

## Тема 12: Біотехнологія очистки газоподібних відходів і ґрунту

**Мета:** сформуванати знання про традиційні й новітні біотехнології очистки газоподібних відходів і ґрунту, забруднених поллютантами.

### План

1. Біотехнологія очистки газоподібних відходів.
2. Методи очистки ґрунту.

**Основні терміни і поняття:** біоплівка, біореактори, біоскрубери, іммобілізовані мікробні клітини, активний мул.

### 9.1. Біотехнологія очистки газоподібних відходів

Очистка газоподібних відходів є обов'язковим етапом для промислових виробництв, що виділяють токсичні й біологічно активні сполуки в атмосферу. Наприклад, підприємства з виробництва барвників, необхідно очищувати від органічних розчинників, підприємства хімічесток і знежирювальних процесів – від хлорвміщуючих вуглеводнів; овочевих складів – від етилену, що утворюється при зберіганні овочів.

У якості сорбентів для очистки таких газоподібних відходів використовують деревне вугілля або ґрунт, на поверхні яких утворюються плівка з аеробних бактерій, що активно руйнують дані сполуки. Найчастіше використовують синтетичні носії, подрібнену деревину або кору дерев, торф або ґрунт. Крізь шар такого носія, який попередньо зволожують, пропускають забруднене повітря. При цьому утворюється **біоплівка**, що являє собою складний комплекс мікроорганізмів.

Для очистки газоподібних відходів, що містять токсичні сполуки також використовують спеціальні установки, у яких гази пропускають крізь рідину в промивних камерах. Там відбувається інтенсивний газо- і водообмін. Після чого промивні води додатково очищують шляхом мікробного окиснення.

Для біологічної очистки застосовують три типи установок: *біофільтри*, *біоскрубери* і *біореактори з омивним шаром*.

Таблиця 9.1

### Класифікація установок біологічної очистки повітря

Тип установки	Робоче тіло	Водний режим	Основна стадія видалення домішок з повітря	Джерело мінеральних солей
<b>Біофільтр</b>	Фільтруючий шар – іммобілізовані мікробні клітини на	Циркуляція води відсутня	1) десорбція матеріалом фільтруючого шару	Матеріал фільтруючого шару

	природних носіях		2) деструкція мікробними клітинами.	
<b>Біоскрubber</b>	Вода, активний мул	Циркуляція води	1) абсорбція в абсорбері водою; 2) деструкція в аеротенку	Мінеральні речовини вносяться у воду
<b>Біореактор з омивним шаром</b>	Імобілізовані на штучних носіях мікробні клітини	Циркуляція води	1) дифузія через водну плівку до мікроорганізмів 2) деструкція в біошарі	Мінеральні речовини вносяться у воду

### 1. Біофільтри

Принципова схема для біологічної очистки була запропонована в 1941 р. Прюссом. Перший у Європі біофільтр було побудовано в Німеччині в 1980 році, а в 1984 році тільки у Німеччині було 240 установок.

Основним елементом біофільтра для очистки повітря є *фільтрувальний шар*, який сорбує токсичні сполуки з повітря. Потім ці речовини в розчиненому стані дифундують до мікробних клітин, де підлягають деструкції. У якості носія для фільтрувального шару використовують компост, торф тощо. Ці матеріали містять у своєму складі різні мінеральні солі й сполуки, необхідні для розвитку мікроорганізмів. Тому до біофільтрів не вносять будь-які домішки.

Повітря, що очищується, подається вентилятором до системи, проходить крізь фільтрувальний шар (знизу вгору, або навпаки). При цьому повітря повинне проходити крізь усю масу фільтрувального шару. Необхідно: однорідність шару, вологість 40–60%. Зволоження матеріалу забезпечується розбризкуванням води на поверхні фільтрувального шару. У матеріалі не повинно бути різких градієнтів температури і рН середовища, для цього повітря, що подається на біофільтр, підігрівають.

### 2. Біоскрubber

Принцип роботи біоскрубера принципово відрізняється тим, що процес очищення повітря реалізується *у дві стадії у двох різних установках*.

На *першому етапі* в адсорбері токсичні речовини і кисень розчиняються у воді. У результаті повітря очищується, а забруднена вода відводиться для подальшого очищення. Типи адсорберів: *барботажні, насадочні, розпилювальні, форсункові*. Метою конструктивних удосконалень адсорберів є збільшення площі поверхні розподілу фаз, що обумовлює ефективність адсорбції.

На *другій стадії* забруднена вода надходить до аеротенку, де вона піддається регенерації. У ході очистки складні органічні сполуки окиснюються мікроорганізмами активного мулу до кінцевих продуктів з утворенням біомаси.

### 3. Біореактор з омивним шаром

Робочим тілом цієї системи є іммобілізовані мікроорганізми. Біошар біореактора являє собою гранули з іммобілізованими мікробними клітинами, що омивається водою, яка містить мінеральні сполуки. Забруднене повітря проходить крізь біошар, при цьому сполуки, що підлягають деструкції, дифундують у біоплівку, яка вкриває частинки біокатализатора, і потім окиснюються мікроорганізмами. Швидкість деструкції лімітується швидкістю дифузії речовин із газової фази в рідину (залежить від природи речовини, концентрації), а також швидкістю реакцій, що протікають у мікробних клітинах. Періодично (один раз на декілька місяців) біошар очищують від надлишку біомаси і наповнюють свіжими гранулами.

Біоскубери порівняно з біофільтрами займають меншу площу, адже являють собою башти декілька метрів заввишки. Проте експлуатаційні витрати більші, адже процес біоочистки води потребує суттєвих витрат. Застосування біоскруберів є ефективним при наявності в повітрі добре розчинних токсичних речовин. Ефективність очищення повітря в біоскруберах вища порівняно з біофільтрами.

Найбільш ефективними для очистки повітря є біореактори з омивним шаром. Такі малогабаритні установки досить ефективні для очистки повітря тваринницьких комплексів. Ступінь очистки в реакторі з іммобілізованими на активованому вугіллі мікроорганізмами від ацетону, бутанолу, етилацетату становить 90 %.

Відомі інші способи комплексної очистки повітря, наприклад, на основі ростучої суспензії мікроорганізмів. Пропускання повітря, що насичене сірководнем, сірчанам ангідридом парами сірки, крізь інтенсивну культуру мікроводорості *Chlorella*, яка має велику поверхню контакту суспензії з повітрям (очистка 100 %).

Спосіб комплексної очистки стоків і забрудненого повітря від аліфатичних кислот, спиртів, альдегідів, вуглеводнів у аеротенках з активним мулом (для фармацевтичних виробництв).

Для детоксикації цианіду в промислових викидах запропоновані біологічні методи, що включають використання різноманітних реагентів, від активного мулу до специфічних ферментів, що руйнують цианіди.

## 1.2. Методи очистки ґрунту

Ґрунт є важливим компонентом біосфери, що піддається техногенному забрудненню. Біля 50 % забруднень на Землі пов'язані з нафтою. Серед мікроорганізмів відомі активні деструктори нафтопродуктів, що належать до родів *Rhodococcus*, *Micrococcus*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*.

Зазвичай забруднення ґрунту починається з поверхні, далі поллютанти проходять крізь горизонти ґрунту до шару, що межує із водоносним горизонтом. Залежно від щільності забруднюючого матеріалу можливі різні варіанти процесу. Деякі компоненти можуть накопичуватись на поверхні водного середовища й мігрувати з ним, інші здатні розчинятись у ґрунтових водах. Такі компоненти, як

смоли, здатні потрапляти до нижнього шару води та переноситись досить повільно. Тому існують різні механізми очистки.

Розроблено 5 основних *способів очистки забрудненого ґрунту*.

1) Ґрунт залишають на місці, відкачують ґрунтові води, які очищують, а потім їх знову повертають у ґрунт. При цьому в ґрунті можуть залишатись поллютанти з низькою розчинністю.

2) Ґрунт обробляють на місці шляхом внесення окиснювачів ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{O}_2$ ), субстратів або емульсифікаторів для посилення переносу ліпофільних забруднень або їх доступність для біологічних об'єктів. Такий спосіб обробки є маловитратним, але триває декілька років.

3) Ґрунт видаляють і складають у купи або вали, крізь які встановлюють труби для аерації з метою інтенсифікації аеробних процесів розкладання. Така обробка теж триває декілька років і залежить від типу забруднення.

4) Ґрунт відділяють і промивають, інколи з додаванням поверхнево активних речовин. Екстраговані забруднення послідовно розкладаються шляхом біологічної очистки промивних вод.

5) Ґрунт видаляють повністю і прожарюють у спеціальних печах. Це найбільш дорогий спосіб очистки, який призводить до повної стерилізації ґрунту.

Вибір способу очистки ґрунту залежить від типу забруднення, площі й глибини його поширення. Наприклад, на ділянках, що забруднені такими дуже окисненими сполуками, як пентахлорфенол (застосовується при консервації деревини), нітроароматичні сполуки (використовують при отриманні вибухових речовин), алкани і алкени (хлороформ, тетрачлоретилен – використовують при хімічній очистці одягу, знежирення в промисловості) необхідно вносити донори електронів для посилення процесів відновлення. Такими донорами є метанол, етанол, меляса. У разі забруднення вуглеводнями такої необхідності нема.

Найбільш важко піддаються очищенню ґрунти, забруднені ароматичними вуглеводнями й рідкими вуглеводнями, оскільки вони практично нерозчинні у воді. Розчинність у воді є лімітуючим фактором розщеплення. Здатність певних сполук активно розкладатися мікроорганізмами також залежить від комплексоутворення. Так, комплексні сполуки розкладаються повільніше ніж малокомпонентні субстрати. Комплексні сполуки можуть частково перетворюватись у активовані (часто гідроксильовані) похідні, які ковалентно зв'язуються з органічною речовиною ґрунту, наприклад, із гуміновими речовинами ґрунту, і стають недоступними для мікроорганізмів.