати шлам, видаляти біогаз і руйнувати тверду кірку, яка наростає на субстраті і обмежує вихід біогазу. В реакторах циліндричної форми умови для перемішування субстрату гірші, ніж у реакторах овальної форми. Надаючи реактору циліндричної форми похило-горизонтальне положення, можна зручніше розмістити обладнання для перемішування та створити кращі умови для видалення шламу.

При виготовленні реакторів використовують бетон, залізобетон, сталевий лист, склопластик. Еластичні реактори виготовляють з використанням прогумованого матеріалу або пластику, надаючи їм овальної форми. Реактори заглиблюють у ґрунт, а при розміщенні на поверхні огорожують жорсткими конструкціями.

У всіх випадках бродильна камера повинна бути абсолютно герметична, володіти теплоізоляцією та корозійною стійкістю. У бродильній камері повинна підтримуватися стала температура, для чого там встановлюють нагрівні установки. З цією метою використовують тепло видаленого з реактора шламу і підігрів, на що іде до 30 % енергії біогазу. Відомо декілька технічних рішень нагрівальних приладів, які використовуються в БГУ.

Крім цього в біотенку необхідно періодично знищувати тверду кірку, яка утворюється на поверхні субстрату. Щоб уникнути її утворення необхідне перемішування субстрату. Для перемішування біомаси у бродильних камерах встановлюють механічні і гідравлічні пристрої. З цією метою використовують інколи отриманий біогаз, який подають у реактор компресором. Швидкість перемішування субстрату не повинна перевищувати 0,5 м/с. При більших швидкостях можуть розриватися оболонки мікробних клітин і процес метаногенезу суттєво сповільнюється.

Виробництво біогазу можна розглядати з екологічної точки зору як безвідходний процес, що дозволяє переробляти тверді і рідкі органічні відходи.

Виробництво біогазу шляхом метанового бродіння відходів — одне з можливих вирішень енергетичних і екологічних проблем.

Щоб забезпечити великомасштабний розвиток і економічну ефективність установок з виробництва біогазу, необхідно вирішити ряд біохімічних, мікробіологічних, соціальних та технічних проблем. Удосконалення стосуються таких моментів:

- скорочення числа сталевих елементів в обладнанні;
- створення обладнання з оптимізованою конструкцією;
- розробка ефективних нагрівачів;
- нагрівання БГУ сонячною енергією;
- об'єднання систем виробництва біогазу з іншими нетрадиційними джерелами енергії;
- конструювання великомасштабних виробничих одиниць для сільського господарства і міст;
- оптимальне використання відходів;
- удосконалення процесів бродіння і початкової деградації відходів

шляхом створення активних метаногенних штамів бактерій з використанням методів генної інженерії.

Переваги отримання біогазу очевидні, оскільки процес метаногенезу задовольняє потребу в енергії, цінному органічному добриві і сприяє охороні навколишнього середовища.

Зміст роботи

Завдання 1.

1.1 Використовуючи короткі теоретичні відомості заповнити табл. 5.1, в якій наведені характеристики фаз біометаногенезу.

1.2 Використовуючи короткі теоретичні відомості заповнити табл. 5.2 та 5.3, в яких представлений приблизний склад біомаси різного походження.

1.3 Зарисувати схему біогазової установки. Загальний вид біогазової установки представлений на рис. 5.13.

Завдання 2.

2.1. Використовуючи короткі теоретичні відомості, заповнити етапи принципової схеми виробництва біогазу (рис. 5.14).



Рисунок 5.14 – Принципова схема виробництва біогазу

2.2. Використовуючи короткі теоретичні відомості, заповнити схему (рис. 5.15), яка наочно представляє шляхи удосконалення установок з виробництва біогазу.

Завдання 3.

3.1. Дати відповіді на контрольні запитання теми.

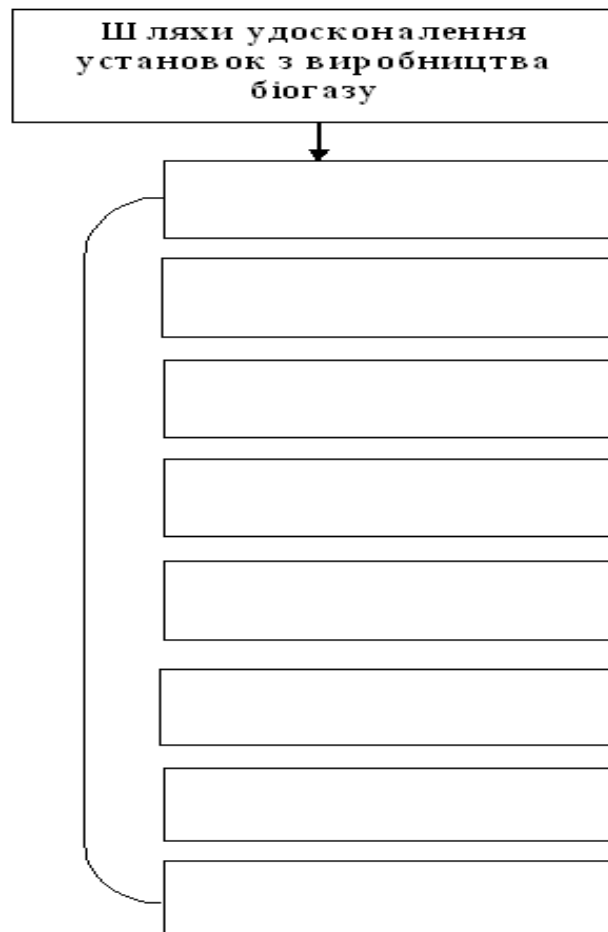


Рисунок 5.15 – Шляхи удосконалення установок з виробництва біогазу

Контрольні запитання:

1. В залежності від чого може змінюватись склад біогазу?
2. Як називається біохімічний процес перетворення енергії, який відбувається без доступу кисню?
3. У скільки етапів здійснюється біометаногенез?
4. Що задіється в процес на другому етапі біометаногенезу?
5. Яка назва третього етапу біометаногенезу?
6. До яких джерел енергії належить біомаса?
7. Скільки отримують біогазу шляхом біоконверсії з однієї тонни сухої речовин біомаси?
8. Сировиною для біогазу є...
9. Що утворюється при використанні біомаси з великим вмістом клітковини в біогазі?
10. При збільшенні в біомасі азотовмісних речовин та жиру...
11. Який важливий аргумент на користь виробництва і використання біогазу як джерела енергії?

12. Однією з основних тенденцій у розгортанні екологічно безпечного перероблення органічних відходів є...

13. Коефіцієнт трансформації енергії біомаси в енергії біометану досягає...

14. Який коефіцієнт корисної дії з урахуванням тепла, що утворюється під час виробництва електроенергії з біогазу?

15. Скільки технологій виробництва біогазу використовується або розробляється усього в світі?

16. Який найбільш поширений метод виробництва біогазу?

17. Біогазова установка (БГУ), в загальному вигляді являє собою...

18. Де протікають всі процеси у найпростіших реакторах першого покоління?

19. У якому стані знаходяться бактерії в реакторах другого покоління?

20. На які фази втілюються технології, що ґрунтуються на розділені процесу метанового бродіння ?

21. На скільки дозволяє збільшити загальну швидкість метаногенезу двофазний процес?

22. Скільки біогазу утворюється при нормальних умовах ферментації на кожен тону забродженої речовини?

23. Як називається система, при котрій ферментаційна камера одночасно відіграє роль реактора та ємності для тимчасового зберігання шламу (твердий залишок після бродіння)?

24. Що є основною частиною БГУ?

25. Якої форми реактори в діючих БГУ мають перевагу?

26. Як можна розглядати з екологічної точки зору виробництво біогазу?

5.4 Біотехнологія анаеробного зброджування стічних вод

Мета роботи: ознайомитися з біотехнологією анаеробного зброджування стічних вод.

Короткі теоретичні відомості

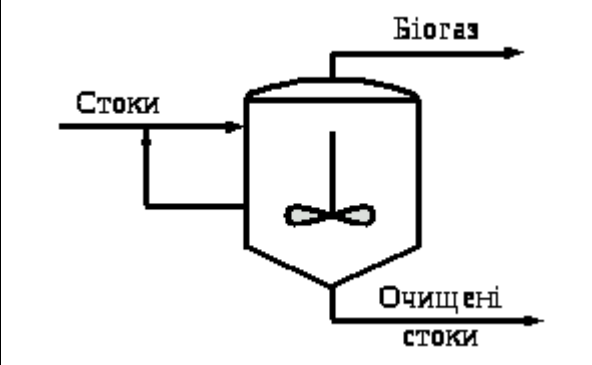
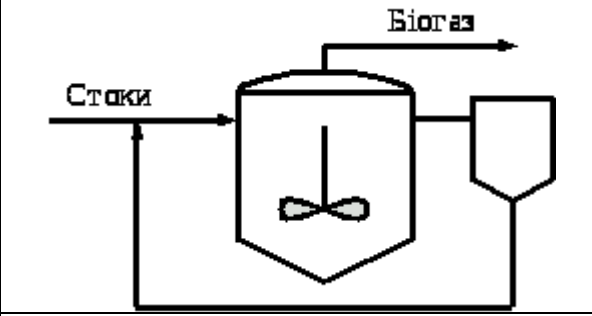
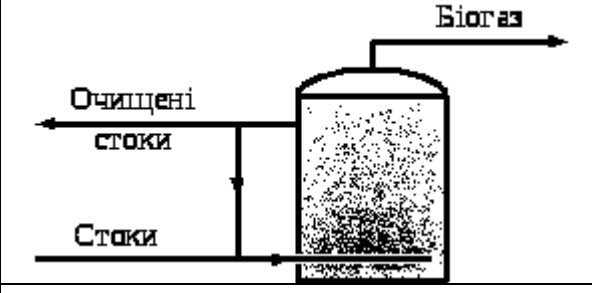
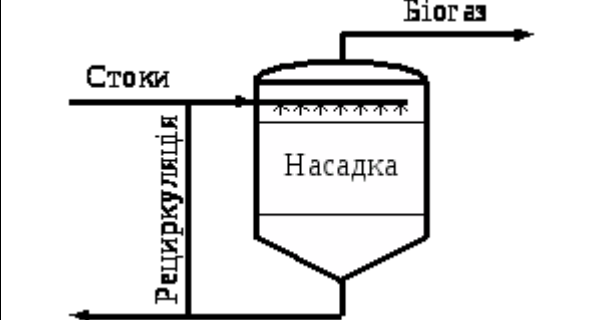
Анаеробне зброджування стічних вод є актуальним та перспективним методом утилізації комунальних та промислових стоків, який дозволяє очищувати води від органічних домішок, отримуючи газоподібне паливо. Такий спосіб можна використовувати для очищення висококонцентрованих стічних вод, комбінуючи його із наступним аеробним очищенням.



Анаеробне зброджування є процесом перетворення органічних речовин у метан та вуглекислий газ специфічною мікробною асоціацією. Особливістю метаногенної асоціації є здатність до самовільної іммобілізації (процесу, який використовується для закріплення мікробів на твердому носії з метою підвищення ефективності їх використання). Відомо, що саме цю здатність доцільно використати для підвищення продуктивності та якості обробки стоків.

Дослідження життєдіяльності іммобілізованих біоценозів свідчить про те, що у порівнянні із зрідженими або нерухомими біоценозами, кількість мікроорганізмів є набагато більшою, при цьому видовий склад різноманітніший, а вік асоціації набагато вищий.

Для очистки стічних вод, при утилізації відходів тваринних ферм, міських стоків, виробництві кормового вітаміну В₁₂, стоків пивоварного виробництва та у інших випадках, використовують різні види біореакторів та біотехнологічних систем (табл. 5.4).

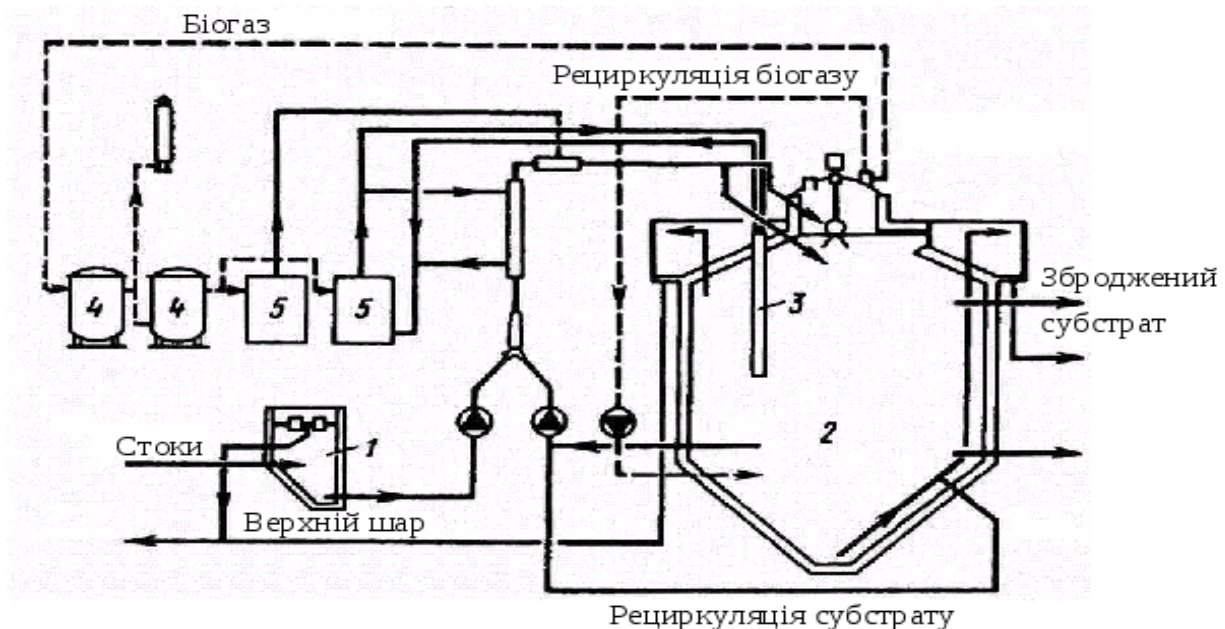
Таблиця 5.4 – Види біореакторів та біотехнологічних систем.

Біореактор	Принцип дії та конструкція	Схема
Традиційний біореактор для метанового бродіння	Герметичні металеві або залізобетонні ємності у вигляді вертикальних циліндрів. Повільне перемішування газом або механічним способом. Повна заміна субстрату на протязі 10–20 діб	
Контактний біореактор	Апарат повного перемішування, з відстійником (сепаратором біомаси, яка повертається у біореактор). Повна заміна субстрату протягом 5–15 діб	
Біореактор „киплячого” шару	Вертикальний циліндр; стоки подаються знизу зі швидкістю, що забезпечує утворення киячого шару носія (наприклад, піску) з біомасою	
Анаеробний фільтр	Вертикальний циліндр з насадкою з твердого пористого носія, до якого прикріплюється анаеробна мікрофлора. Стоки подаються і проходять через шар насадки.	

<p>Біореактор з шаром біомаси (активного мулу)</p>	<p>Стічні води рівномірно розподіляються по площині нижньої частини реактора і спрямовуються ввєрх зі швидкістю, що забезпечує утворення гранул біомаси у вигляді розпушеного шару, у верхній частині знаходиться пристрій для розділення твердої, рідкої та газоподібної фаз</p>	
<p>Двоступеневий біореактор</p>	<p>Ферментаційний простір розділений на дві частини: у першій реалізується процес біодеградації субстрату та кислотоутворення, а у другій – метано-генез</p>	

Для анаеробного бродіння стоків застосовують біореактори великих об'ємів, виготовлених з металу або залізобетону у вигляді вертикальних або горизонтальних циліндрів чи прямокутних резервуарів.

У різних країнах використовується багато великих біогазових установок для очистки стоків промислових підприємств та відходів ферм. Метанове бродіння традиційно застосовують при очистці міських стоків, для утилізації активного мулу після аеробної ферментації (рис. 5.16).



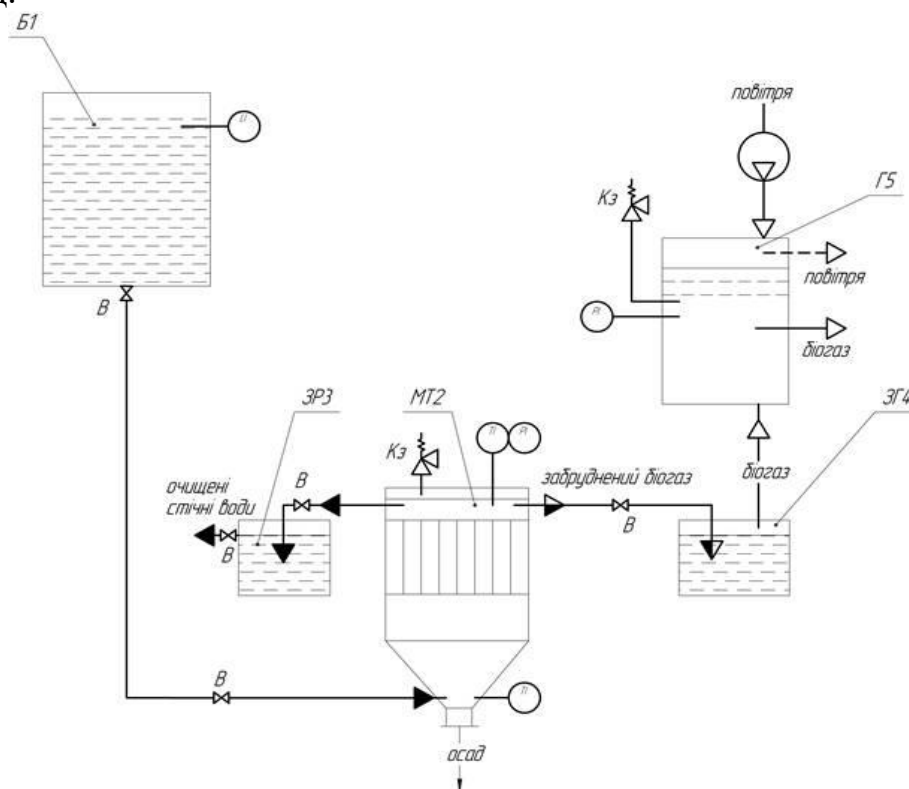
1 – відстійник; 2 – метантенк; 3 - теплообмінник; 4 – пристрої для очистки біогазу; 5 – парогенератори

Рисунок 5.16 – Схема установки для метанового бродіння мулу, отриманого в очисних спорудах міських стоків

Фінська фірма «Тампелла» запропонувала систему очистки стоків харчових та паперових заводів. Біореактор «Таман» сконструйований з можливістю реалізації двостадійного процесу (кисла та метаногенна стадії), причому на метаногенній стадії застосовується гранульований шлам.

Інтенсифікація метаноутворення досягається в результаті використання у другій стадії шламу, отриманого в першій, і великої концентрації метаноутворюючих бактерій. Обидві зони можуть бути розміщені в одному вертикальному циліндрі, що розділений горизонтальною перегородкою на верхню об'ємом 300 м^3 та нижню — 350 м^3 зони.

На рис. 5.17 наведена схема установки для анаеробного зброджування стічних вод.



Б1 – бак напірний; МТ2 – метантенк; ЗРЗ – збірник освітленої рідини; ЗГ4 – збірник біогазу; Г5 – газгольдер; В – вентиль запірний; Кз – клапан запобіжний

Рисунок 5.17 – Схема установки для анаеробного зброджування стічних вод

Стічні води подаються у метантенк (МТ2) із напірного баку (Б1) ємністю 80 л, рівень рідини у баку контролюється показчиком рівня. Рідина з баку до метантенку переливається самотоком. На ділянці трубопроводу між баком та метантенком встановлено витратомір.

Метантенк МТ2 – резервуар із корпусом у формі паралелепіпеда і призматичним днищем об'ємом 25 л. Стічні води подаються в нижню частину метантенка. Для підтримання належного температурного режиму в днищі метантенка встановлено термостат, контролюється температура рідини на вході і виході з апарату. Температура стічних вод в метантенку має підтримуватись на рівні від 33 до 38°C .

В корпусі метантенка встановлено рамку із інертним носієм. Носій

виконаний у вигляді листів із відходів пластичних мас. Листи, закріплені на металевій або пластмасовій рамі, утворюють решітку, крізь яку піднімається потік стічних вод. На першому етапі роботи метантенка на листах відбувається іммобілізація асоціації метаногенів та зонування площі носіїв. Метантенк обладнано запобіжним клапаном, тиск над поверхнею рідини контролюється манометром.

Очищена вода видаляється через бічну стінку корпусу і поступає до збірника рідини (ЗРЗ). З метою підтримання анаеробних умов в метантенку, збірник рідини виконано із гідрозатвором. Біогаз із парами рідини надходить до збірника для очищення біогазу (ЗГ4). В збірнику підтримується визначений рівень рідини для запобігання проникнення повітря в метантенк. Крім того, рідина виконує очисну функцію – проходячи крізь шар рідини, біогаз очищується від парів стічних вод та інших домішок.

Очищений біогаз потрапляє у газгольдер – резервуар для накопичення біогазу. Газгольдер розділено на дві частини еластичною перегородкою, в нижню частину подається біогаз, верхня частина має відкритий отвір і заповнена повітрям. При збільшенні об'єму біогазу, еластична перегородка вигинається, витискаючи повітря. Поступово весь об'єм газгольдера заповнюється біогазом. Газгольдер оснащено запобіжним клапаном. Тиск контролюється манометром.

Установка є достатньо простою у виконанні, передбачає встановлення контролюючої та запобіжної апаратури. Слід зазначити, що метантенки з іммобілізованими носіями після виходу на стаціонарний режим відрізняються ефективністю, стійкістю до коливання оточуючих умов, гіперпродукування активного мулу.

Зміст роботи

Завдання 1.

1.1 Використовуючи короткі теоретичні відомості заповнити табл. 5.4, в якій представлені різні види біореакторів та біотехнологічних систем.

1.2 Зарисувати схему установки для метанового бродіння мулу, отриманого в очисних спорудах міських стоків (рис. 5.16).

1.3 Зарисувати схему установки для анаеробного зброджування стічних вод (рис. 5.17).

Завдання 2.

2.1. Використовуючи короткі теоретичні відомості, дати відповіді на контрольні запитання теми.

Контрольні запитання:

1. Анаеробне зброджування є процесом...
2. Що таке «самовільна іммобілізація»?

3. Що застосовують для анаеробного бродіння стоків?
4. Які прилади встановлено в днищі метантенка для підтримання належного температурного режиму?
5. На якому рівні має підтримуватись температура стічних вод в метантенку?
6. З якого матеріалу виконано збірник рідини з метою підтримання анаеробних умов в метантенку?
7. Яким чином досягається запобігання проникнення повітря в метантенк?
8. Що таке «газгольдер»?
9. Чим відрізняються метантенки з імобілізованими носіями після виходу на стаціонарний режим?

5.5 Біотехнологічний метод очищення ґрунтів від забруднень нафтопродуктами

Мета роботи: ознайомитися з канадським біотехнологічним методом очищення нафтозабруднених ґрунтів.

Короткі теоретичні відомості

Однією з важливих екологічних проблем є забруднення компонентів навколишнього середовища, зокрема і ґрунтів, нафтою і нафтопродуктами (продукти переробки нафти), які поряд із пестицидами визнані у світі найбільш небезпечними забруднюючими речовинами. Негативна дія нафти і нафтопродуктів на ґрунтово-рослинний покрив, відзначається на всіх етапах - буріння свердловин, транспортування, переробка, зберігання, використання. Причому ґрунти найбільш схильні до забруднення і не захищені від нього.

Практично всі ланки економічної інфраструктури (промисловість, транспорт, оборонний комплекс) зіштовхуються із проблемою забруднення навколишнього середовища нафтою і нафтопродуктами в процесі виробництва і в аварійних ситуаціях. Забруднення земель (ґрунтів) нафтою і нафтопродуктами ставить під погрозу екологічну рівновагу у навколишньому середовищі та якість умов життєдіяльності людей. Все це підкреслює актуальність і необхідність цілеспрямованої роботи щодо управління забрудненими нафтою і нафтопродуктами ділянками земель і розроблення методів для розв'язання проблем, зумовлених забрудненням ґрунтів.

Забруднення ґрунтів нафтою і нафтопродуктами - це збільшення концентрацій цих речовин до такого рівня, за якого : порушується екологічна рівновага в ґрунтовій системі; відбувається зміна фізико-хімічних і хімічних властивостей ґрунтів; погіршуються умови життєдіяльності ґрунтової біоти; створюється небезпека вимивання з ґрунту нафти і нафтопродуктів і забруднення підземних та поверхневих вод. Кінцевим результатом забруднення

ґрунтів є їх деградація і значне зниження родючості.

У західних країнах прийнято вважати верхнім рівнем безпечного вмісту нафтопродуктів у ґрунті не більший 1–3 г/кг; початок серйозного екологічного збитку - при вмісті більше 20 г/кг. В Україні ГДК нафти і нафтопродуктів у ґрунті не встановлені. Початком серйозних екологічних втрат вважається забруднення ґрунту в концентраціях, що перевищують 13 г/кг, оскільки при цих концентраціях починається міграція нафти і нафтопродуктів у ґрунтові води, істотно порушується екологічна рівновага в ґрунтовому біоценозі. Забруднення ґрунтів призводить до значного екологічного та економічного збитку : падає врожайність сільськогосподарських культур, знижується продуктивність лісів, вилучаються з господарського користування певні площі земель, погіршується стан навколишнього середовища.

Проблема охорони земель від забруднення нафтою і нафтопродуктами стає все актуальнішою, що пов'язано із збільшенням кількості джерел надходження нафти і нафтопродуктів у навколишнє середовище і високою вартістю робіт відновлення забруднених земель (ґрунтів). Джерелами забруднення можуть стати всі об'єкти і споруди, що пов'язані з видобуванням, зберіганням, переробкою нафти, транспортуванням нафти і нафтопродуктів та їх споживанням. Забруднення земель (ґрунтів) нафтопродуктами в результаті діяльності автотранспорту суттєво відрізняється від розливів нафти при видобутку та транспортуванні, бо при цьому у ґрунти нафтопродукти проникають поступово, по мірі підвищення їх концентрації на поверхні ґрунту.

До джерел забруднення земель (ґрунтів) нафтою і нафтопродуктами відносяться:

- 1) нафто- і газопереробні заводи;
- 2) об'єкти нафтогазового видобутку (свердловини, сепараційні установки, кущові насосні станції та ін.);
- 3) компресорні станції на нафтопроводах;
- 4) автотранспортні підприємства;
- 5) автозаправочні станції (АЗС);
- 6) авіаційні підприємства;
- 7) залізничний транспорт.

Існує кілька методів відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами - механічні, фізико-хімічні, біологічні та комплексні. Застосування того чи іншого методу залежить від умов регіону, характеру і ступеня забруднення.

Механічні методи. Полягають у зборі нафти / нафтопродуктів з поверхні ґрунту. Відновлення ґрунтів відбувається шляхом локалізації розливу дамбами, збору нафти / нафтопродуктів за допомогою шнекових, всмоктуючих, переливних пристроїв, зрізання забрудненого шару ґрунту та заміни його привозним ґрунтом (шаром 25–30 см). Забруднений ґрунт очищають на спеціалізованих підприємствах.

Фізико-хімічні методи. Засновані на використанні сорбентів для збору нафти і нафтопродуктів із поверхні ґрунту. Цей метод ефективний при зборі невеликих кількостей забруднювача. При великих виливах він може використовуватися на етапі «дозбирання» після збору забруднювача

механічним методом.

Біотехнологічні методи. Біотехнологія очищення ґрунтів від забруднень нафтопродуктами передбачає використання біологічного препарату. Біопрепарат виявляє сорбційну і деструктивну активність у відношенні вуглеводнів нафти. Засновані на інтенсифікації процесів самоочищення ґрунту шляхом внесення спеціальних біологічних препаратів (Біоактиватор HYDROBREAK 2000, Препарат BIOVERSAL FW, Біопрепарат «Мікроміцет», біопрепарати типу «Нафтокс», «Зкобіос», «Сойлекс»), які являють собою певним чином підібрані групи мікроорганізмів (бактерій і грибів).

Комплексні методи. Це сукупність засобів для поліпшення стану ґрунтів і усуненню забруднення, що полягають у застосуванні механічних, фізико-хімічних і біологічних методів відновлення в комплексі з агротехнічними і фітомеліоративними роботами.

Застосовувані в Україні технічні та біологічні методи очищення нафтозабруднених ґрунтів мають недоліки, які роблять їх або неефективними або дорогими. На практиці найбільш часто використовуються наступні методи:

1. Метод з засипкою ґрунтом і висіванням трав - спосіб дає косметичний ефект, оскільки нафта залишається в ґрунті. Крім того, необхідний великий обсяг земляних робіт.

2. Метод з вивезенням нафтозабрудненого ґрунту на полігони відходів. Спосіб практично нереальний з економічної точки зору, так як великі обсяги нафтозабруднених ґрунтів і висока вартість транспортування і розміщення відходів можуть багаторазово перекрыти прибутки компанії.

3. Засипка сорбентом (торфом) з подальшим вивезенням на полігони відходів. Недоліки ті ж, що і в попередньому методі.

4. Використання нафтоекстрагуючих установок імпортного виробництва. Продуктивність цих установок 2–6 м³ на добу, що при вартості установки в 150000 \$ і персоналі 3 людини роблять її вкрай неефективною. Зарубіжні компанії вже не використовують такі установки і намагаються продати їх, видаючи за останнє слово науки і техніки.

5. Використання мікробіологічних препаратів. Препарати активні тільки на поверхні, оскільки необхідний контакт з повітрям, і у вологому середовищі при відносно високій температурі. Дуже добре себе зарекомендував при рекультивації влітку морських узбереж Кувейту, забруднених під час військових дій.

На сьогодні найбільш перспективним є біотехнологічний метод відновлення ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами. Його основне призначення полягає в локалізації забруднень та руйнуванні адсорбованих забруднювачів біологічним методом. Основні його переваги — висока ефективність очищення забруднень (94 %), здатність розкласти нафту та нафтопродукти на екологічно нейтральні сполуки.

Умовна назва методу - «парникова гряда», тому що в основі методу лежить мікробіологічне окислення з природним підвищенням температури — як «горить» гнойова купа. Устрій гряди представлено на рис. 5.18.

На ґрунтову подушку шириною 3 метри укладаються змієюю

перфоровані пластикові труби, які потім засипаються шаром гравію, щебеню або керамзиту, або матеріалу типу «Дорньє». На цю пористу подушку сандвічем укладаються чергуються шари нафтозабруднених ґрунтів і добрив. У якості останнього використовується гній, торф, тирса, солома та мінеральні добрива, можна додавати мікробіологічні препарати. Гряда вкривається поліетиленовою плівкою, в труби подається повітря від компресора відповідної потужності. Компресор може працювати або на паливі, або на електриці - якщо є підключення. Повітря розпорошується в пористому подушці і сприяє швидкому окисленню. Труби можна використовувати багато разів. Плівка запобігає охолодження; якщо подавати нагріте повітря і додатково утеплити гряду торфом або «дорнітом», то спосіб буде ефективний і взимку. Нафта окислюється практично повністю за 2 тижні, залишок нетоксичний і на ньому чудово ростуть рослини.

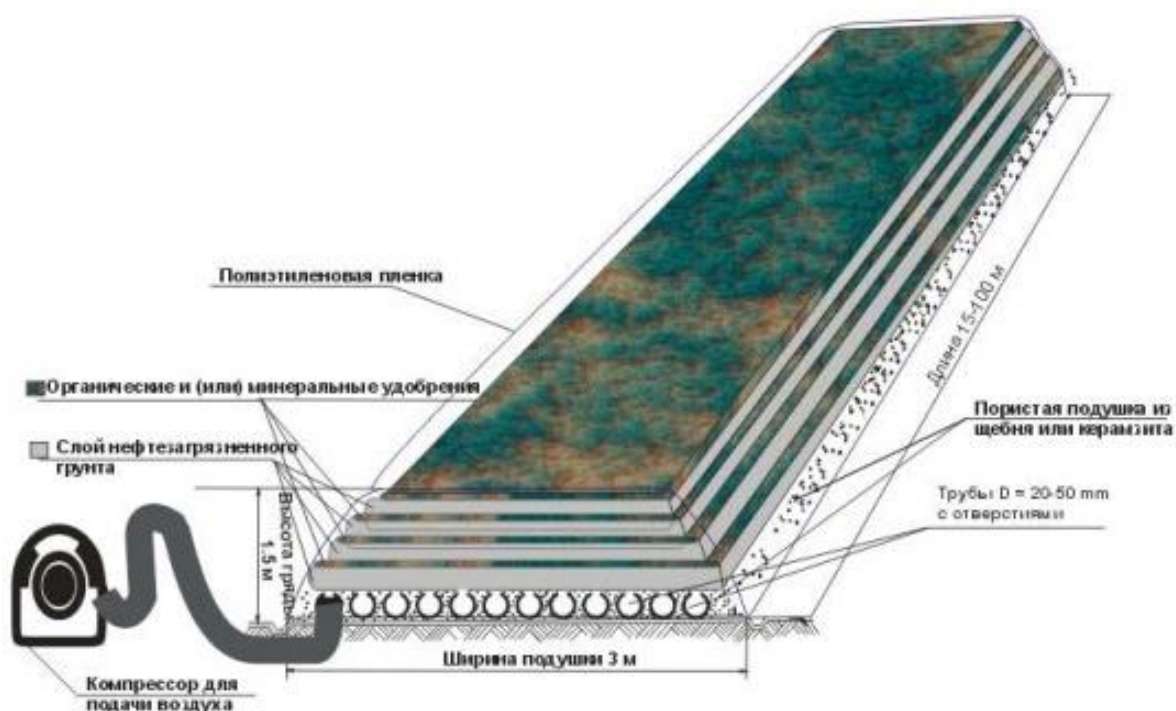


Рисунок 5.18 – Схема рекультивациі нафтозабруднених територій Канадським способом

Ефективно, продуктивно. Таким чином, чисельними фахівцями рекомендується канадський біотехнологічний метод очищення ґрунту від забруднення нафтопродуктами, який не вимогливий до температури, не вимагає транспортування ґрунту і полігонів відходів, не вимагає інвестицій у спеціальну техніку і постійного технічного персоналу. Спосіб дуже гнучкий, дозволяє модифікувати, використовуючи різні матеріали, мікробіологічні препарати, добрива. Умовне назвали методу - «парникова гряда», тому що в основі методу лежить мікробіологічне окислення з природним підвищенням температури.

Зміст роботи

Завдання 1.

1.1 Зарисувати рис. 5.18 на якому представлена схема канадського біотехнологічного методу очищення ґрунту від забруднення нафтопродуктами.

1.2. Використовуючи короткі теоретичні відомості, заповнити технологічну схему (карту) робіт з практичного втілення канадського біотехнологічного методу очищення ґрунту від забруднення нафтопродуктами (рис. 5.19).

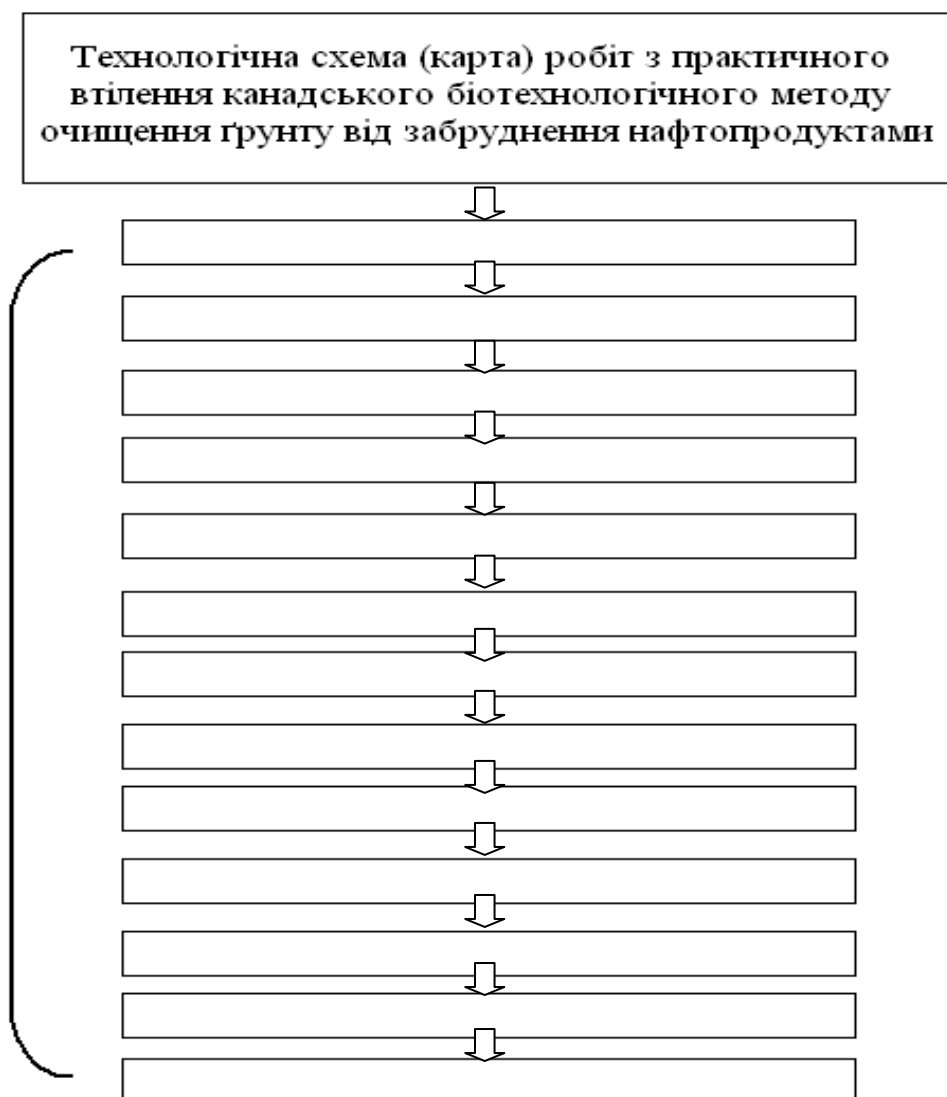


Рисунок 5.19 – Технологічна схема (карта) робіт з практичного втілення канадського біотехнологічного методу очищення ґрунту від забруднення нафтопродуктами

Завдання 2.

Використовуючи теоретичний матеріал, дати відповіді на контрольні запитання.

Контрольні запитання:

1. На яких етапах відзначається негативна дія нафти і нафтопродуктів на ґрунтово-рослинний покрив?
2. Що ставить під погрозу забруднення ґрунтів нафтою і нафтопродуктами?
3. Забруднення ґрунтів нафтою і нафтопродуктами – це...
4. Який кінцевий результат забруднення ґрунтів нафтопродуктами?
5. В яких концентраціях забруднення ґрунту нафтопродуктами вважається початком серйозних екологічних втрат?
6. До джерел забруднення ґрунтів нафтою і нафтопродуктами відносяться...
7. Які існують методи відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами?
8. Від чого залежить застосування того чи іншого методу очищення ґрунтів від забруднень нафтопродуктами?
9. Що передбачає використання біотехнологія очищення ґрунтів від забруднень нафтопродуктами?
10. Які недоліки мають застосовувані в Україні методи очищення нафтозабруднених ґрунтів?
11. Який метод очищення ґрунтів від забруднень нафтопродуктами на сьогодні є найбільш перспективним?
12. Який устрій «парникової гряди» згідно канадському способу рекультивациі нафтозабруднених територій?

5.6 Біотехнологія польового сумісного компостування відходів

Мета роботи: ознайомитися із біотехнологією польового сумісного компостування твердих побутових відходів (ТПВ) і осадом стічних вод (ОСВ) або осадом каналізаційних колекторів (ОКК).

Короткі теоретичні відомості

Особливу екологічну небезпеку накопичення твердих побутових відходів (ТПВ) на полігонах і звалищах становить їх специфічність: генетично властива їм хімічна неоднорідність, локалізоване розташування та довготривала негативна дія на компоненти довкілля. В Україні розроблено стандарт СОУ ЖКГ 03.09-014:2010 «Побутові відходи. Технологія перероблення органічної речовини, що є у складі побутових відходів», схвалений рішенням науково-технічної ради Мінжитлокомунгоспом від 12.02.2010 № 91, яким регламентуються технології компостування.

Узагальнений морфологічний склад міських ТПВ представлений у табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Морфологічний склад ТПВ.

№ з/п	Компоненти	Вміст, %
1	Папір, картон	20 – 30
2	Харчові відходи	28 – 45
3	Деревина	1,5 – 4
4	Метали чорні	1,5 – 4
5	Метал кольоровий	0,2 – 0,3
6	Текстиль	4 – 7
7	Стекло	3 – 8
8	Шкіра, гума	1 – 4
9	Камені, фаянс	1 – 3
10	Пластмаси	1,5 – 5
11	Інші	1 – 3

Основна маса ТПВ представлена фракціями до 150 мм (80 – 90%) і тільки менше 2% представлено фракціями більше 350 мм, фракцій 150 – 350 мм – 8%. Фракційний склад ТПВ наведений у табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Вміст компонентів ТПВ по фракціях, % від загальної маси

Склад	Розмір фракцій, мм				
	350 – 250	250 – 150	150 – 100	100 – 50	<50
Папір	3 – 8	9 – 11	9 – 11	7 – 9	2 – 8
Харчові відходи	–	0 – 1	2 – 10	7 – 13	17 – 22
Метал	–	0 – 1	0,5 – 1	0,8 – 1,6	0,3 – 0,5
Деревина	0,5 – 1	0 – 0,5	0 – 0,5	0,5 – 1	0 – 0,5
Текстиль	0,5 – 1,3	1 – 1,5	0,5 – 1	0,3 – 1,8	0 – 0,5
Кісти	–	–	–	0,3 – 0,5	0,5 – 0,9
Стекло	–	0 – 0,3	0,3 – 1	0,5 – 1,5	0 – 0,3
Шкіра, гума	–	0 – 1,0	0,5 – 2	0,5 – 1,5	0 – 0,3
Камені	–	–	0,2 – 1,0	0,5 – 1,5	0,5 – 2,0
Пластмаси	0 – 0,2	0,3 – 0,8	0,2 – 0,5	0,2 – 0,5	7 – 11
Усього	4 – 10	11 – 15	18 – 22	20 – 30	30 – 40

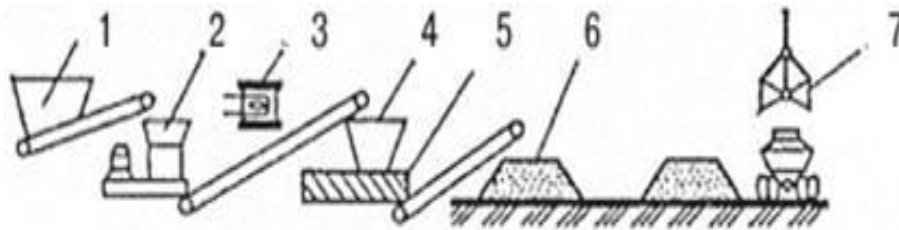
Як видно з таблиць фракційний і морфологічний склади взаємозалежні: чим менше харчових відходів, тим дрібніше загальна фракція; чим більше пляшок, тари, упакувань, тим крупніше відходи.

Біотехнологія польового компостування допускає сумісну переробку ТПВ з насиченим азотом осадом стічних вод (ОСВ) сільськогосподарського сектора і харчової галузі, а в містах – осадів каналізаційних колекторів (ОКК).

Застосовують дві принципові схеми польового компостування: з попереднім дробленням ТПВ і без попереднього дроблення.

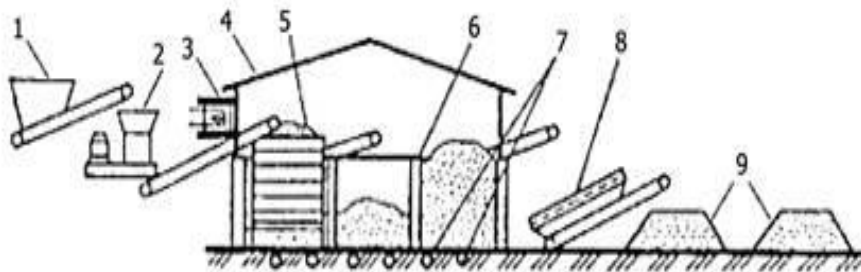
На рис. 5.20 наведена схема сумісного компостування ТПВ і ОСВ або (ОКК), де застосовують попереднє дроблення відходів. Процес сумісного компостування відбувається наступним чином: із приймального бункеру з пластинчастим живильником органічна речовина надходить на дробарку, де подрібнюється, потім змішується з необхідними компонентами та подається на компостування. У разі відсутності пластинчатого живильника розвантаження

компосту у дробарку можна проводити грейферним краном.



1 – приймальний бункер з пластинчастим живильником; 2 – дробарка для ТПВ; 3 – підвісний електромагнітний сепаратор; 4 – подача каналізаційного осаду; 5 – змішувач; 6 – штабеля компосту на «дозрівання»; 7 – грейферний кран
Рисунок 5.20 – Схема споруд і обладнання для сумісного компостування ТПВ і ОСВ або (ОКК)

Компостування у дві стадії відбувається таким чином: із приймального бункеру з пластинчастим живильником органічна речовина надходить на дробарку, потім у закриті приміщення, яке поділено поздовжніми підпірними перегородками на відсіки з обладнанням для примусової аерації, де компостується протягом 10 діб. Суміш кожні дві доби переміщують спеціальним пристроєм із одного відсіку у другий; потім компост подається на грохот, а після цього на відкритій ділянці формують штабель, в якому він дозріває 2–3 місяці. Схема компостування відходів у дві стадії (рис. 5.21).

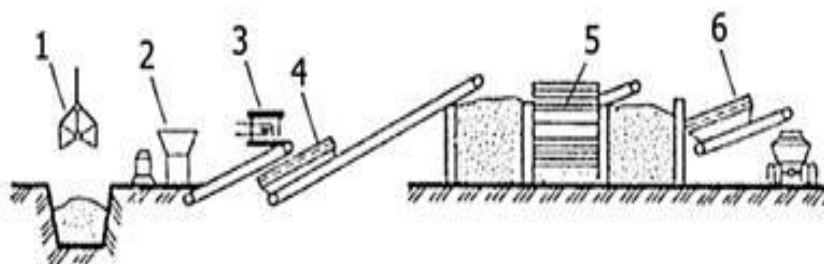


1 – приймальний бункер з пластинчастим живильником; 2 – дробарка для ТПВ; 3 – підвісний електромагнітний сепаратор; 4 – закриті приміщення для першої стадії компостування; 5 – пересувна система для перелопачування і перевантаження компосту; 6 – підпірні стінки; 7 – аератори; 8 – контрольний грохот для компостування; 9 – штабеля компосту на «дозрівання»

Рисунок 5.21 – Схема споруд і обладнання для компостування відходів у дві стадії

На рис. 5.22 наведено схему компостування з подвійним подрібненням. Із приймального бункеру з пластинчастим живильником органічна речовина надходить на дробарку, потім на грохот. Крупна фракція після грохоту відправляється на спалювання або захоронення, а дрібна – на компостування. Компостування проводять на відкритій ділянці з підпірними перегородками та обладнанням для переміщення матеріалу у сусідні відсіки. Готовий компост

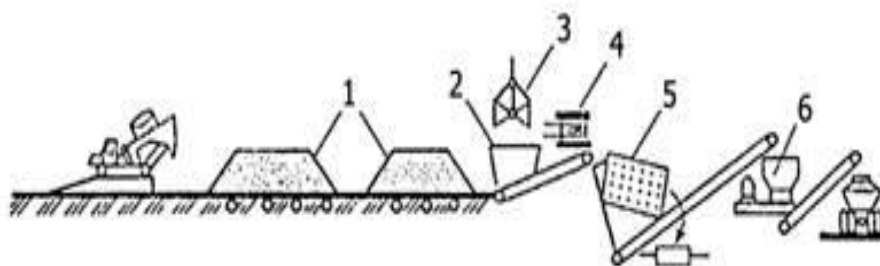
подрібнюють на грохоті з діаметром вічок 60 мм.



1 – грейферний кран; 2 – дробарка для ТПВ; 3 – підвісний електромагнітний сепаратор; 4 – первинний грохот для відсіювання крупних фракцій ТПВ; 5 – пересувна система для перелопачування і перевантаження компосту; 6 – контрольний грохот для компостування

Рисунок 5.22 – Схема компостування відходів з подвійним подрібненням

На рис. 5.23 показана схема компостування відходів без попереднього дроблення.



1 – штабеля компосту; 2 – приймальний бункер з пластинчастим живильником; 3 – грейферний кран; 4 – підвісний електромагнітний сепаратор; 5 – циліндричний контрольний грохот; 6 – дробарка для компосту.

Рисунок 5.23 – Схема компостування відходів без попереднього дроблення

Таким чином, органічні відходи доцільно розглядатися не як джерело забруднення навколишнього середовища, якого потрібно позбутися, розмістивши на звалищах або спалюючи в сміттєспалювальних установках, а як цінний ресурс, який можна перетворити на товарну продукцію.

Біотехнологія польового сумісного компостування твердих побутових відходів (ТПВ) і осадом стічних вод (ОСВ) або осадом каналізаційних колекторів (ОКК) – це перспективний метод для підвищення ефективності біологічної деструкції органічної фракції твердих побутових відходів.

Зміст роботи

Завдання 1.

1.1 Використовуючи короткі теоретичні відомості заповнити табл. 5.5, в якій наведений узагальнений морфологічний склад міських ТПВ.

1.2 Використовуючи короткі теоретичні відомості заповнити табл. 5.6, в

якій представлений вміст компонентів ТПВ по фракціях, % від загальної маси.

1.3 Зарисувати схему (рис. 5.20) споруд і обладнання для сумісного компостування ТПВ і ОСВ або (ОКК).

1.4 Зарисувати схему (рис. 5.21) споруд і обладнання для компостування відходів у дві стадії.

1.5 Зарисувати схему (рис. 5.22) компостування відходів з подвійним подрібненням.

1.6 Зарисувати схему (рис. 5.23) компостування відходів без попереднього дроблення.

Завдання 2.

2.1. Дати відповіді на контрольні запитання теми.

Контрольні запитання:

1. Що становить особливу екологічну небезпеку накопичення твердих побутових відходів (ТПВ) на полігонах і звалищах?
2. Якими фракціями представлена основна маса ТПВ?
3. Що допускає біотехнологія польового компостування?
4. Які принципові схеми польового компостування застосовують?
5. Яким чином відбувається компостування у дві стадії?

6 САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТА

6.1 Теми для самостійного опрацювання

№	Назва теми
1	Нові галузі промисловості, які створені на основі досягнень біотехнологічної науки
2	Роль біотехнологічної промисловості в забезпеченні економічного розвитку України
3	Сировина база біотехнологічних виробництв
4	Роль генної інженерії в створенні нових сортів сільськогосподарських культур
5	Екологічні аспекти виробництва та використання біопалива
6	Екологічні аспекти переробки мінеральної сировини біотехнологічними методами
7	Біотехнологія та медицина.
8	Біотехнологія та харчова промисловість
9	Поняття про біореактори. Системи біореакторів, їх призначення
10	Клонування тварин
11	Біотехнології та поновлювальні джерела енергії
12	Устаткування біотехнологічних виробництв
13	Сучасні принципи біологічної безпеки в умовах біотехнологічних виробництв
14	Промислові біотехнологічні процеси з використанням іммобілізованих ферментів і клітин
15	Технологічні схеми отримання амінокислот шляхом мікробіологічного синтезу
16	Сорбційні біокомплекси для знешкодження ксенобіотиків
17	Біотехнології в різних сферах життя, їх вплив та попередження розвитку біологічних загроз
18	Використання біотехнологічних методів для вирішення народногосподарських питань
19	Біотехнологія та захист навколишнього середовища
20	Історичні передумови розвитку біотехнології

6.2 Тести для самоконтролю

1. Біотехнологія – це:

- а) наука про генетично модифіковані організми;
- б) застосування наукових та інженерних принципів для переробки речовин органічної та неорганічної природи біологічними агентами з метою отримання різних цінних продуктів та послуг;

- в) наука про живі організми;
- г) застосування технічних засобів в біології.

2. Що є об'єктом біотехнологічних досліджень?

- а) субклітинні структури, бактерії та ціанобактерії, гриби, водорості, найпростіші, культури клітин рослин та тварин, а також самі рослини і тварини;
- б) рослини, тварини, людина;
- в) мікроорганізми та водорості;
- г) генетично модифіковані організми.

3. Генна інженерія – це

- а) система експериментальних засобів, які дають змогу сконструювати лабораторним шляхом штучні генетичні структури у вигляді так званих рекомбінантних молекул ДНК;
- б) отримання генетично модифікованих організмів;
- в) використання методів генетики та селекції для виведення нових організмів з удосконаленими властивостями;
- г) все перераховане вище.

4. Трансгенні організми це:

- а) організми, які отримані в результаті біотехнологічних маніпуляцій;
- б) організми, які виникли самостійно;
- в) організми створені природою;
- г) організми, що утворилися в результаті природних генетичних мутацій.

5. Предмет біотехнології це :

- а) технологічні процеси, що здійснюються завдяки біологічно активних речовин рослинного походження;
- б) процеси, що здійснюються завдяки використанню живих тварин;
- в) технологічні процеси, що здійснюються завдяки використанню живих організмів та інших біологічних агентів;
- г) все перераховане вище.

6. У фармакологічній промисловості біотехнологічні процеси використовують для:

- а) створення нових біологічно активних речовин і лікарських препаратів;
- б) отримання рекомбінантних молекул ДНК;
- в) створення генноінженерних штамів кишкової палички та дріжджів;
- г) одержання моноклональних антитіл.

7. Клітинна (тканинна) інженерія це:

- а) галузь біотехнології, пов'язана із заплідненням у пробірці (in vitro) яйцеклітин і отримання дітей з пробірки;

б) створення за допомогою клітинної інженерії нових видів біологічної зброї;

в) галузь біотехнології в якій застосовують методи виділення клітин з організму і перенесення їх на поживні середовища, де вони продовжують жити і розмножуватися;

г) все перераховане вище.

8. Біопаливо це:

а) паливо, яке отримують, як правило, з біологічної сировини, в якості якої використовують стебла цукрової тростини або насіння ріпаку, кукурудзи, сої та різні типи органічних відходів;

б) паливо, яке є відходом процесу виробництва метану;

в) паливо, яке отримують з екскрементів тварин;

г) все перераховане вище.

9. Клонування – це:

а) система експериментальних засобів, які дають змогу сконструювати лабораторним шляхом штучні генетичні структури у вигляді так званих рекомбінантних молекул ДНК;

б) метод отримання декількох ідентичних організмів шляхом безстатевого розмноження;

в) використання методів генетики та селекції для виведення нових організмів з удосконаленими властивостями;

г) все перераховане вище.

10. Вермикультура – це:

а) біотехнологічна галузь про використання грибів, які вирощують на відходах біосировини;

б) біотехнологічна галузь про використання мікроорганізмів для виробництва біодобрива;

в) біотехнологічна галузь про використання черв'яків, котрих вирощують на відходах біосировини;

г) все перераховане вище.

11. ФітореMediaція — це:

а) комплекс методів очищення стічних вод, ґрунтів і атмосферного повітря з використанням мікроорганізмів;

б) комплекс методів очищення стічних вод, ґрунтів і атмосферного повітря з використанням зелених рослин;

в) використання методів генетики та селекції для отримання нових видів рослин;

г) все перераховане вище.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Біотехнології в екології : навч. посіб. / Горова А. І., Лисицька С. М., Павличенко А. В., Скворцова Т. В. Донецьк : Національний гірничий університет, 2012. 184 с.
2. Біотехнологія з основами екології : навчальний посібник. / Трохимчук І. М., Плюта Н. В., Логвиненко І. П., Сачук Р. М. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2019. 304 с.
3. Буценко, Л. М., Пирог Т. П. Біотехнологічні методи захисту рослин : підручник. Київ : Ліра-К, 2018. 345 с.
4. Гвоздяк П. І. Біохімія води. Біотехнологія води : автомонографія. Київ : Києво-Могилянська академія, 2019. 228 с.
5. Герасименко В. Г., Герасименко М. О., Цвіліховський М. І. Біотехнологія : підруч. для підготов. спец. в вищ. навч. закладах / за ред. В. Г. Герасименка. Київ : Фірма «Інкос», 2006. 647 с.
6. Екологічна біотехнологія : навчальний посібник : у 2-х т. / Швед О. В., Петріна Р. О., Комаровська-Порохнявець О. З., Новіков В. П. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. Т. 1. 424 с.
7. Екологічна біотехнологія : навчальний посібник : у 2-х т. / Швед О. В., Петріна Р. О., Комаровська-Порохнявець О. З., Новіков В. П. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. Т. 2. 368 с.
8. Клещев Н. Ф., Бенько М. П. Общая промышленная биотехнология: технология бродильных производств : учеб. пособ. Харків : НТУ «ХПИ», 2007. 200 с.
9. Пляцук Л. Д., Черниш Э. Ю. Екологічна біотехнологія: принципи створення біотехнологічних виробництв : навч. посіб. Суми : СумДУ, 2018. 293 с.
10. Рильський О. Ф. Короткий курс лекцій з біотехнології : для студ. ден. форми біол. ф-ту. Запоріжжя : ЗНУ, 2004. 120 с.
11. Рильський О. Ф. Курс лекцій з біотехнології : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2008. 70 с.
12. Слободян В. О. Основи біотехнології : навч. посіб. Івано-Франківськ : Видавництво ІМЕ, 2002. 188 с.

Додаткова

1. Біотехнологія рекультивації залізорудних відвалів шляхом створення стійких трав'янистих рослинних угруповань / А. Ю. Мазур та ін. *Наука та інновації*. 2015. Т. 11, № 4. С. 41–52
2. Гончаренко Г. Г. Основы генетической инженерии. Мінськ : Вышэйшая школа, 2005. 183 с.

3. Дубровін В. О. Корчемний М. О., Масло І. П. Біопалива: технології, машини, обладнання. Київ : ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. 256 с.

4. Егорова Т. А., Клунова С. М., Живухина Е. А. Основы биотехнологии : учеб. пособие для высш. пед. учеб. заведений. Москва : Издательский центр «Академия», 2003. 208 с.

5. Єльська Ганна. Сучасні біотехнології на службі економіки країни : розмова з директором Інституту молекулярної біології і генетики НАН України : *Діловий вісник*, 2012. № 3. С. 18–21.

6. Картель Н. А. Биоинженерия: методы и возможности. Мінськ : Ураджай, 1989. 143 с.

7. Мельничук М. Д., Новак Т. В., Левенко Б. О. Основы біотехнології рослин : підручник. Київ : Вища шк., 2000. 248 с.

Інформаційні ресурси:

1. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського : веб-сайт. URL: <http://www.nbuv.gov.ua> (дата звернення: 01.04 2020).

2. Про альтернативні види палива : Закон України, 14 січня 2000 р. № 1391-XIV. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1391-14> (дата звернення: 01.04 2020).

3. Гелетуша Г. Г., Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б. Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні. *Біоенергетична асоціація України* : веб-сайт. URL: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-4-ua.pdf> (дата звернення: 01.04 2020).

4. Гелетуша Г. Г., Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б. Перспективи виробництва та використання біометану в Україні. *Біоенергетична асоціація України* : веб-сайт. URL: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-11-ua.pdf> (дата звернення: 01.04 2020).

5. Гелетуша Г. Г., Железна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. *Біоенергетична асоціація України* : веб-сайт. URL: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-10-ua.pdf> (дата звернення: 01.04 2020).

6. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні / Г. Г. Гелетуша та ін. *Біоенергетична асоціація України* : веб-сайт. URL: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-9-ua.pdf> (дата звернення: 01.04 2020).

7. Енергетична стратегія України на період до 2030 року : схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 1071-р. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13> (дата звернення: 01.04 2020).

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Андреюк К. І., Таширеві О. Б. Мікробне відновлення заліза. *Доповіді НАН України*. 2004. № 2. С. 166–171.
2. Біотехнології в екології : навч. посіб. / Горова А. І., Лисицька С. М., Павличенко А. В., Скворцова Т. В. Донецьк : Національний гірничий університет, 2012. 184 с.
3. Бровдій В. М., Гаца О. О. Екологічні проблеми України (проблеми ноогеніки). Київ : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2000. 111 с.
4. Воробьова Л. І., Тагліна О. В. Генетичні основи селекції рослин і тварин : навч. посібник. Харків : Колорит, 2006. 224 с.
5. Герасименко В. Г., Герасименко М. О., Цвіліховський М. І. Біотехнологія : підруч. для підготов. спец. в вищ. навч. закладах / за ред. В. Г. Герасименка. Київ : Фірма «Інкос», 2006. 647 с.
6. Глазко В. И. Генетически модифицированные организмы: от бактерий до человека. Київ : «КВІЦ», 2002. 210 с.
7. Гончаренко Г. Г. Основы генетической инженерии. Мінськ : Вышэйшая школа, 2005. 183 с.
8. Дубровін В. О. Корчемний М. О., Масло І. П. Біопалива: технології, машини, обладнання. Київ : ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. 256 с.
9. Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках. Москва : Наука, 2004. 528 с.
10. Егорова Т. А., Клунова С. М., Живухина Е. А. Основы биотехнологии : учеб. пособие для высш. пед. учеб. заведений. Москва : Издательский центр «Академия», 2003. 208 с.
11. Екологічна біотехнологія : навч. посібник для ВНЗ. : у 2 т. / Швед О. В., Миколів О. Б., Комаровська-Порохнявець О. З., Новіков В. П. Львів : Вид-во нац. ун-ту «Львів. Політехніка», 2010. Кн. 1. 424 с.
12. Знешкодження та утилізація відходів в агросфері : навч. посібник / Пузік В. К. та ін. Харків : ХНАУ, 2014. 220 с.
13. Каратєєва О. І., Коваль О. А., Гроза В. І. Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства : курс лекцій для здобувачів вищої освіти ступеня «бакалавр» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія». Миколаїв : МНАУ, 2018. 190 с.
14. Картель Н. А. Биоинженерия: методы и возможности. Мінськ : Ураджай, 1989. 143 с.
15. Клещев Н. Ф., Бенько М. П. Общая промышленная биотехнология: технология бродильных производств : учеб. пособ. Харків : НТУ «ХПИ», 2007. 200 с.
16. Клімова Н. Деякі питання оцінки стану забруднення ґрунтів унаслідок нафтогазовидобутку. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2006. Вип. 33. С. 144–151.

17. Кляченко О. Л., Мельничук М. Д., Іванова Т. В. Екологічні біотехнології: теорія і практика : навчальний посібник. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 254 с.
18. Коваленко В. П., Горбатенко І. Ю. Біотехнологія у тваринництві й генетиці. Київ : Урожай, 1992. 152 с.
19. Кучук Н. В. Генетична інженерія – входження в біологічну еру. *Вісник НАНУ*. 1998. № 3-4. С. 28 – 34.
20. Мельник Н. В. Біоенергетика і навколишнє природне середовище. *Економіка АПК*. 2011. № 1. С. 70–73.
21. Мельничук М. Д., Новак Т. В., Кунах В. А. Біотехнологія рослин : підручник. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2003. 520 с.
22. Мельничук М. Д., Новак Т. В., Левенко Б. О. Основи біотехнології рослин : підручник. Київ : Вища шк., 2000. 248 с.
23. Ніколайчук В. І., Горбатенко І. Ю. Генетична інженерія : підручник. Ужгород : [б.в.], 1999. 182 с.
24. Петряшин Л. Ф., Лисяний Г. Н., Тарасов Б. Г. Охорона довкілля в нафтовій та газовій промисловості. Львів : Вища школа, 1984. 188 с.
25. Пирог Т. П., Пенчук Ю. М. Біохімічні основи мікробного синтезу : підручник. Київ : Видавництво Ліра-К, 2019. 258 с.
26. Пироженко Ю. Зменшити навантаження на довкілля : [біогазові установки]. *Аграрний тиждень. Україна*. 2014. № 9/10. С. 68–69.
27. Пляцук Л. Д., Васькін Р. А., Соляник В. О. Альтернативні методи використання відходів тваринництва : [виробництво біогазу]. *Ефективне тваринництво*. 2014. № 5. С. 46–48.
28. Рєпін В. С., Ржанінова А. А., Шаменко А. А. Ембріональні стовбурові клітини: фундаментальна біологія та медицина. Київ : [б. и.], 2002. С. 121–125.
29. Сазыкин Ю. О., Орехов С. Н., Чакалева И. И. Биотехнология: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений /под ред. А. В. Катлинского. Москва : Издательский центр «Академия», 2008, 256 с.
30. Сидоров Ю. І. Сучасні біогазові технології. *Біотехнологія*. 2013. Т. 6, № 1. С. 46–60.
31. Слободян В. О. Основи біотехнології : навч. посіб. Івано-Франківськ : Видавництво ІМЕ, 2002. 188 с.
32. Технології виробництва біодизеля / В. Роженко та ін. *Агробізнес сьогодні*. 2011. Жовт. (№ 20). С. 45–46.
33. Ткачова Л. Актуальні проблеми генної інженерії / Л. Ткачова // Хімія. Біологія. 2000. № 40(100). С. 7–8.

Навчально-методичне видання
(українською мовою)

Троїцька Олена Олександрівна
Беренда Наталія Володимирівна
Белоконь Каріна Володимирівна
Манідіна Євгенія Анатоліївна

ОСНОВИ БІОТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-методичний посібник

для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра денної і заочної форм навчання
спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
освітньо-професійної програми
«Технології захисту навколишнього середовища»

Рецензенти: *Є. О. Тулушев, О. Г. Добровольська*
Відповідальний за випуск *Г. Б. Кожемякін*
Коректор *О. О. Троїцька*