

**Міністерство освіти і науки України**  
**Одеський національний технологічний університет**

ННІ холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського

Кафедра Екології, води та природоохоронних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма «Технології захисту навколишнього середовища»



**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

на тему **Оптимізація технології аеробного компостування**

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача Тітомир А.І.

(прізвище, ініціали)

2 курсу ЗТЗ-777 групи

Керівник к.т.н, доцент, Шпирко Т.В.

(посада, прізвище та ініціали)

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від \_\_\_\_\_ 2024 р., протокол № \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри ЕВтаПТ \_\_\_\_\_ Олексій ГАРКОВИЧ  
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса – 2024 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ННІ холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського  
Кафедра екології, води та природоохоронних технологій.

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

к.б.н., доц.

\_\_\_\_\_ **О.Л. Гаркович**

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 року

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Тітомира Андрія Ігоровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **«Оптимізація технології аеробного компостування»**

Затверджена наказом ОНТУ від “28”03 2024 року №139-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 29.11.24.

3. Вихідні дані до роботи вихідна сировина та технології переробки органічних відходів, матеріали переддипломної практики; принципи аеробної технології компостування.

4. Перелік питань, які потрібно розробити зробити літературний огляд по хімічному складу побутових відходів, методам і умовам компостування та пошук технологічних схем і сучасних рішень для екотехнології аеробного компостування.

5. Перелік графічного матеріалу (з зазначенням обов'язкових креслень) таблиці, рисунки, що відображають хід виконання кваліфікаційної роботи.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Класифікація відходів як сировини компостування	Шпирко Т.В., к.т.н., доц.	14.08.24	30.09.24
2. Характеристика методів переробки органічних відходів	Шпирко Т.В., к.т.н., доц.	30.09.24	16.10.24
3. Механіко-біологічна переробка харчових відходів	Шпирко Т.В., к.т.н., доц.	16.10.24	18.11.24
4. Охорона праці та ЦЗ	Гаркович О.Л., к.б.н., доц.	18.11.24	26.11.24
5. Оформлення результатів виконаної роботи	Шпирко Т.В., к.т.н., доц.	26.11.24	29.11.24

7. Дата видачі завдання 14.08.24

Керівник \_\_\_\_\_

Тетяна ШПИРКО

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

Андрій ТІТОМИР

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітичний огляд вихідної сировини та технологій утилізації відходів бродильних виробництв	30.09.24	
2	Матеріали та методи дослідження	16.10.24	
3	Теоретичне обґрунтування та експериментальна перевірка процесу механіко-біологічна переробка харчових відходів	18.11.24	
4	Охорона праці та ЦЗ	26.11.24	
	Оформлення результатів виконаної роботи	29.11.24	

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Андрій ТІТОМИР

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Тетяна ШПИРКО

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач вищої освіти Андрій ТІТОМИР \_\_\_\_\_

ПІБ

Підпис

## АНОТАЦІЯ

Випускна кваліфікаційна робота магістра: сторінок – 83, рис. – 11 табл. – 5, література – 19.

**Перелік ключових слів:** переробка ТПВ, Тверді побутові відходи, компостування, біобарабан, компостування, органічна фракція, відходи тваринництва.

**Мета роботи** – вибір та обґрунтування технології переробки органічної фракції твердих побутових відходів шляхом компостування.

Для досягнення мети поставлено **такі завдання:** розглянути та проаналізувати стан поводження із побутовими відходами; описати морфологічний склад твердих побутових відходів; навести характеристику компосту, розробити технологічну схему технології переробки твердих побутових відходів, що включає компостування органічної фракції.

**Об’єкт дослідження** – органічні фракції твердих побутових відходів

**Предмет дослідження** – процес їх переробки за допомогою аеробної технології компостування.

Кваліфікаційна робота магістра складається з таких розділів:

**Розділ 1.** Здійснено огляд відходів як сировини компостування, наведена їх класифікація та хімічний склад побутових відходів.

**Розділ 2.** Визначені об’єкти, охарактеризовані методи дослідження. Дана характеристика методів переробки органічних відходів.

**Розділ 3.** Теоретично обґрунтований та експериментально перевірений процес механіко-біологічна переробка харчових відходів.

**Розділ 4.** Наведено правила безпеки та обов’язкові вимоги для роботи в лабораторії. Здійснено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів.

**Розділ 5.** Розкрито поняття захисту населення і територій у разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій (НС).

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ ВІДХОДІВ ЯК СИРОВИНИ КОМПОСТУВАННЯ.....</b>	<b>8</b>
1.1. Державна політика та заходи у сфері поводження з відходами	8
1.2. Класифікація відходів.....	13
1.3. Хімічний склад побутових відходів.....	17
<b>РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ</b>	<b>25</b>
2.1. Методи утилізації органовмісних відходів .....	25
2.2. Методи та умови компостування .....	26
2.2.1. Умови компостування.....	28
2.2.2. Метод польового компостування.....	39
2.2.3. Компостування в закритих реакторах.....	47
<b>РОЗДІЛ 3. МЕХАНІКО-БІОЛОГІЧНА ПЕРЕРОБКА ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ.....</b>	<b>53</b>
3.1. Біорозкладання органічних відходів.....	53
3.2. Технологія механіко-біологічного утворення компосту.....	58
<b>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....</b>	<b>64</b>
<b>РОЗДІЛ 5. ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ.....</b>	<b>77</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>80</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>81</b>

## ВСТУП

Щорічне утворення близько 13 млн тон сміття в Україні є тривожною тенденцією, особливо на фоні низького рівня його переробки — лише 4% відходів піддаються повторному використанню. Решта накопичується на полігонах і звалищах, які мають обмежений ресурс та є значним джерелом забруднення.

Понад 6,5 тисяч законних і близько 35 тисяч незаконних звалищ займають 7% території країни. Це території, що могли б використовуватися для розвитку інфраструктури, сільського господарства або зелених зон. Відходи спричиняють забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, а також атмосферного повітря через розкладання сміття та виділення токсичних речовин (метан, важкі метали, діоксини).

Загальна кількість накопичених відходів на території країни досягає 40 млрд тонн. Ці відходи можуть бути токсичними та небезпечними для здоров'я людей і навколишнього середовища. Розширення міст і промислових зон призводить до збільшення утворення сміття. Разом із цим, відсутність ефективної системи управління відходами лише загострює проблему.

Необхідним стає впровадження сучасних технологій – це будівництво заводів для сортування та переробки сміття, впровадження системи роздільного збору відходів на рівні домогосподарств, створення сучасних полігонів із системами фільтрації та контролю за викидами, розвиток альтернативної енергетики через спалювання або переробку біовідходів. Ефективне управління відходами не лише зменшить навантаження на довкілля, а й створить економічні можливості через переробку вторинної сировини, виробництво компосту, альтернативних видів палива та енергії.

**Актуальність проекту.** Вирішення проблеми накопичення твердих побутових відходів потребує системного підходу, що включає впровадження сучасних технологій переробки (компост, біогаз), посилення контролю за

незаконними звалищами та створення умов для повторного використання ресурсів. Це сприятиме збереженню екосистем, покращенню стану довкілля та раціональному використанню земельних ресурсів України.

**Новизною даного проєкту** є оптимізація технології аеробного компостування.

**Мета і задачі дослідження.** вибір та обґрунтування технології переробки органічної фракції твердих побутових відходів шляхом компостування.

Для досягнення мети поставлено **такі завдання:** розглянути та проаналізувати стан поводження із побутовими відходами; описати морфологічний склад твердих побутових відходів; навести характеристику компосту, розробити технологічну схему технології переробки твердих побутових відходів, що включає компостування органічної фракції.

**Об'єкт дослідження:** органічні фракції твердих побутових відходів.

**Предмет дослідження:** процес їх переробки за допомогою аеробної технології компостування.

## РОЗДІЛ 1

### КЛАСИФІКАЦІЯ ВІДХОДІВ ЯК СИРОВИНИ КОМПОСТУВАННЯ

#### 1.1 Державна політика та заходи у сфері поводження з відходами

Відсутність роздільного збирання відходів у багатьох випадках призводить до того, що тверді побутові відходи стають схожими на промислові за своїми характеристиками та наслідками для навколишнього середовища і здоров'я людей. Морфологічний склад побутових відходів з кожним роком ускладнюється, включаючи все більше небезпечних для екології компонентів і речовин. Проблема екологічної загрози від твердих побутових відходів охоплює всі етапи їх обробки, починаючи від збору та транспортування і закінчуючи підготовкою до повторного використання компонентів, знищенням або захороненням фракцій, що не підлягають утилізації.

Серед небезпечних відходів, що утворюються протягом року, значну частину складають органічні відходи, а також відходи свинцю, міді, нафтопродуктів і нафтошламів, відпрацьовані формувальні суміші, осадки з відстійників після реакційного або коагуляційного очищення, відпрацьовані каталізатори, але так як в Одесі та області не проводиться роздільне збирання відходів, то відповідно на звалищах всі відходи перемішуються [3].

В Одеській області створено та функціонують потужності для утилізації та знешкодження небезпечних відходів виробництва та споживання.

6 жовтня 2023 року Департамент уклав договір, виконання якого завершилося 30 липня 2024 року. Він передбачав надання послуг із екологічно безпечного збирання, перевезення, зберігання, обробки та видалення виробничих відходів, а також отримання і застосування біоцидів та фітофармацевтичних препаратів. Сюди входять також відходи пестицидів і

гербицидів, які не відповідають стандартам, мають прострочений термін придатності або непридатні для використання. Роботи охоплювали територію Подільського, Березівського, Білгород-Дністровського, Болградського, Ізмаїльського, Одеського та Роздільнянського районів, де розташовано 49 складів із загальною масою відходів 311,3756 тон.

За даними щорічної звітності за формою № 1-ТПВ, у 2023 році на території Одеської області було зібрано та перевезено підприємствами-операторами 3,491 млн м<sup>3</sup> (або 872,923 тис. тон) змішаних твердих побутових відходів. Із них 3,320 млн м<sup>3</sup> (830,226 тис. тон) захоронено на полігонах та сміттєзвалищах. Послуги з вивезення ТПВ охоплюють 69% населення області.

Згідно з даними звітності за формою 1-ТПВ, в Одеській області працює 91 підприємство, яке надає послуги у сфері управління твердими побутовими відходами (ТПВ). Із них 69 підприємств мають комунальну форму власності, 1 — із часткою комунальної власності, та 21 — приватну форму власності.

Роздільне збирання окремих компонентів ТПВ організовано у 44 населених пунктах області, проте більшість відходів усе ще захоронюється у змішаному (невідсортованому) вигляді на полігонах.

За інформацією Департаменту житлово-комунального господарства та енергоефективності Одеської обласної державної адміністрації, кількість сміттєзвалищ в області становить 628, із загальною площею 1 046,32 га.

Департамент екології та природних ресурсів до 9 липня 2023 року вів реєстр місць видалення відходів (МВВ). На цю дату до реєстру було внесено 530 об'єктів, з яких 516 — це звалища твердих побутових відходів загальною площею 1 274,93 га.

Актуальною проблемою залишається незадовільний стан більшості полігонів та порушення правил їх експлуатації, що суперечить чинному законодавству. Майже всі сміттєзвалища області не відповідають екологічним нормам, зокрема вимогам ДБН В.2.4-2-2005, та потребують реконструкції відповідно до нормативно-правових актів.

Більшість сміттєзвалищ в Одеській області експлуатуються з численними порушеннями, зокрема:

- відсутність проектної документації для полігонів, документів про введення в експлуатацію, інструкцій з експлуатації МВВ та щорічних технологічних планів організації робіт із захоронення відходів;
- неналежна організація приймання та контролю відходів;
- відсутність дноізолюючих захисних екранів, що сприяє проникненню небезпечних речовин у ґрунт і підземні водоносні горизонти;
- відсутність інженерних споруд для збору та утилізації біогазу;
- невиконання робіт із збирання та знезараження фільтрату;
- відсутність моніторингу забруднення ґрунтів, підземних вод і атмосферного повітря в районі полігонів;
- нестача актуальних даних про обсяги накопичених відходів;
- невідповідний рівень збору та вивезення ТПВ із населених пунктів, що спричиняє утворення значної кількості несанкціонованих сміттєзвалищ.

Ці проблеми створюють загрозу для екологічної безпеки та потребують невідкладного вирішення.

Побутові відходи, що утворюються в місті Одеса та прилеглих територіях, транспортуються на Одеське міське звалище ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри». Це сміттєзвалище розташоване приблизно за 3 км від села Великий Дальник і за 2,5 км від села Нова Долина Одеського району, його загальна площа становить 96,2 га.

Експлуатацію полігону здійснює ТОВ «КЛІАР-СІТІ». На звалище приймаються тверді побутові та промислові відходи, що вивозяться з м. Одеса, Іллічівського порту та прилеглих населених пунктів на умовах самовивезення за талонами. Полігон функціонує з 1974 року.

На державному рівні досі не розроблено типового проекту полігону твердих побутових відходів для невеликих населених пунктів. У результаті саме в таких містечках несанкціоновані звалища набувають значних розмірів

і накопичують небезпечні речовини та матеріали, що загрожує довкіллю та здоров'ю населення.

Ще однією серйозною проблемою полігонів є проникнення та накопичення токсичних відходів через порушення підприємствами правил поводження з ними. Це значно ускладнює екологічну ситуацію та вимагає запровадження системного підходу до управління відходами.

Між Україною та Європейським Союзом підписано Угоду про асоціацію, у рамках якої розроблено та реалізується Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року (далі – Стратегія). Ця стратегія була затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 року № 820-р.

На виконання вимог Стратегії Одеська обласна державна адміністрація розробила Регіональний план управління відходами до 2030 року, який направлено на погодження до Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України та Міністерства розвитку громад та територій України. Однак станом на сьогодні план залишається непогодженим.

Після набрання чинності Закону України «Про управління відходами» від 20 червня 2022 року № 2320-IX, виникла необхідність коригування Регіонального плану управління відходами для приведення його у відповідність до чинних нормативно-правових актів. Це передбачає внесення змін, які враховують нові вимоги законодавства та оновлені стандарти в сфері управління відходами [3].

Для вирішення критичної ситуації з управління побутовими відходами та створення відповідної інфраструктури з їх оброблення в Одеській області, 15 листопада 2023 року було підписано Меморандум про співпрацю та партнерство. У підписанні документу взяли участь Одеська обласна державна адміністрація, Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Южненська, Подільська, Арцизька міські ради, Авангардівська селищна рада, а також Знам'янська і Саф'янівська сільські ради.

Меморандум передбачає реалізацію Національного проекту будівництва заводів з управління відходами потужністю 50, 100 та 350 тис. тон на рік. Вибір місць для будівництва враховує такі фактори:

- дорожнє сполучення;
- наявність земельних ділянок, відведених для майбутніх проектів поводження з побутовими відходами;
- загальні обсяги утворення побутових відходів у регіоні.

Цей проект покликаний створити сучасну інфраструктуру для ефективного управління відходами, сприяти зменшенню екологічного навантаження та вирішити проблему накопичення побутових відходів.

Запланований завод з управління відходами буде представляти собою сучасний комплекс, що включатиме кілька функціональних підрозділів:

- сортувальні лінії для сортування змішаних твердих побутових відходів із відокремленням металу, скла та пластику для їх подальшої реалізації та повторної переробки.
- підготовка органічних відходів для утилізації в реакторах газифікації, що сприятиме ефективному їх переробленню.
- виробництво RDF/SRF сировини за рахунок переробки пластикових відходів, що залишилися після сортування, паперу, текстилю, дерева, гуми тощо з метою отримання RDF/SRF (альтернативного палива) для подальшої утилізації в реакторах газифікації.
- виробництво електричної та теплової енергії при генерації електричної та теплової енергії за допомогою газопоршневих двигунів (ГПД) з орієнтовною потужністю 7 МВт.
- встановлення сонячних панелей на усіх покрівлях промислових будівель, що дозволить додатково забезпечувати енергетичні потреби комплексу за рахунок відновлюваних джерел енергії.

Цей проект забезпечить екологічно безпечну утилізацію відходів, зменшить обсяги захоронення на полігонах та сприятиме отриманню

вторинних ресурсів і енергії, але в ньому не прописаний такий напрям, як компостування, який повинен бути обов'язково бути врахований.

Після підписання Угоди про асоціацію з ЄС у 2014 році, Україна зобов'язана привести законодавство, включно з нормативами поводження з гноєм, у відповідність до вимог ЄС. Це включає підтримку сталого розвитку сільського господарства та перехід до використання екологічно безпечних методів удобрення ґрунтів.

У ЄС зменшення залежності від хімічних добрив є частиною стратегії продовольчої безпеки. Збільшення використання органічних добрив, зокрема компосту з гною, сприяє покращенню родючості ґрунтів, відновленню їхньої структури та збереженню довкілля.

○ Внесення органічних добрив у ґрунт значно скоротилося. Сьогодні середній показник становить 0,4 т/га, тоді як у 1990 році норма становила 8,6 т/га. Така зміна має негативний вплив на продуктивність і стан ґрунтів. Науково обґрунтована норма внесення органічних добрив вказує на потребу в суттєвому збільшенні використання гною та його компосту.

Цей напрямок є надзвичайно важливим для відновлення та збереження родючості українських ґрунтів, а також для інтеграції в європейський простір із відповідністю екологічним стандартам.

Природа сама підказує напрями переробки біологічних відходів, для покращення стану ґрунтів за рахунок деструкції залишків органіки редуцентами, але робить це повільно, тому людство вже давно розробило технології утворення компосту.

## **1.2 Класифікація відходів**

Проблема відходів є особливо гострою у великих містах через високу щільність населення, масштабну господарську діяльність та обмеженість територій для їх зберігання і переробки [11, 12].

Основні аспекти проблеми:

1. Зростання обсягів відходів, яке виражається в тому, що чим більше місто, тим більше відходів утворюється. Це стосується як побутових, так і промислових відходів.

2. Нестача ефективних систем утилізації, з якими стикаються всі населені пункти Одеси та області, в яких відсутня сучасна інфраструктура для сортування, переробки та утилізації відходів.

3. Негативний вплив на екологію у вигляді несанкціонованих звалищ, забруднення повітря, ґрунту і води, які є прямими наслідками неправильного поводження з відходами.

4. Проблемою в свідомості громадян є низький рівень екологічної культури ускладнює впровадження сортування та інших екологічних практик.

Згідно із Законом України "Про відходи", поводження з відходами передбачає:

- запобігання їх утворенню, тобто стимулювання використання багаторазових матеріалів і мінімізацію використання упаковок;

- збирання, перевезення, зберігання, сортування сміття, за рахунок створення спеціалізованих систем і локацій для збору сміття;

- утилізація, за рахунок використання відходів у вигляді вторинної сировини чи енергії (наприклад, виробництво RDF-палива або компостування);

- знешкодження, у вигляді безпечної обробки небезпечних відходів;

- захоронення: резервується для мінімальної кількості відходів, які неможливо утилізувати.

Утилізація відходів — це процес, який дозволяє використовувати відходи як ресурс. Наприклад:, преробка пластику, скла, металу, паперу для створення нових продуктів, використання органічних відходів для отримання біогазу або компосту, використання промислових відходів для виробництва енергії [13].

Таким чином, ефективне управління відходами дозволяє зменшити їх негативний вплив на екологію та створити нові джерела ресурсів. В ідеалі створення безвідходних технологій по раціональному використанню природних ресурсів. Порівняльна характеристика твердих виробничих і побутових відходів надана в таблиці 1.1.

Класифікація відходів здійснюється за такими ознаками [11]:

1. За формою матеріальної субстанції:
  - матеріальні – відходи, які мають фізичну форму (тверді, рідкі);
  - енергетичні – відходи, що містять залишкову енергію або енергетичний потенціал.
2. За генезисом (походженням):
  - промислові – утворюються в процесі виробничої діяльності підприємств;
  - агропромислові – пов'язані з сільськогосподарським виробництвом;
  - побутові – утворюються в результаті життєдіяльності людей у побуті.
3. За можливістю переробки:
  - вторинні матеріальні – ті, які вже переробляються або їхня переробка планується;
  - неперероблювані – відходи, які на даному етапі економічного розвитку недоцільно переробляти; утворюють безповоротні втрати.
4. За агрегатним станом:
  - тверді;
  - рідкі;
  - газоподібні.
5. За токсичністю:
  - 1 клас – високо небезпечні;
  - 2 клас – небезпечні;
  - 3 клас – помірно небезпечні;
  - 4 клас – безпечні.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика твердих виробничих і побутових відходів [14].

Характерні ознаки	Тверді виробничі відходи	Тверді побутові відходи
1. Виробники відходів	Юридичні особи	Фізичні та юридичні особи
2. Кількість виробників відходів	Порівняно невелика	Значна кількість; є потреба у певних об'єднаннях для моделювання поведінки виробників відходів
3. Розосередженість відходів по території	Зосереджені на території промислових підприємств, на будівельних майданчиках	Розосереджені по території населених пунктів у невеликій кількості
4. Рівень екологічної небезпеки	1-4 класи небезпеки залежно від конкретного виду відходів	Вважаються належними до 4 класу небезпеки. Рівень небезпеки може швидко зростати у зв'язку з процесами гниття органічних решток, можливістю розвитку хвороботворних мікробів. Містять небезпечні речовини (ртуть, свинець тощо)
5. Вимоги до захоронення	1-2 класи небезпеки – окреме розміщення або захоронення; 3-4 класи – допускається захоронення на полігонах ТПВ	На організованих звалищах або полігонах ТПВ
6. Однорідність складу відходів	Відносно однорідні для певного технологічного процесу	Неоднорідні: значний ступінь розсіювання окремих хімічних сполук і елементів
7. Наявність технологічних можливостей переробки і утилізації за місцем утворення відходів	У багатьох випадках наявні технологічні можливості часткової утилізації безпосередньо у підприємств-виробників відходів	У виробників відходів можливості їх утилізації відсутні; необхідне існування окремої системи поводження з відходами

1. За типом походження:

- відходи виробництва – утворюються в процесі виробничої діяльності;
- відходи споживання – виникають у результаті використання продукції кінцевим споживачем.

Ця класифікація дозволяє систематизувати відходи для їх ефективного управління, переробки та утилізації.

При порівнянні виробничих і побутових відходів можна побачити, що відходи 4 класу небезпеки у великій кількості виробляються фізичними та юридичними особами є неоднорідними, але не переробляються, хоча потенційна можливість є (табл.1). Весь цивілізований світ такі відходи переробляє на відповідних заводах по переробки попередньо сортуючи сміття.

### **1.3. Хімічний склад побутових відходів**

Морфологічний склад твердих побутових відходів (ТПВ) є важливою характеристикою, яка визначає пропорційний вміст різних компонентів у загальній масі відходів. Розуміння цього складу допомагає організувати ефективно управління відходами, зокрема розробити стратегії для їх переробки, утилізації та захоронення [10].

Основні компоненти морфологічного складу ТПВ:

1. Харчові відходи, до яких відносять овочі, фрукти, залишки їжі, відходи садівництва тощо. Вони займають значну частину в складі ТПВ, особливо в умовах великих міст, де споживчий попит на продукти високий.
2. Папір та картон, які є упаковкою також газети, журнали, картонні коробки та інші паперові матеріали, що утворюються в побуті.
3. Полімери, які є пластикою упаковкою також пластикові пляшки, пакети. Пластик займає велику частину відходів через його поширене використання.

4. Скло, з якого складаються пляшки, банки, упаковки, що використовуються для зберігання продуктів та рідин.

5. Чорні метали у вигляді заліза, сталевих елементів (наприклад, з старих побутових приладів).

6. Кольорові метали (алюміній, мідь, бронза), які присутні в упаковках або старих електронних пристроях.

7. Текстиль, з якого зроблений старий одяг, тканини, що часто викидаються без можливості повторного використання.

8. Дерево, залишки дерев'яних виробів, меблі, упаковка.

9. Небезпечні відходи, такі як батарейки, акумулятори, ртутні лампи, електронні відходи (телевізійні кінескопи, старі електричні прилади), що потребують особливої уваги через їх токсичність.

10. Інші компоненти, якими є кістки, шкіра, гума, залишки після вилучення компонентів.

Фактори, що впливають на морфологічний склад ТПВ:

1. Джерелом утворення у різних типах житлових приміщень (наприклад, багатоквартирні будинки, приватні будинки) можуть утворюватися різні типи відходів.

2. Рівень благоустрою у районах з високим рівнем відходи можуть містити більше матеріалів, які можна переробити (наприклад, пластикові пляшки або картон).

3. Сезон року впливає особливо в літній період, коли кількість харчових відходів може зростати через сезонні продукти, фрукти та овочі.

4. Кліматичні умови мають вплив, тому що в жаркому кліматі більше відходів можуть утворюватися від органічних продуктів, що швидко псуються.

Метою визначення морфологічного складу є:

1. Впровадження ефективних технологій поводження з відходами для розробки технологій для сортування, переробки та утилізації різних компонентів ТПВ.

2. Прогнозування обсягів вторинної сировини, яка допомагає планувати обсяги вторинних матеріалів, які можуть бути перероблені, що сприяє зменшенню навантаження на довкілля.

3. Стратегії для зменшення обсягів відходів визначає, які матеріали найчастіше потрапляють у відходи, щоб зменшити їх кількість або знайти для них альтернативні способи використання.

Отже, морфологічний склад ТПВ є важливим інструментом для планування заходів з управління відходами, розвитку інфраструктури для їх переробки та утилізації, а також для збереження природних ресурсів і зменшення навантаження на навколишнє середовище.

Зміни в складі твердих побутових відходів (ТПВ) відображають економічний розвиток і зміну споживчих звичок населення. Порівняння складу відходів у різних країнах показує важливі тенденції, які залежать від рівня розвитку та економічних особливостей кожної країни.

1. Папір і картон в бідних країнах у ТПВ невеликий — близько 2,3%. Зато, у багатих країнах відбувається зростання вмісту паперу та картону до 32%. Це пояснюється тим, що в розвинутих країнах упаковка та паперові вироби широко використовуються для транспортування і зберігання продуктів. Переважна частина продукції продається в готовому вигляді або у фасованому вигляді, що підвищує кількість упаковок.

2. Органічні відходи у бідних країнах складають більшість відходів до 61%. У багатих країнах цей вміст органічних відходів знижується до 26%. Це зумовлено тим, що в розвинутих країнах більша частина продуктів продається в готовому для споживання вигляді, наприклад, як напівфабрикати, а відходи від переробки таких продуктів залишаються на виробництві, потрапляючи до категорії промислових відходів.

3. Скло і пластик у бідних країнах складає лише 5%, при цьому скла в два рази більше ніж пластику. В перехідних країнах цей показник зростає до 13%, з яких лише 2% — скло. Зручність і дешевизна пластикової тари стимулюють збільшення її використання. Тоді як в розвинутих країнах вміст скла у відходах зростає до 10%, оскільки знову з'являється тенденція до використання багаторазової скляної тари. У той же час, кількість пластику в ТПВ зменшується до 8%. Це пов'язано з екологічними ініціативами і зусиллями щодо збереження ресурсів і зниження використання одноразових пластикових виробів.

4. Текстиль, гума, шкіра у бідних країнах текстиль, гума та шкіра становлять до 7% ТПВ. Для перехідних країн цей вміст збільшується до 14%, хоча система збору таких відходів ще не достатньо ефективна. Тому більшість текстильних виробів, гуми та шкіри потрапляє на звалища. В розвинутих країнах відпрацьовані шини та зношений одяг збираються для переробки або для використання в якості дрантя, тому вміст текстилю, гуми та шкіри в ТПВ знижується до менше 5%.

5. Проблеми управління відходами в бідних країнах є основною проблемою з санітарно-гігієнічними аспектами, що пов'язані з відсутністю ефективних систем управління відходами, які призводить до забруднення навколишнього середовища. В розвинутих країнах основною проблемою стають питання ресурсозбереження та екології. Вони більше зосереджуються на переробці та утилізації відходів для зменшення навантаження на природні ресурси. Тоді як в перехідних країнах (як Україна) характерним є поєднання обох проблем – це одночасно проблеми з санітарним станом через недостатньо розвинену інфраструктуру управління відходами і потреба в ресурсозбереженні та екологічному впливі на довкілля (табл.1.2 ).

Таблиця 1.2 – Морфологічний склад ТПВ [10].

Компоненти	Вміст, відсотків за масою	Компоненти	Вміст, відсотків за масою
Папір, картон	20 – 30	Скло	3 – 8
Харчові відходи	28 – 45	Шкіра, гума	1 – 4
Деревина	1,5 – 4	Каміння, фаянс	1 – 3
Метали чорні	1,5 – 4	Пластмаси	1,5 – 5
Метал кольоровий	0,2 – 0,3	Зміт (<15 мм)	7 – 18
Текстиль	4 – 7	Інші	1 – 3

Для України морфологічний склад ТПВ представлений діаграмою рисунок 1.

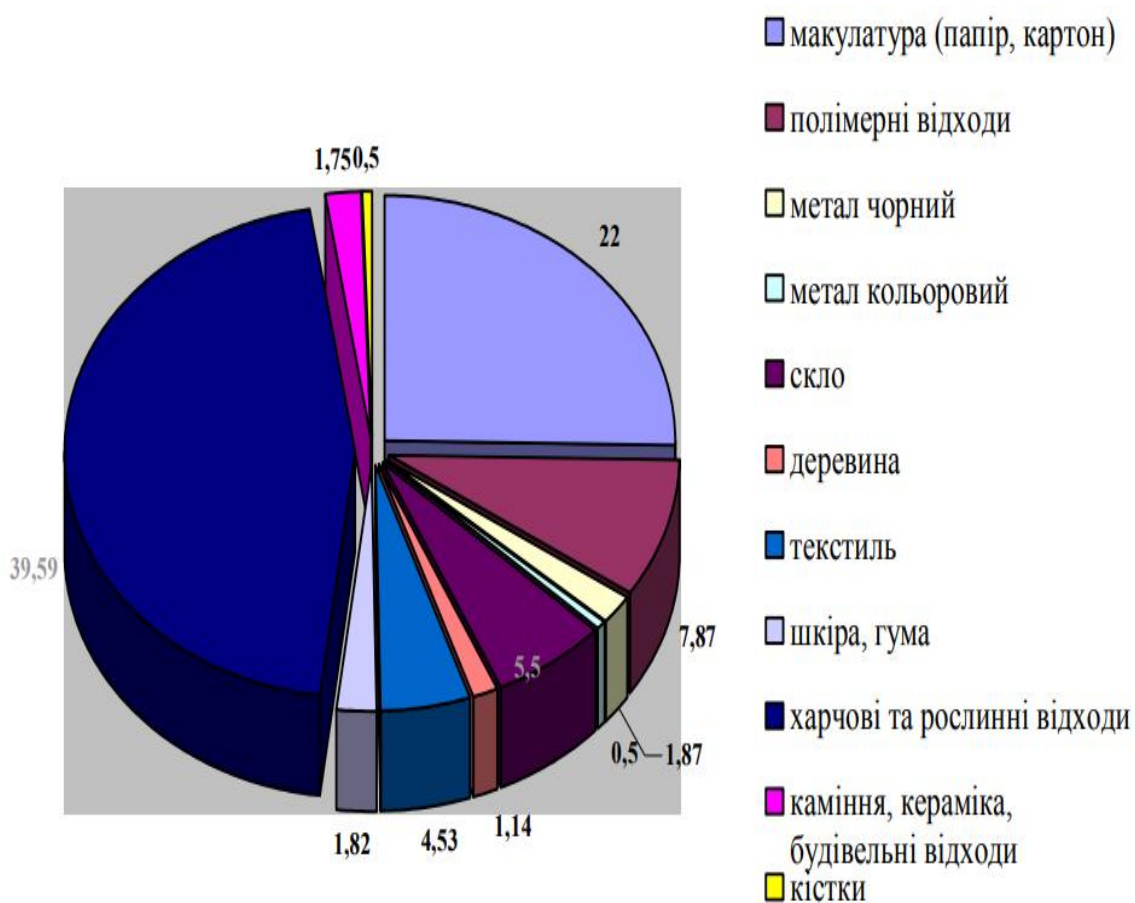


Рисунок 1.1 – Морфологічний склад ТПВ в Україні

Порівняння складу ТПВ в різних країнах дозволяє зрозуміти, як економічний розвиток і зміна споживчих моделей впливають на відходи. У розвинутих країнах акцент на збереженні ресурсів і екології сприяє зміні складу відходів у бік зниження органічних відходів і збільшення перероблюваних матеріалів, таких як скло, папір, картон. У країнах перехідного типу, як Україна, залишається необхідність одночасного вирішення проблеми гігієни і екологічного збереження ресурсів.

Хімічний склад твердих побутових відходів по кліматичних зонах представлені у таблиці.1.3. Він є досить мінливою характеристикою, тому завжди наводиться для розуміння хімізму речовин.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад ТПВ, у відсотках від сухої маси

Показники	Кліматична зона	
	середня	південна
Органічна речовина	56–72	56–80
Зольність	28–44	20–44
Азот загальний	0,9–1,9	1,2–2,7
Кальцій	2–3	4–5,7
Вуглець	30–35	28–39
Фосфор	0,5–0,8	0,5–0,8
Калій загальний	0,5–1	0,5–1,1

Тверді побутові відходи (ТПВ) є складним матеріалом, який характеризується різноманітним складом, що впливає на їх утилізацію та можливості переробки. Опис їх хімічного, фізичного та санітарно-бактеріологічного складу є ключовим для розробки ефективних технологій поводження з ТПВ.

### 1. Потенціал органічних компонентів ТПВ:

- для компостування, застосовують речовини з високим вмістом органічних речовин у ТПВ, що дозволяє отримувати компост із значними агрохімічними властивостями, що може бути використаний як добриво. Компостування зменшує об'єм відходів і сприяє утилізації органічних речовин. Але виникає проблема токсичності, тому що ТПВ є більш токсичними, ніж земна кора, через високий вміст шкідливих елементів, таких як хлор, фтор, бром, тому що ці елементи можуть виділяти токсичні сполуки при неправильній утилізації. І також наявність важких металів, таких як свинець, ртуть, кадмій, мідь, цинк, що накопичуються у відходах через електроніку, батарейки та інші промислові продукти.

2. ТПВ як техногенні родовища в яких міститься висока концентрація цінних компонентів, таких як корисні матеріали, зокрема метали (золото, срібло, платина, алюміній), які в кілька разів перевищують їх концентрацію в природній земній корі. Також полігони ТПВ розглядаються як джерело вторинної сировини, що може знизити потребу у видобутку природних ресурсів.

### 3. Основні властивості ТПВ:

#### Фізичні властивості:

- щільність характеризує кількість маси на одиницю об'єму. Вона змінюється залежно від типу компонентів у складі ТПВ і ступеня їхнього ущільнення;

- вологість відображає кількість води в ТПВ. Органічні відходи зазвичай мають високу вологість, що важливо враховувати під час компостування або термічної утилізації;

- зольність вказує на вміст неорганічних залишків після спалювання. Висока зольність впливає на ефективність енергетичного використання ТПВ.

- в'язкість впливає на поведінку відходів під час їх ущільнення та захоронення;

- компресійні властивості показують, як тиск змінює ступінь ущільнення відходів, що важливо для зменшення об'єму під час транспортування та зберігання.

Хімічні властивості:

- токсичність зумовлена присутністю важких металів і галогенів;  
- енергетична цінність залежить від складу відходів. Полімери, папір і картон мають високу теплотворну здатність, що дозволяє використовувати їх як джерело енергії.

Санітарно-бактеріологічні властивості характеризують відходи, що містять мікроорганізми, які можуть викликати інфекційні захворювання. Санітарна обробка, наприклад термічна утилізація, зменшує цей ризик.

4. Значення фізичних властивостей для переробки:

- Сортування обумовлено щільністю і розміром частинок, які впливають на ефективність механічного сортування;

- компостування враховує вологість і органічний склад, які визначають придатність відходів для цього процесу.

- спалювання потребує низької вологості, а висока енергетична цінність підвищують ефективність термічної обробки.

- захоронення призводять до щільності і компресійних властивостей, які впливають на об'єм відходів і термін експлуатації полігонів.

ТПВ — це не лише проблема утилізації, але й потенційне джерело ресурсів за умови правильного підходу. Високий вміст органіки дозволяє виробляти компост, а велика концентрація вторинних ресурсів може стати основою для видобутку матеріалів. Водночас токсичність та санітарні ризики потребують ретельного контролю за їх обробкою. Оптимальне використання фізичних і хімічних властивостей ТПВ сприятиме ефективному управлінню відходами та зменшенню їхнього впливу на довкілля.

## РОЗДІЛ 2.

### ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

#### 2.1 Методи утилізації органівмісних відходів

До речовин, що складаються з органічних речовин належать: побутові і промислові органівмісні відходи (папір, картон, текстиль, пакувальні матеріали, пластмаса); біомаса мулу та сирого осаду очисних споруд; некондиційні залишки сільського й комунального господарств, харчової та переробної промисловостей; вторинні продукти переробки деревини (тирса, стружка, листя), торфу, сапропелі (річкові й озерні)

Метою переробки органічних відходів є їх обробка з вилученням цінних компонентів, таких як вуглець (С), азот (N), фосфор (P) та інші мікроелементи, для подальшого використання.

Найбільш поширеним підходом до переробки органічних відходів є мікробіологічні процеси. Завдяки здатності мікроорганізмів та їх ферментів розкласти складні органічні сполуки, ці процеси забезпечують трансформацію природних і антропогенних полімерів у корисні продукти. Методи екобіотехнології застосовують для обробки вуглеводів, білків, жирів, рідких органічних відходів, рослинної біомаси, твердих побутових відходів (ТПВ), осадів стічних вод (ОСВ).

Основні методи переробки органічних відходів включають:

- повторне використання сільськогосподарської продукції;
- виробництво біопалива;
- повторне застосування водних ресурсів;
- непряме використання очищених стічних вод.

Наймасштабніші промислові мікробіологічні технології охоплюють:

- виробництво кормів, збагачених мікробним білком або білком одноклітинних організмів;
- силосування;
- компостування;
- анаеробне зброджування;
- біоконверсію в паливо (етанол, біогаз, отримання тепла).

Для переробки ТПВ використовуються методи вермикомпостування із застосуванням дощових черв'яків, компостування, захоронення на санітарних полігонах та полігонах-біореакторах, а також анаеробне зброджування в біореакторах. Кінцевою метою біотехнологічної обробки органічної фракції ТПВ є отримання корисних продуктів, зокрема добрив.

## **2.2 Методи та умови компостування**

У практиці промислового компостування застосовують різні методи, які відрізняються технологіями, рівнем механізації та ефективністю процесу. Кожен метод має свої особливості, переваги й недоліки, що впливають на вартість і кінцевий результат переробки відходів.

### **1. Компостування в буртах без примусової аерації.**

Органічні відходи укладають у довгі бурти (купи) на відкритому майданчику. Процес компостування відбувається за рахунок природної аерації (подачі повітря) через періодичне перемішування буртів. Перевагами є низька вартість, мінімальне використання техніки; простота організації процесу. Тоді як, недоліки укладаються в тривалому періоді компостування, складності контролю температури та вологості; низький ефективності у переробці великої кількості відходів.

### **2. Компостування в буртах із примусовою аерацією.**

У бурти подається повітря через спеціальну аераційну систему (труби, вентилятори). Аерація може бути природною або примусовою. Перевагами є

прискорення процесу компостування завдяки контролю над аерацією та більш рівномірний розподіл кисню. До недоліків відносять додаткові витрати на обладнання (системи аерації) та необхідність постійного контролю системи.

### 3. Компостування в установках з контрольованими умовами.

Процес компостування відбувається в закритих системах, таких як обертові бочки (відходи обертаються, забезпечуючи швидке перемішування та аерацію) та горизонтальні або вертикальні силосні вежі (компостування в багатокамерних ємностях із контролем температури, вологості та подачею кисню). Перевагами є високий ступінь контролю процесу (температура, вологість, аерація); швидке отримання готового компосту (2-4 тижні); мінімізація неприємних запахів. До недоліків відносять високу вартість обладнання та експлуатації, потребу у кваліфікованому персоналі для обслуговування системи.

### 4. Змішані системи.

Поєднання кількох методів компостування для досягнення оптимального результату. Наприклад, початковий етап може проходити в буртах із примусовою аерацією, а завершальний — у закритих установках. Це дуже гнучкий та ефективний процес компостування. Але він має високу вартість обладнання, технічного обслуговування та складність організації процесу.

Вибір оптимального методу компостування залежить від обсягу відходів, типу сировини, фінансових можливостей підприємства та необхідної якості.

Застосування спеціалізованої техніки для компостування значно підвищує вартість процесу, однак дозволяє досягти високого рівня ефективності та швидкості утилізації відходів. Важливо знайти баланс між вартістю технології та ефектом переробки, враховуючи потреби конкретного виробництва.

### 2.2.1. Умови компостування

У природних умовах органічна речовина поступово розкладається під впливом мікроорганізмів і безхребетних, утворюючи чорно-коричневий землястий матеріал — гумус, який є важливим компонентом родючих ґрунтів. Компостування базується на тих самих принципах, але значно прискорюється завдяки оптимізації та контролю ключових параметрів, таких як склад вихідної сировини, температура, вологість і рівень рН. Саме це вирізняє компостування від природного процесу розкладання.

Якість вхідних матеріалів, а також контроль біологічних і фізичних параметрів значно впливають на кінцеву якість компосту та мінімізацію експлуатаційних проблем на майданчиках для компостування. Компостну купу, створену відповідно до всіх правил, можна розглядати як інтерактивну біологічну та екологічну систему.

Основні технології промислової переробки харчових і садових відходів: рядкове компостування, компостування в закритих реакторах, анаеробна переробка.

Компостування базується на взаємодії трьох фаз: твердої (органічні відходи, що розкладаються), рідкої (волога всередині та зовні частинок), та газоподібної (повітря в проміжках між частинками). Ці фази є критично важливими для активності мікроорганізмів, які здійснюють процес розкладання. Основна мікробна діяльність відбувається на межі розділу цих фаз, при цьому мікроорганізми використовують лише розчинені поживні речовини, що знаходяться в рідкій фазі.

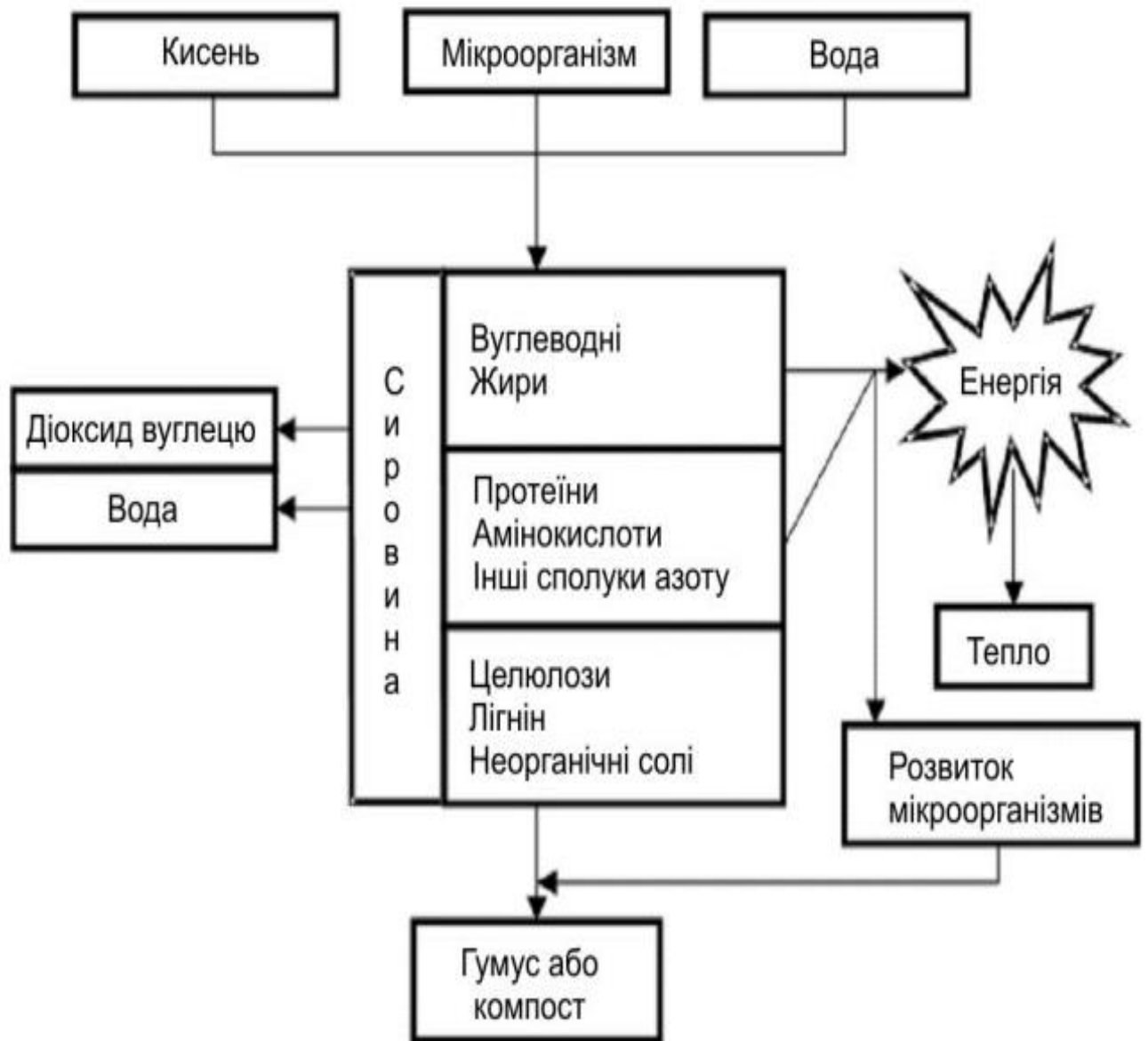


Рисунок 2.1 – Схема компостування

Процес аеробного компостування включає три ключові етапи:

1. Фаза деградації.

Вона починається одразу після накопичення органічних відходів, оскільки природні мікроорганізми, такі як бактерії, актиноміцети, гриби та найпростіші, вже присутні у сировині. У цій фазі аеробні мікроорганізми розкладають складні органічні сполуки, такі як вуглеводи та білки, до простіших речовин, вуглекислого газу і води. Цей процес супроводжується виділенням тепла, що підвищує температуру купи до понад 60 °С. Така

температура, підтримується протягом одного тижня, що сприяє знищенню патогенів і насіння бур'янів, забезпечуючи санітарну безпеку компосту.

## 2. Фаза трансформації.

На цьому етапі відбувається подальша переробка органічних речовин до більш стабільних речовин. Активність мікроорганізмів поступово знижується, температура стабілізується, а компост починає набувати однорідної структури.

## 3. Фаза синтезу або дозрівання.

Завершальний етап, під час якого компост стабілізується та дозріває. Утворюються складні гумусові сполуки, що значно підвищують якість кінцевого продукту.

Для підтримання сприятливих умов протягом аеробного компостування важливо забезпечувати доступ кисню шляхом регулярного перемішування купи або інших заходів аерації. Цей контроль дозволяє створити оптимальне середовище для мікроорганізмів, які здійснюють розкладання.

Приблизно через місяць після початку компостування процес сповільнюється, а температура знижується. У цей період у компостній купі починають домінувати гриби, що додають поверхні купи білий або сірий відтінок. Гриби розкладають білки і целюлозу. Протягом цієї фази необхідно регулярно контролювати та регулювати умови компостування, щоб забезпечити оптимальну активність мікроорганізмів.

Через приблизно вісім тижнів температура знижується до 30–40 °C, і купа переходить у фазу перетворення. У цей час компост заселяється безхребетними, такими як кліщі, багатоніжки, жуки, коловертки, дощові черв'яки, слимаки та равлики. Ці організми активно беруть участь у процесі деградації, подрібнюючи грубу органічну масу в розсипчасту ґрунтоподібну речовину. Однак на цьому етапі матеріал ще не є стабільним, і певні хімічні сполуки, такі як нітроти, можуть бути шкідливими для рослин, якщо компост наносити безпосередньо.

Компост вступає у фазу дозрівання, коли комахи поступово покидають кучу частково розкладених речовин. У цей період відбуваються хімічні та біологічні перетворення, які включають перехід нітритів у нітрати та зв'язування коротко ланцюгових гумінових речовин у стійкий, збагачений гумус. Тривалість дозрівання компосту залежить від температури та складу вихідних матеріалів, і зазвичай займає від 3 до 6 місяців.

Основні фактори, що впливають на процес компостування:

#### 1. Вміст вуглецю (C) та азоту (N)

Ці елементи є ключовими для росту та розмноження мікроорганізмів.

Роль вуглецю укладається в наступному. Органічний вуглець є джерелом енергії для мікроорганізмів. Його доступність залежить від природи матеріалу. Наприклад, вуглець у дрібній тирсі легше доступний, ніж у грубо подрібненій деревині чи кокосовій шкаралупі.

Роль азоту в тому, що азот потрібен для побудови білків і ферментів. Якщо азоту недостатньо, мікроорганізми не зможуть ефективно розщеплювати органічний вуглець.

Ідеальне співвідношення вуглецю до азоту (C:N) для початку компостування має становити 25:1 до 40:1 (25–40 частин вуглецю на 1 частину азоту на суху масу). Це співвідношення забезпечує оптимальні умови для швидкого розкладання органічного матеріалу.

#### 2. Змішування матеріалів

Оскільки точне визначення співвідношення C:N може вимагати складного лабораторного аналізу, на практиці використовують емпіричний підхід, який укладається в практичних спостереженнях, що "Зелені" відходи (багаті на азот), це свіжоскошена трава, кухонні відходи, гній, а "Коричневі" відходи (багаті на вуглець), це сухе листя, тирса, солома, картон.

Зазвичай починають з 1 частини "зелених" та 1 частини "коричневих" відходів. На основі спостережень за процесом та його продуктивністю можуть вноситися коригування.

### 3. Вплив дисбалансу C:N

- Високе співвідношення C:N (надлишок вуглецю) свідчить, що процес уповільнюється, мікроорганізмам бракує азоту для росту.

- Низьке співвідношення C:N (надлишок азоту) вказує, що може виділятися надмірна кількість аміаку, що спричиняє неприємний запах і втрату азоту.

Регулювання балансу між вуглецевмісними та азотовмісними матеріалами дозволяє оптимізувати процес компостування, забезпечуючи ефективний розпад органічних відходів.

Кисень у процесі компостування має важливе, якщо не головне значення. Мікроорганізми можуть розкладати органічні відходи двома способами:

1. Аеробно (за наявності кисню).
2. Анаеробно (у відсутності кисню).

Компостування — це аеробний процес, який проходить значно швидше та ефективніше, ніж анаеробне зброджування. Для забезпечення активності аеробних мікроорганізмів необхідно підтримувати достатній рівень кисню в компостній купі.

Методи забезпечення кисню в системі.

1. Перемішування купи. Регулярне перевертання матеріалу сприяє проникненню повітря і рівномірному розподілу кисню.

2. Активна вентиляція.

Використання вентиляторів для примусового продування або всмоктування повітря через купу. Цей метод дуже ефективний для великих компостних систем.

3. Пасивна вентиляція.

В основі лежить природне проникнення повітря в купу за рахунок дифузії. Ефективність пасивної вентиляції можна покращити за допомогою:

- перфорованих труб, встановлених у купі;
- вентиляційних отворів у стінах компостних бункерів.

При недостатньому доступу кисню відбуваються наступні наслідки.

Якщо надходження кисню обмежене:

- активність аеробних мікроорганізмів знижується, і процес компостування уповільнюється;

- у купі починають домінувати анаеробні мікроорганізми, які утворюють негативні метаболіти:

- сірководень ( $H_2S$ ), який має неприємний запах тухлих яєць.

- аміак ( $NH_3$ ), який спричиняє запах і втрату азоту.

Таким чином, забезпечення належного рівня кисню є ключовою умовою для компостування, перешкоджаючи утворенню шкідливих газів та підвищуючи якість кінцевого продукту.

Роль вологи у процесі компостування, є надважливою, тому що жодний біохімічний процес не відбувається без води.

Волога є важливим фактором для активності мікроорганізмів, оскільки поживні речовини для їхнього росту доступні лише в рідкій фазі матеріалу.

Оптимальний вміст вологи:

- ідеальний рівень вологи у компостній купі становить 40–60% за вагою.

- Надмірна вологість (>60%):

- уповільнює процес розкладання.

- викликає анаеробну деградацію, оскільки водою заповнюються повітряні порожнини, що обмежує доступ кисню.

- Недостатня вологість (<40%):

- Мікроорганізми стають менш активними через нестачу рідини, що ускладнює споживання поживних речовин.

В аеробних процесах потрібно контролювати вологість:

1. Захист від опадів та випаровування:

- покриття компостних куп:

- дахами для захисту від дощу та прямих сонячних променів;

- полотнами або мішками при відкритому компостуванні;

- компостні бурти слід проєктувати зі стрімкими схилами, щоб зменшити накопичення води під час опадів.

## 2. Тестування рівня вологості:

- Простий спосіб перевірки, це стиснути жменю компостного матеріалу.

Якщо виділяються кілька крапель рідини, вологість є оптимальною.

Наслідки відхилення рівня вологості:

- надмірна вологість сприяє анаеробним процесам, які утворюють небажані гази (сірководень, аміак) та уповільнюють розкладання.

- занадто низька вологість зупиняє процес компостування через нестачу активності мікроорганізмів.

Оптимальний рівень вологості забезпечує ефективне розкладання органічного матеріалу та високу якість кінцевого компосту.

Розмір та структура органічного матеріалу в компостуванні має певне значення.

Розмір частинок та структура матеріалу впливають на площу поверхні, доступну для діяльності мікроорганізмів, що визначає швидкість компостування.

Вплив розміру частинок

### 1. Дрібні частинки:

- підвищують загальну площу поверхні, що пришвидшує розкладання.

- важливі для матеріалів, які повільно розкладаються (деревина, кокосова шкаралупа).

- недоліками є надмірно дрібні частинки, які можуть зменшити проникність, обмежуючи доступ кисню та циркуляцію повітря. Це може сприяти анаеробним процесам.

### 2. Великі частинки:

- забезпечують кращу циркуляцію повітря в кучі завдяки утворенню порожнин.

- недоліками є зменшена площа поверхні, що уповільнює розкладання.

Оптимальна структура компостної кучи укладається у поєднанні частинок різного розміру, що дозволяє:

- максимізувати доступ мікроорганізмів до поживних речовин.
- дати необхідну циркуляцію повітря для підтримання аеробних умов.

Рекомендації для підготовки матеріалів для компостування:

1. Подрібнення матеріалу:

- деревина та інші важкорозкладаємі матеріали слід подрібнювати до помірної розміру (наприклад, тріски).

- уникати надмірного подрібнення, особливо у випадку вологої сировини, щоб запобігти ущільненню матеріалу.

2. Створення пористої структури:

- можна додавати грубі компоненти, такі як солома чи тріска, для покращення вентиляції.

Отже, оптимальний розмір частинок та структура компостного матеріалу сприяють ефективному розкладанню, забезпечуючи баланс між площею поверхні та вентиляцією. Це допомагає уникнути анаеробних процесів і забезпечити високу якість кінцевого продукту.

У процесі компостування не останню роль відіграє температура. Вона є ключовим фактором, що впливає на швидкість і ефективність компостування і визначається теплом, яке утворюється внаслідок мікробної активності у компостній купі.

Температурні фази компостування

1. Мезофільна фаза (до 40 °C):

- початковий етап, коли активно працюють мезофільні мікроорганізми.
- розкладаються прості органічні сполуки, такі як вуглеводи та білки.

2. Термофільна фаза (40–65 °C):

- найактивніший період, коли працюють термофільні мікроорганізми.
- високі температури сприяють:
- знищенню патогенів, личинок комах, насіння бур'янів.

- прискоренню розкладання целюлози, пектинових речовин, клітковини та інші складних біополімерів.

3. Фаза охолодження та дозрівання (нижче 40 °С):

- повертаються мезофільні мікроорганізми.
- завершуються біохімічні процеси, утворюється стабільний гумус.

Оптимальна температура

- ідеальний діапазон: 50–65 °С.
- температури вище 70 °С небезпечні для більшості мікроорганізмів, тому що уповільнюють або припиняють процес компостування.

На температуру впливає:

- Достатній рівень кисню, вологи, співвідношення вуглецю до азоту.
- Розмір купи: надто малі купи швидко втрачають тепло, тоді як дуже великі можуть перегріватися.

Методи контролю температури

1. Аерація:

- перемішування купи або забезпечення вентиляції для регулювання тепла.

2. Регулювання вологості:

- занадто сухий матеріал знижує мікробну активність.
- занадто вологий матеріал ускладнює аерацію, викликаючи перегрів або анаеробні процеси.

3. Створення оптимальних розмірів буртів:

- уникнення перегріву та надмірної втрати тепла.

Підтримання високих температур у межах 50–65 °С є ключовим для знищення шкідливих організмів та ефективного компостування. При цьому слід уникати перегріву, бо це зупинить процес.

Антибіотики та знезараження при компостуванні ТПВ

Процес компостування твердих побутових відходів (ТПВ) включає не лише розкладання органічних речовин, а й знезараження, яке є важливим

етапом для знищення патогенних мікроорганізмів. Одним з важливих аспектів цього процесу є роль антибіотиків, які виробляються мезофільними та термофільними мікроорганізмами.

Антогоністичні дії антибіотиків на біоценоз компосту:

- антибіотики, що продукують мезофільні та термофільні мікроорганізми, мають здатність пригнічувати розмноження патогенних мікроорганізмів, що сприяє їх загибелі.

- термофільні мікроорганізми активно розкладають органічні матеріали в умовах високих температур (понад 60°C), і їх активність призводить до утворення антибіотиків, які допомагають знезаражувати відходи.

- в процесі компостування термофільні мікроорганізми можуть частково відмирати або утворювати спори. При температурі 20-30°C, мезофільні мікроорганізми активізуються та розпочинають розклад більш стійких органічних сполук, таких як лігнін.

Стадії компостування ТПВ

1. Термофільна фаза:

- мікроорганізми активно розкладають органічні матеріали, утворюючи тепло. В процесі утворюються антибіотики, які знищують патогени.

- за високих температур (більше 65°C) знищуються патогени та насіння бур'янів.

2. Мезофільна фаза:

- після зниження температури (20-30°C) мезофільні мікроорганізми активізуються і беруть участь у розкладі стійких органічних сполук, таких як лігнін.

- мезофільні мікроорганізми ефективно розкладають складні органічні речовини.

В процесі компостування органічні сполуки не лише розкладаються, але й синтезуються в гумінові сполуки, які покращують якість компосту як органічного добрива.

Методи знезараження:

- аеробне знезараження при компостуванні ТПВ забезпечується завдяки активності мікроорганізмів на всіх етапах процесу.

- незараження може відбуватися як на відкритих майданчиках, так і в спеціальних біореакторах, таких як біобарабани на сміттєпереробних заводах, що дозволяють контролювати температуру і інші параметри процесу для досягнення ефективного знезараження.

Отже, компостування ТПВ є не лише процесом розкладу органічних матеріалів, але й ефективним методом знезараження відходів. Антибіотики, що продукуються мікроорганізмами за час компостування, знищують патогенні мікроорганізми і покращують якість компосту.

Хоча компостування є екологічно чистим і ефективним методом утилізації органічних відходів, цей процес має кілька суттєвих недоліків:

1. Затратність по часу:

Компостування займає значний час. Для того, щоб перетворити органічні відходи на компост, може знадобитися від кількох місяців до року, залежно від умов і методу компостування. Це значно збільшує час, протягом якого відходи перебувають у системі, і потребує постійного контролю.

2. Трудоемкість та багатоопераційність процесу:

Процес компостування потребує значних трудових ресурсів, оскільки включає кілька етапів: збирання та підготовку матеріалів, контроль за вологою, температурою і вентиляцією купи, перемішування та інші операції. Крім того, необхідно постійно контролювати умови, щоб забезпечити правильний хід процесу.

3. Наявність виробничих площ:

Для організації компостування потрібні значні площі для розміщення компостних куп або спеціальних контейнерів. Це може стати проблемою в густонаселених районах або на малих територіях, де відсутні відповідні умови для розміщення великих обсягів органічних відходів.

#### 4. Забруднення середовища:

Якщо процес компостування не контролюється належним чином, це може призвести до забруднення навколишнього середовища. Неправильне компостування може викликати неприсмний запах, поширення патогенних мікроорганізмів або забруднення ґрунтів і водних джерел.

На промисловому рівні в Україні компостування органічних побутових відходів ще не впроваджене у широкому масштабі. Однак багато громадян активно займаються компостуванням на територіях своїх приватних будинків або влаштовують домашні компостери навіть в квартирах. Цей процес дозволяє зменшити обсяги відходів, отримувати цінне добриво і знижувати вплив на довкілля. Але для того, щоб компостування стало ефективним на національному рівні, потрібно вирішити питання впровадження цієї практики на рівні міських комунальних систем, для збору органічних відходів та їх переробки.

#### **2.2.2 Метод польового компостування**

Польове компостування є одним із найпростіших методів утилізації та катаболізму ТПВ. У той час як процес знешкодження на звичайних полігонах може тривати від 50 до 100 років, польове компостування дозволяє досягти цього за 6–18 місяців.

Компостування – це багатостадійний екзотермічний біологічний процес. У результаті розкладання органічних речовин, які легко піддаються гниттю, утворюються гумінові кислоти, які добре засвоюються рослинами. В результаті формується гумус – основний компонент ґрунту. Процес утворення компосту базується на амоніфікації, що здійснюється аеробними бактеріями. Амоніфікація є розкладанням органічних речовин ТПВ із виділенням аміаку, через що до 20% органічних речовин (за масою) втрачається.

В маленьких містах за умови наявності поблизу вільних територій, для переробки ТПВ найчастіше застосовують метод польового компостування.

За умови правильного організування процесу польового компостування, як і на заводах із переробки ТПВ, отримують якісний компост, забезпечуючи захист ґрунту, атмосфери, а також ґрунтових і поверхневих вод від забруднення.

Для ефективного розкладання органіки, яке активується аеробною мікрофлорою, необхідний постійний доступ кисню та відведення вуглекислого газу. Накопичення вуглекислого газу знижує окислювальний потенціал і гальмує процес. Тому важливо дотримуватись оптимального співвідношення вуглецю до азоту (C:N=25:30). У процесі компостування маса органічних речовин зменшується приблизно на 20%.

Компостування твердих побутових відходів (ТПВ) здійснюється на спеціально облаштованих майданчиках, які складуються поблизу полігонів. Найпростіша технологія передбачає розташування відходів у штабелі, які розміщуються паралельними рядами з проїздом між ними шириною 3 метри. Ширина основи та висота штабелів залежать від кліматичних умов.

Для запобігання розмноження мух, неприємних запахів та зменшення теплообміну між штабелями і повітрям, їх покривають шаром землі 15–20 см. У штабелях, закладених навесні або влітку, протягом перших 15–20 днів внаслідок аеробного компостування температура самостійно підвищується до 60–70°C. Далі, упродовж 2–4 місяців, температура підтримується на рівні 40–45°C, а потім поступово знижується до 30–35°C. Процес "горіння" завершується за 10 місяців, і температура стабілізується на рівні 14–18°C, зберігаючись такою до наступної весни.

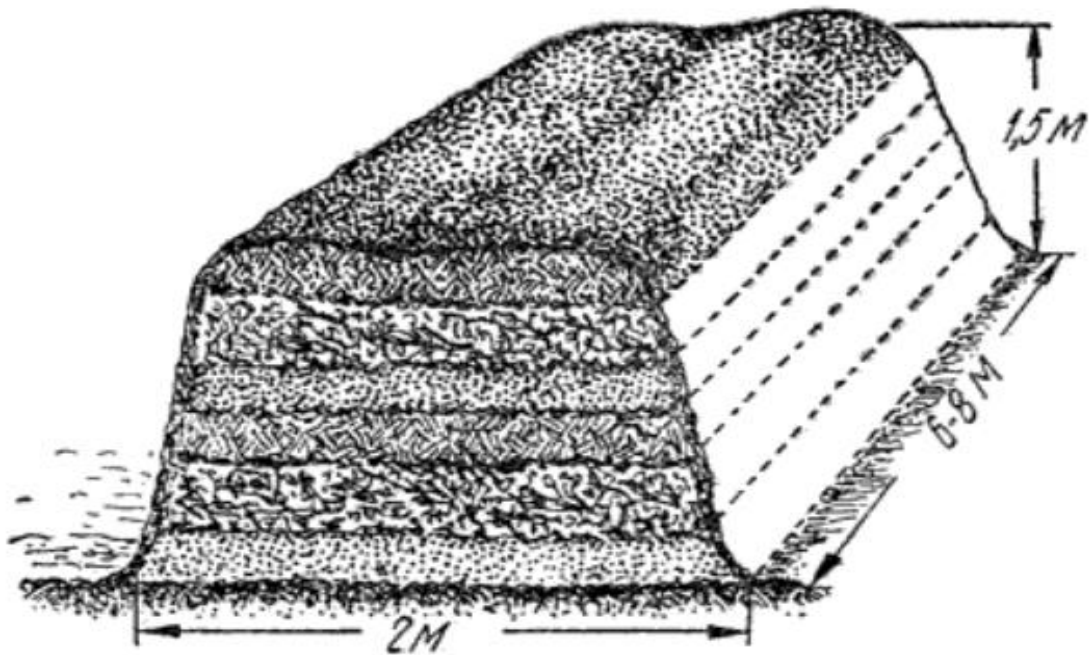


Рисунок 2.2 – Штабель компостування

Тривалість компостування твердих побутових відходів (ТПВ) у штабелях зазвичай становить від 12 до 18 місяців. Однак цей термін можна суттєво скоротити за рахунок регулярного перелопачування та зволоження штабелів. У процесі компостування значно знижується вологість відходів, тому для активізації біологічних процесів необхідно проводити примусову аерацію в поєднанні зі зволоженням матеріалу. Готовий компост очищається від баластних фракцій, таких як скло, каміння та метал, за допомогою механізованих сортувальних установок.

Підготовка відходів для польового компостування передбачає видалення неорганічних домішок шляхом механічного або ручного сортування. Типова сортувальна установка включає магнітний сепаратор, віброгрохот і транспортери. Альтернативою є попереднє дроблення ТПВ перед укладанням у штабелі за допомогою дробарок, що дозволяє збільшити вихід компосту і зменшити обсяги відходів.

Більш досконала технологія польового компостування реалізується на спеціальних секційних майданчиках із водонепроникною основою, наприклад

бетонними плитами. Такі майданчики обладнані грейферним краном для формування та перелопачування штабелів, а також дробильно-сортувальним відділенням. Воно включає приймальний бункер із пластинчастим живильником, магнітний сепаратор для відбору металів, систему стрічкових транспортерів, циліндричний гуркіт і дробарку для компосту.

Для забезпечення аерації у штабелях прокладаються перфоровані повітропроводи, підключені до вентиляторів. Такі майданчики також оснащені системами поливу та пожежогасіння. Для утилізації великої кількості баластних фракцій можуть використовуватися сміттєспалювальні або піролізні установки низької продуктивності; у разі їх відсутності залишкові відходи транспортуються на полігон.

Для невеликих міст із населенням до 200 тисяч осіб такі майданчики є ефективною альтернативою полігонам для ТПВ. Компостування максимально відповідає природному кругообігу речовин, сприяючи екологічному знешкодуванню та утилізації відходів.

Біологічне знезараження твердих побутових відходів (ТПВ) за час компостування відбувається у кілька етапів. У присутності вологи та кисню починають розмножуватися аеробні бактерії. Спочатку активізується група мезофільних аеробів, які розщеплюють легкодоступні органічні сполуки, вивільняючи енергію. Це спричиняє нагрівання ТПВ до 20–35°C.

Після початкового розігрівання середовище стає сприятливим для термофільних аеробних бактерій, які здатні розкласти стійкіші органічні сполуки. Під час цього процесу температура ТПВ підвищується до 60°C і більше, що забезпечує знищення патогенних мікроорганізмів. Наприклад, збудники туберкульозу гинуть при 55–60°C за 5–60 хвилин, тифу – за 5–30 хвилин, дизентерії – за 60 хвилин, а холери – за 60–80 хвилин. Таким чином, відбувається знезараження біопалива та компосту.

На наступному етапі температура поступово знижується, кількість термофільних бактерій скорочується, і вони переходять у спороподібний стан.

У середовищі знову розмножуються мезофільні мікроорганізми, що свідчить про деструкцію органічних речовин. На цьому етапі починають працювати амоніфікуючі мікроорганізми.

На завершальній фазі компостування активізується мікробіота, що розкладає целюлозу. Для здійснення компостування необхідно дотримуватися таких умов: вологість ТПВ повинна становити 50–60% за вагою, частка харчових відходів – не менше 25–30%, а співвідношення вуглецю до азоту (C:N) – 25:30.

За кордонний досвід переробки ТПВ у компост доводить, що багаторічне внесення такого компосту покращує властивості ґрунту, зокрема накопичення органічної речовини, підвищення водостійкості структурних агрегатів і поліпшення агрохімічних та біологічних характеристик.

При польовому компостуванні ТПВ, розвантажують на рівну площадку. Далі за допомогою бульдозера, грейферного крана або спеціалізованих машин формуються штабелі, де відбувається аеробне компостування. Висота штабелів може перевищувати 2,5 м, а між ними залишають проїзди шириною 3–6 м рис.2.3-2.6.



Рисунок 2.3 – Польове компостування ТПВ

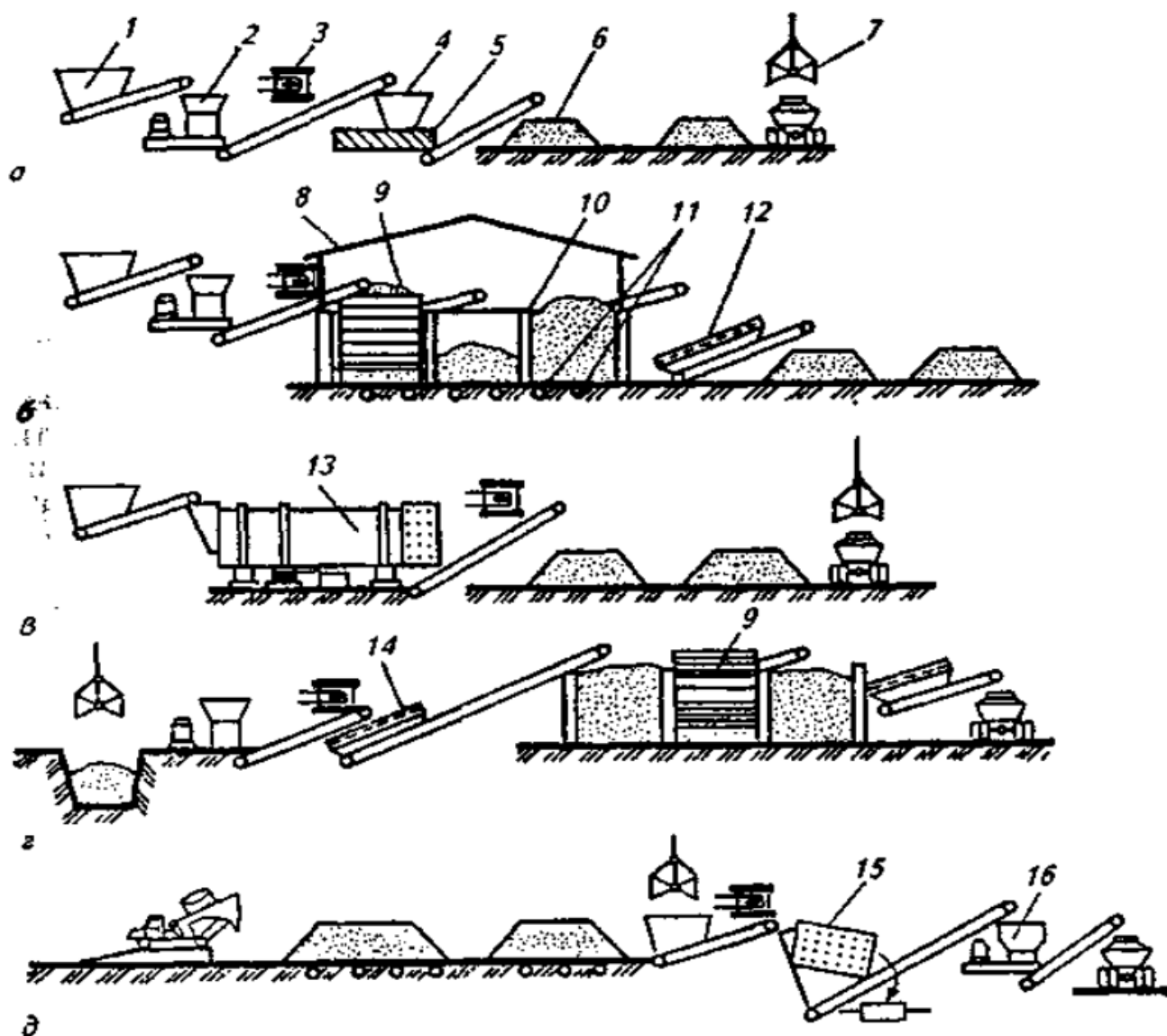


Рисунок 2.4 – Схема споруд польового компостування ТПВ

а – спільна переробка ТПВ й ОСВ; б - компостування ТПВ у дві стадії; в – схема, з попередньою переробкою ТПВ в біобарабані; г – схема з попереднім подрібленням, просіванням і компостуванням у відкритих лотках, поділених на відсіки або секції; д - компостування не дроблених ТПВ; 1 – прийомний бункер із пластинчастим живильником, 2 – дробарка для ТПВ; 3 – підвісний електромагнітний сепаратор; 4 – подача ОСВ, 5 – змішувач; 6 – штабеля компосту; 7 – грейферний кран; 8 – закрите приміщення для першої стадії компостування; 9 – рухлива установка для перелопачування і перевантаження компосту, 10 – поздовжні підпирні стінки; 11 – аератори; 12 – контрольний гуркіт для компосту; 13 – біобарабан; 14 – первинний гуркіт для здрібнених ТПВ; 15 – циліндричний контрольний гуркіт; 16 – дробарка для компосту.



Рисунок 2.5 – Польові штабелі



Рисунок 2.6 – Польовий майданчик

Для запобігання розсіюванню легких фракцій відходів, поширенню неприємного запаху та розмноженню мух поверхню штабелів покривають шаром торфу, зрілого компосту або ґрунту товщиною близько 0,2 м.

Тривалість деструкції ТПВ на майданчиках компостування залежить від типу обладнання, технології та сезону укладання штабелів і варіюється протягом 1 - 6 місяців.

Категорія "рядкове компостування" може бути поділена на підкатегорії, одна з яких — компостні ряди, що перемішують машинами для забезпечення доступу кисню. Характеристики такого процесу:

- Продуктом є: компост.
- Витрати на створення компосту (США, 2020 р.): \$30–80/т.
- Тривалість компостування: близько 3 місяців.
- Температурний діапазон: 10–55 °С, що забезпечує знищення патогенних мікроорганізмів, личинок та насіння бур'янів.

Перевагами цього методу є низькі витрати.

Недоліки компостування є механічне перемішування.

- Неможливість ефективної переробки великої кількості тваринних відходів (багатих азотом).

- Необхідність використання значного обсягу матеріалів, багатих на вуглець (листя, гілки).

- Анаеробні зони у рядах через недостатню аерацію, що спричиняє появу неприємного запаху та викиди метану.

- Забруднення компосту і порушення розкладання через недотримання співвідношення азоту та вуглецю чи надмірну кількість опадів.

- Вимивання корисних речовин, що негативно впливає на якість компосту.

Компостування з аерацією через труби

- Продукт: компост.

- Тривалість:  $\approx 3$  місяці.
- Температурний діапазон: 10–55°C.

Перевагою є можливість переробки великих обсягів харчових відходів. Недоліком є вищі витрати порівняно з механічним перемішуванням.

Після активної фази компостування настає стадія дозрівання, яка триває 3–6 тижнів. Після цього матеріал просіюється для видалення сторонніх домішок, таких як пластик чи скло.

### 2.2.2 Компостування в закритих реакторах

Для швидкого компостування харчових відходів застосовують закриті реактори – біобарабани.

Фази аеробного компостування в біобарабанах це зручний і ефективний спосіб переробки органічних відходів.

#### 1. Фаза підвищення температури

Характеризується активним розмноженням мезофільних мікроорганізмів (оптимальна температура 25–30°C).

- відбувається розклад легкої органіки (цукри, органічні кислоти, білки), що супроводжується виділенням теплової енергії;

- температура маси підвищується до понад 50°C.

#### 2. Стаціонарна фаза високих температур

- активізується термофільна мікрофлора, що посилює виділення тепла;

- процеси переробки ТПВ прискорюються (збільшення температури на кожні 10°C пришвидшує мікробіологічні реакції у 2–3 рази);

- органічні речовини інтенсивно перетворюються в компост.

#### 3. Фаза зниження температури

- температура поступово падає через вичерпання легко розкладних органічних сполук;

- термофільні бактерії переходять у стан спор або частково відмирають.

- знову активізуються мезофільні мікроорганізми, які розкладають складні органічні речовини (клітковина, лігнін).

Особливістю процесу в біобарабанах є утилізація ТПВ, яка супроводжується не лише розпадом органічної речовини, але й синтезом гумінових сполук, що підвищують якість органічного добрива. Протягом всього процесу вміст органіки в матеріалі знижується на 16–26% від сухої маси.

Для ефективного знешкодження мікробіоти необхідна експозиція маси при температурі понад 50°C не менше 12 годин. Тривалість знешкодження відбувається за температури ТПВ вище +5°C процес займає 2 доби, а при температурі нижче +5°C — до 3 діб.

Джерелом енергії для бактерій є легкорозкладні органічні сполуки, зокрема цукри, органічні кислоти та білки, що переважно містяться в харчових відходах.

Особливостями біотермічного аеробного компостування в біобарабанах для біотермічного процесу є мікрофлора, яка вже присутня в ТПВ за рахунок:

- активізації життєдіяльності мікрофлори забезпечується;
- перемішуванням відходів під час обертання біобарабанів;
- аерацією маси (подача повітря в об'ємі 0,2–0,6 м<sup>3</sup> на 1 кг ТПВ).

Основний режим обертання зі швидкістю 1,1 об/хв для забезпечення завантаження, перемішування і вивантаження матеріалу.

Під час аеробного процесу розкладання виділяються: діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>) та вода (H<sub>2</sub>O). У разі недостатньої аерації або тривалого зберігання ТПВ до завантаження в біобарабан можуть виникати анаеробні зони. Анаеробний розклад супроводжується виділенням індолу, скатолу та сірководню (H<sub>2</sub>S). Інтенсивне перемішування та подрібнення сприяє ліквідації цих зон.

На процес впливає аерація, вона знижує вологість матеріалу до оптимального рівня (≤50%), що полегшує:

- подальше просіювання;

- сепарацію;
- дроблення компосту.

На процес впливають сезонні коригування подачі повітря:

- зимовий період: мінімальна подача повітря (0,2–0,3 м<sup>3</sup> на 1 кг ТПВ) для збереження тепла.

- осінній період: збільшення подачі повітря до 0,3 м<sup>3</sup> на 1 кг ТПВ.

Щільність маси змінюється в процесі проходження процесів на біобарабанах:

- початкова щільність ТПВ: 160–230 кг/м<sup>3</sup>.
- щільність на виході після 2-х діб: до 800 кг/м<sup>3</sup>.
- середня щільність маси в біобарабані: 540 кг/м<sup>3</sup>.
- щільність після тривалого перебування: до 1000 кг/м<sup>3</sup>.
- при вивантаженні маса стає більш пористою, а щільність падає до 500 кг/м<sup>3</sup>.

Основні переваги технології заключаються в ефективному розкладанні органічної фракції ТПВ, підвищенні щільності маси, що сприяє компактності кінцевого продукту, мінімізації запахів і викидів метану завдяки аерації та інтенсивному перемішуванню.

Використання біобарабанів забезпечує швидке розкладання органічної фракції ТПВ, що робить її ефективною для переробки великих обсягів відходів із різним складом.

Процес деструкції ТПВ у біобарабанах відбувається при повній механізації процесу і автоматизації.

Основний принцип процесу укладається в біотермічному розкладанні відходів і відбувається завдяки розмноженню термофільних мікроорганізмів в умовах аерації.

Біотермічний процес характеризується:

1. Нагріванням маси

- органічні сполуки розкладаються, виділяючи тепло;

- температура досягає 60°C, що забезпечує знищення хвороботворних мікроорганізмів та загибель яєць гельмінтів, личинок і лялечок мух.

2. Розкладанням відходів:

- патогенні організми та шкідливі біоагенти повністю знищуються.

Завантаження та розвантаження біобарабану відбувається щодня при завантаженні свіжими відходами на мінімум  $\frac{1}{2}$  корисного об'єму. Одночасно відбувається вивантаження з іншого кінця барабана. Свіжі відходи потрапляють у середовище з уже активним біотермічним процесом, що скорочує цикл компостування до 1 доби.

Робоча здатність біобарабана характеризується продуктивністю до 34 тис. тонн/рік (рис 2.7). Основні переваги технології заключаються в:

1. Швидкому розкладанні та скороченні часу компостування завдяки ефективному середовищу для термофільних мікроорганізмів.

2. Знищенні патогенів, що забезпечує безпечність кінцевого продукту.

3. Механізації, що мінімізує трудові витрати та покращує контроль за процесом.

4. Високій продуктивності.

Ця технологія є сучасним підходом до утилізації органічної фракції ТПВ з отриманням безпечного компосту.

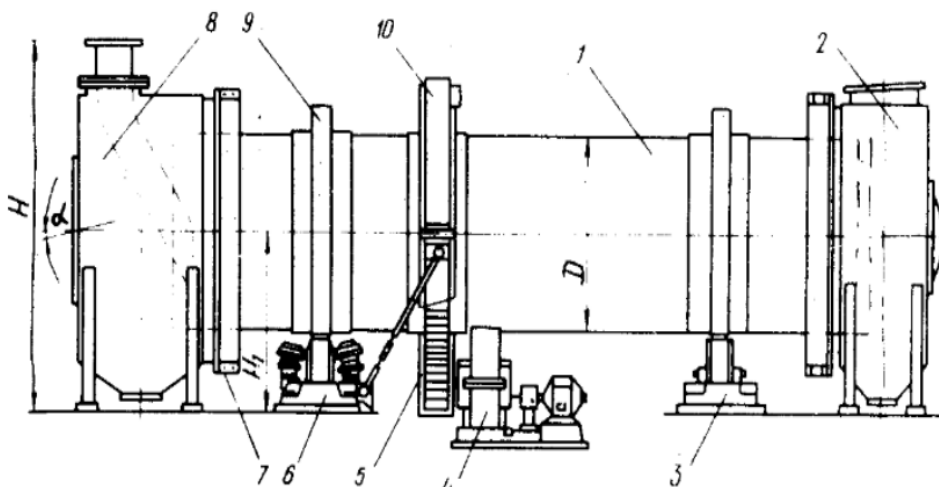


Рис. 2.7 – Конструкція барабана

Основні функції біобарабану та його переваги:

1. Забезпечення біотермічного процесу: біобарабан підтримує необхідну температуру та аерацію для ефективного компостування ТПВ.
2. Механічне перемішування: завдяки постійному обертанню, біобарабан забезпечує рівномірне перемішування відходів, що сприяє більш швидкому розкладу органічних матеріалів.

Біобарабан має параметри та технічні характеристики:

- розміри відсіку зазвичай 2 м в діаметрі.
- кисень подають для забезпечення аерації.

Технічні характеристики:

- продуктом на виході є компост.
- тривалість компостування за активну стадію: 1-3 тижні, до стадії визрівання 3-6 тижнів (рис.2.8).



Рисунок 2.8 – Компостер – реактор для швидкого компостування харчових відходів

Переваги:

1. Швидкість процесу компостування триває швидше.
2. Економія площі підтверджує, що метод не вимагає великої території для компостування, що є важливим в умовах обмеженості земельних ресурсів.

3. Більша кількість перероблених відходів в біобарабані здатні обробляти більшу кількість ТПВ, ніж традиційне рядкове компостування.

4. Контроль запаху відбувається завдяки ефективній аерації, тому не виникають проблеми з запахами.

5. Хороша аерація, сприяє процесам аерації, які дозволяють уникати утворення анаеробних ділянок і забезпечують ефективне розкладання органічних відходів.

6. Вища вартість біореактора порівняно з рядковим компостуванням, метод біобарабанів є дорожчим.



Рисунок 2. 9 – Готовий продукт – компост

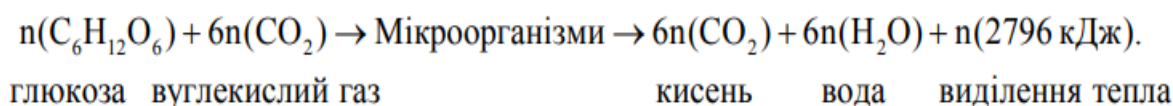
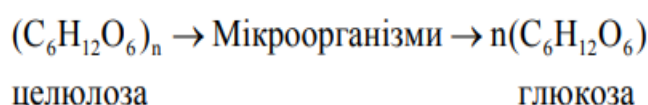
Враховуючи переваги біобарабанів у швидкості процесу, зручності та ефективності аерації, цей метод є найбільш підходящим для переробки ТПВ в умовах обмежених земельних ресурсів та високих вимог до контролю запаху та утилізації відходів.

## РОЗДІЛ 3

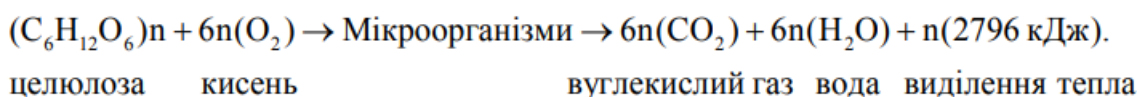
### МЕХАНІКО-БІОЛОГІЧНА ПЕРЕРОБКА ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ

#### 3.1 Біорозкладання органічних відходів

Розкладання органічних забруднень є найбільш екологічно доцільними і економічно ефективними. Аеробні біохімічні реакції, що протікають при компостуванні, мають вигляд:



Сумарна реакція має вигляд:



Целюлоза окислюється до вуглекислого газу і води в аеробних умовах і виділяє 2796 кДж енергії на 1 моль глюкози.

В результаті такого процесу відходи перетворюються на компост.

Цей підхід сприяє поверненню відходів у природний кругообіг речовин, забезпечуючи їх знешкодження. Крім того, під час переробки створюються умови, що знищують більшість хвороботворних мікроорганізмів, яйця гельмінтів і личинки мух, роблячи процес екологічно безпечним та ефективним. Те що природа робить роками і на території України ми бачимо цей ефект у вигляді чорноземного ґрунту, то за допомогою технологічних прийомів можна зробити за сезон або і скоріше.

На даний час велику кількість побутових і промислових відходів обробляють біологічними способами. Для цього використовується процеси окислювання, здійснюване в аеротенках, біофільтрах і біологічних ставках.

Мікроорганізми, як редуценти по різному проводять деградацію органічних речовини, що входять у відходи. Кінцеві метаболіти вступають в природний кругообіг речовин в природі за рахунок деструкції відходів.

Мікробіологічні процеси, що відбуваються в компостах, виготовлених з різної органічної сировини залежать від хімічного складу субстрату і видового складу біоти. Компостування – це екзотермічні біохімічні процеси окислення, в яких органічний субстрат в результаті аеробної деструкції популяцією мікроорганізмів при підвищеній вологості. Спонтанна популяція мікрофлори визначає якість і швидкість дозрівання компостів [9].

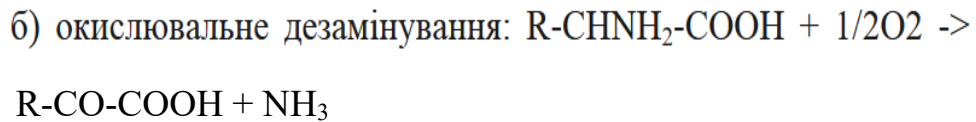
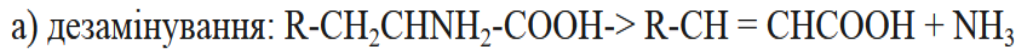
В процесі біодеструкції білків, вуглеводів, ліпідів, нуклеїнових кислот, целюлози, пектинових речовин, глікогену і інших біополімерів за певних умов (температурі, вологості, концентрації органічних речовин, рН, концентрації токсинів) виділяються 2-4 види мікроорганізмів. Мікробіологічні процеси поділяються на 4 стадії:

1. мезофільна;
2. термофільна;
3. охолодження;
4. дозрівання.

В процесі мезофільної стадії мікробіота починає швидко розмножуватися, температура суміші поступово підвищується до 40° С і змінюється рН середовища у кислу зону за рахунок утворення органічних кислот [25].

При дисиміляції амінокислот мікробіотою *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium sporogenes* азот переходить у аміак (це процес амоніфікації (мінералізації) азоту), а з сірки, що міститься в білках утворюються проміжні сірковмісні метаболіти [9]. Основні напрями

внутрішньоклітинного або позаклітинного катаболізму амінокислот можуть здійснювати такі процеси:



В процесі дезамінування амінокислот утворюється аміак, який іншими видами мікроорганізмів утилізується в сечовину, або інші сполуки, інша група амінокислот в процесі декарбоксилювання перетворюється на амін і вуглекислий газ.

Вуглець слугує джерелом енергії для мікроорганізмів, тоді як азот необхідний для побудови клітинних структур. Оптимальне співвідношення вуглецю та азоту (C:N) становить 30:1. Якщо це співвідношення на початку процесу значно перевищує 30:1, компостування проходить повільно через нестачу азоту для мікроорганізмів. Якщо ж співвідношення C:N нижче від оптимального, надлишковий азот не використовується і виділяється у формі аміаку.

Досягнення оптимального балансу C:N сприяє активному розвитку бактерій та інших мікроорганізмів, мінімізуючи втрати азоту та забезпечуючи ефективний процес компостування.

Зміна рН під час компостування є наслідком хіміко-мікробіологічних процесів. Аміак, що утворюється в результаті окиснення органічних речовин, поступово перетворюється: спочатку в азотисту кислоту, а потім в азотну. Цей

процес, відомий як нітрифікація, забезпечується діяльністю бактерій родів *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis* та *Nitrosolobus*.

Нітрифікація не лише сприяє стабілізації азотних сполук, але й впливає на кислотно-лужний баланс середовища, що є важливим фактором для успішного перебігу процесу компостування.

Під час компостування близько 40% маси органічної речовини втрачається у вигляді вуглекислого газу та води, що призводить до підвищення зольності кінцевого продукту.

Азотисті сполуки, зокрема білки, що містяться у твердих виділеннях і підстилці, розкладаються з утворенням аміаку. Цей процес відбувається досить повільно, оскільки в умовах значної кількості вуглецевих сполук утворений аміак повністю використовується мікроорганізмами для їхнього розвитку.

Коли температура суміші перевищує 40 °С, компостування переходить із мезофільної стадії до термофільної. У результаті такого переходу температура матеріалу може досягати 60 °С, що сприяє ефективнішому розкладанню органічної речовини та знешкодженню патогенів.

Під час термофільної фази компостування швидко розкладаються субстрати, такі як цукри, крохмаль, білки та жири. Менш стійкі субстрати підтримують високу активність термофільних мікроорганізмів, тоді як більш стійкі поступово знижують їхню активність. У цей період жири практично повністю розкладаються, а лігноцелюлоза перетворюється на гумусоподібні речовини з високою катіоннообмінною ємністю. Температура досягає максимуму, коли тепловиділення дорівнює тепловтратам.

Компостування також забезпечує знезараження від патогенних і умовно-патогенних мікроорганізмів, таких як кишкова паличка, стафілококи та *Salmonella Dublin*. Це досягається завдяки біотермічним і біолітичним процесам, які ефективно знешкоджують тверді побутові відходи (ТПВ), гній великої рогатої худоби (ВРХ) та пташиний послід.

Після температурного піку розпочинається стадія охолодження, під час якої рН поступово знижується, тепловиділення сповільнюється, а температура зменшується до рівня навколишнього середовища. Перші три стадії компостування (мезофільна, термофільна та охолодження) тривають кілька днів або тижнів залежно від системи, тоді як заключна стадія — дозрівання — займає кілька місяців.

Під час дозрівання відбуваються складні реакції між залишками лігніну та білками відмерлих мікроорганізмів, що призводить до утворення гумінових кислот. Для оцінки ступеня дозрівання часто використовують відношення  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ : зі зростанням вмісту нітратів і зниженням солей амонію можна визначити завершення процесу компостування.

Деякі виробники компосту додають до суміші сухий ґрунт, щоб зменшити вологість і знизити виділення аміаку, особливо за умови низького співвідношення вуглецю до азоту. Для забезпечення оптимального співвідношення C:N (30:1) найефективніше використовувати целюлозу. Сухий ґрунт також додають для нейтралізації кислотності суміші, проте його надмірна кількість може погіршити проникність повітря і вплинути на досягнення оптимальної температури компосту.

Фізико-хімічні процеси і мікробіологічні перетворення, що відбуваються під час обробки гною, мають важливе практичне значення. Зокрема, корозія конструкційних елементів та обладнання пов'язана зі специфічними іонними реакціями, де ключову роль відіграють сульфіді, сульфати, аміак та вуглекислота.

Недотримання техніки безпеки або нехтування зовнішніми умовами призводить до утворення газоподібних речовин, таких як сірководень, аміак, аміни, меркаптани та нижчі жирні кислоти. Ці сполуки спричиняють різкий запах і становлять загрозу для здоров'я людини та тварин.

Всі процеси, що відбуваються під час зберігання та переробки органічної сировини, зокрема гною, є результатом діяльності мікроорганізмів. Видовий

склад мікробного угруповання змінюється залежно від умов компостування. Ці процеси взаємопов'язані та нероздільні, а їх вивчення є ключем до розуміння перетворень і розробки методів регулювання компостування.

### **3.2 Технологія механіко-біологічного утворення компосту**

Метод механізованого біотермічного компостування почав використовуватися в світовій практиці ще у 20-х роках XIX століття, коли було доведено можливість переробки твердих побутових відходів (ТПВ) в аеробних умовах за 20–30 діб. У 30-х роках були створені біотермічні барабани, які зробили аеробне біотермічне компостування однією з провідних промислових технологій переробки ТПВ.

Сьогодні в багатьох європейських країнах, зокрема у Франції, Італії, Німеччині та Нідерландах, працюють заводи, що використовують технологію аеробного біотермічного компостування. Завдяки комплексним технологічним заходам у компості можна нормалізувати вміст мікроелементів, зокрема солей важких металів, а також вилучити лом чорних і кольорових металів із ТПВ.

Для будівництва заводу з механічної переробки ТПВ у компост необхідно забезпечити такі оптимальні умови:

- наявність гарантованих споживачів компосту в радіусі 20–50 км;
- розміщення заводу в межах міста на відстані до 15–20 км від центру збору ТПВ;
- обслуговування населення чисельністю не менше 300 тисяч осіб.

Під час підготовки відходів до компостування близько 25–30% матеріалів не підлягає переробці. Такі відходи або спалюють на компостних заводах, або піддають піролізу для отримання теплової енергії чи пірокарбону, який використовується в металургії, або вивозять на полігони для захоронення.

Комплекс технологічних підходів сприяє нормалізації вмісту в компості макро- і мікроелементів. Для проведення технологічної переробки ТПВ необхідно провести ряд послідовних операцій:

- сепарація вихідних ТПВ;
- утилізація виділених компонентів;
- перероблення ТПВ;
- сепарація маси, що підлягає компостуванню

Основною операцією є деградація і перетворення ТПВ аеробним компостуванням. Технологія промислова, механізована, прискорена, екологічно безпечна.

Технологічні процеси переробки призначені для прискореного механізованого переробки ТПВ з метою отримання компосту, лому чорних і кольорових металів, паливних гранул, текстилю, полімерів (рис.3.1). Технологічна схема безперервного компостування з аеробним окислюванням органічних відходів в обертовому біотермічному барабані представлена на рисунку 3.1 [12]. Вона включає наступні модулі:

- приймальний блок з майданчиком;
- блок первинного сортування;
- блок компостування;
- блок вторинного сортування;
- дробильний блок;
- блок підготовки компосту для продажу населенню;
- склад компосту.

Переробка твердих побутових відходів (ТПВ) у компост є ефективним методом їх знешкодження та подальшого використання. Технологічний процес на заводах повністю механізований і управляється з центрального пульта.

Відходи доставляються на завод кузовними сміттєвозами вантажопідйомністю 3 та 9 тонн. Розвантаження здійснюється в прийомні

бункери, обладнані пластинчастими живильниками шириною 2,4 м і довжиною 12 м, які забезпечують швидкість руху настилу від 0,06 до 0,16 м/с. Біля кожного бункера облаштовано два розвантажувальні пости, що дозволяє уникнути заторів під час розвантаження.

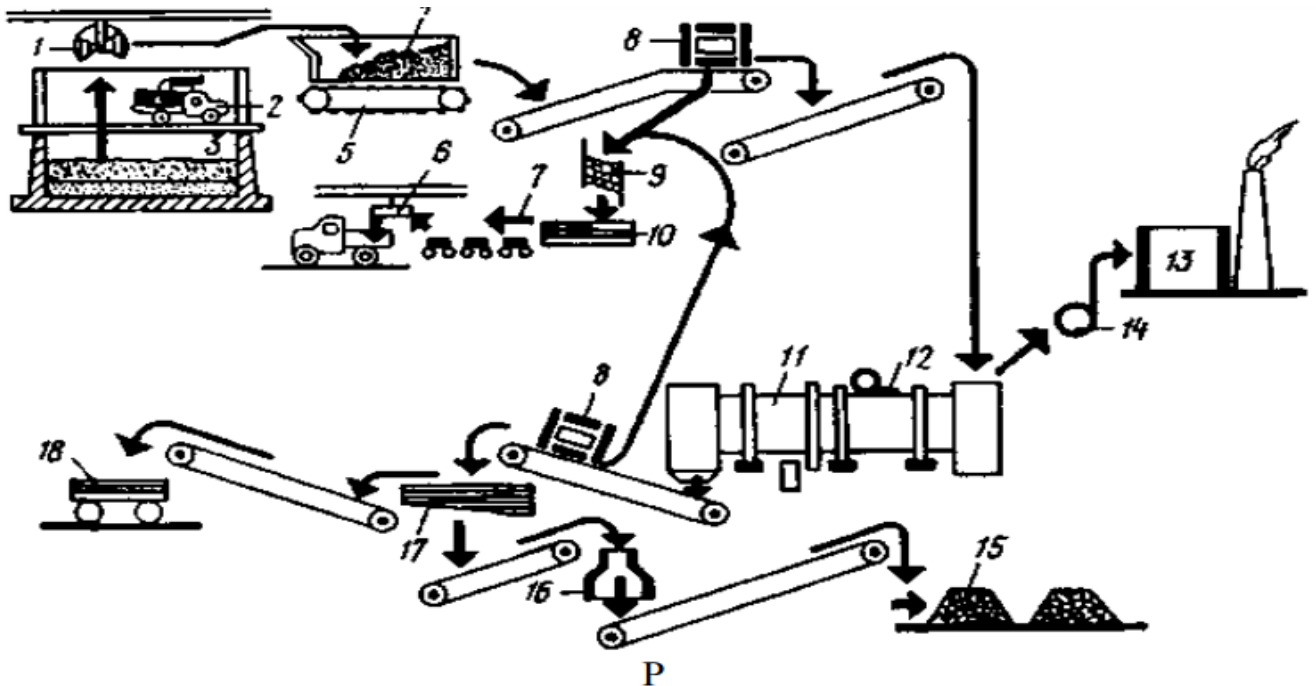


Рисунок 3.1 – Технологічна лінія з переробки ТПВ

1 – кран-балка із грейферним ковшем; 2 – сміттєвоз; 3 – прийомний бункер відходів; 4 – дозуючий бункер; 5 – пластинчастий живильник; 6 – піднімальний кран з магнітною шайбою для навантаження пакетів металобрухту; 7 – рольганг; 8 – магнітний сепаратор; 9 – бункер металобрухту; 10 – пакетуючий прес; 11 – обертовий біотермічний барабан; 12 – вентилятор-наїзник; 13 – котельня або піроліз на установку; 14 – витяжний вентилятор; 15 – штабеля компосту на площадках дозрівання й готової продукції; 16 – подрібнювач компосту; 17 – гуркіт; 18 – причіп для збору відсіву з гуркоту

Відсортовані відходи, призначені для компостування, подаються по конвеєрах до завантажувальних пристроїв біотермічних барабанів, які мають форму обертових циліндрів. Процес знешкодження відходів у барабанах відбувається завдяки активній діяльності термофільних мікроорганізмів в аеробних умовах. Під час цього процесу маса відходів самостійно нагрівається до 60 °С, що забезпечує знищення хвороботворних мікроорганізмів, яєць

гельмінтів, личинок і лялечок мух. Водночас органічні речовини розкладаються, утворюючи компост.

Кожен біобарабан щодня завантажується свіжими відходами до половини свого корисного об'єму та одночасно розвантажується. Завдяки середовищу з активним біотермічним процесом цикл компостування скорочується до двох діб. Пропускна здатність одного барабана становить до 34 тисяч тонн на рік.

Для забезпечення примусової аерації біобарабан оснащується вентиляторними пристроями, які подають свіже повітря залежно від температури та вологості відходів. Оптимальна вологість для прискорення компостування становить 40–45%. Зовнішня поверхня барабана покривається теплоізоляційним матеріалом для підтримання необхідного температурного режиму.

Біобарабан виконує дві основні функції: забезпечення біотермічного процесу в компостуючій масі та механічне стирання відходів. Отриманий компост зовнішньо повністю відрізняється від початкового сміття. Вивантаження продукту здійснюється на стрічкові конвеєри, які транспортують його до сортувального корпусу. Там компост проходить додаткове очищення за допомогою балістичних склосепараторів, пневмовідсіювачів плівки та інерційних грохотів.

Склад компосту, одержуваного на сміттєпереробних заводах із ТПВ, наведені далі в таблиця 3.2. Як показує практика, при правильній організації збору ТПВ вміст у компості солей важких металів не перевищує гранично допустимих концентрацій таблиця 3.2.

При правильно організованому польовому компостуванні, так само як і на заводах СППВ, одержують у результаті переробки ТПВ компост, забезпечуючи захист від забруднень ґрунту, атмосфери, ґрунтових і поверхневих вод.

Порівняння показників переробки відходів свідчить що, біологічні методи, які наведені в таблиці 3.3 є найбільш екологічно прийнятними і економічно ефективними.

Таблиця 3.2 – Склад компосту

Органічна речовина на суху масу, %, не менше	40
N	0,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,5
K <sub>2</sub> O	0,3
C:N, не більше	30
Розмір часток компосту, мм, не більше	25
Зміст часток скла розміром 3...5 мм, %, не більше	1,5
Зміст, %:	
полімерних матеріалів	0,1
інших баластових включень (камені, метал, гума)	2
Реакція середовища (рН сольової витяжки), не менш	6,0
Титр-колі, не менше	0,01

Таблиця 3.3 – Показники процесів переробки відходів

Процес переробки відходів	Питомі капітальні витрати, ум.од./т	Експлуатаційні витрати, ум.од./т	Прибуток, ум.од./т	Чисті витрати, ум.од./т
Спалювання здрібнених відходів	6000...8000	5...8	3	2,5...5
Спалювання в котлах утилізаторах	8000...13000	7...12	3...5	4,9
Піроліз	14000...32000	5...15	4,4...13,1	2,5...13,4
Біологічна переробка	22000	9,4	8,2	4,8

Переробка відходів виступає як ефективна альтернатива дорогим методам захоронення. Щорічне збільшення обсягів відходів, які піддаються переробці, демонструє перспективність цього підходу у сфері поводження з

відходами. Повний цикл переробки включає етапи збору, сортування, обробки та повторного використання відходів.

При розробці технологій для переробки відходів важливо враховувати такі аспекти:

- технології мають не лише відповідати актуальним потребам ринку, а й сприяти появі нових напрямів використання продуктів переробки;
- вони повинні бути гнучкими та адаптивними до змінних умов;
- необхідно забезпечувати баланс між вимогами ринку, прибутковістю і екологічністю, що дозволяє охоплювати широкий спектр відходів і збільшувати обсяги їх переробки.

Такий підхід сприяє не лише зменшенню кількості відходів, але й створенню нових можливостей для їх утилізації та повторного використання[17].

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів

Під час роботи з твердими побутовими відходами (ТПВ) та вторинною сировиною працівники зазнають впливу різних небезпечних і шкідливих факторів:

Хімічними факторами є підвищений рівень сірководню та інших шкідливих газів у повітрі робочої зони і в зоні дихання.

#### Фізичні фактори

- Підвищена запиленість повітря в робочій зоні.
- Виділення речовин із неприємним запахом, таких як сірководень, аміак, меркаптани, на полігонах, сміттесортувальних лініях і складах компосту.
- Шум, спричинений роботою транспортних засобів та обладнання для подрібнення ТПВ і вторинної сировини.
- Вплив магнітного поля на працівників, які взаємодіють з електромагнітними сепараторами.
- Недостатня освітленість робочих місць.

#### Психофізіологічні фактори

- Фізичне перевантаження, включаючи статичну та динамічну перенапругу.
- Нервово-психічне перенапруження, викликане напруженням зорових аналізаторів і нервово-емоційним стресом.

Для зниження впливу цих факторів необхідно дотримуватися заходів з охорони праці, використовувати засоби індивідуального захисту та забезпечувати належні умови роботи.

## 4.2. Вимоги до охорони праці при організації робочого місця працівника

При організації робочих процесів, пов'язаних із сортуванням твердих побутових відходів (ТПВ) та експлуатацією обладнання, важливо дотримуватись наступних вимог для забезпечення ефективності, безпеки та здорових умов праці:

### Стадія сортування

#### 1. Ручне сортування

Робочі місця сортувальників мають бути обладнані:

- витяжною вентиляцією для зниження концентрації пилю та запахів.
- освітлювальними лампами, що забезпечують денне світло для зменшення зорового напруження.
- обігрівачами у холодну пору року для підтримання комфортної температури.

#### 2. Транспортери

- стрічкові транспортери для переміщення відходів мають бути належним чином ізольовані, щоб уникнути потрапляння сторонніх предметів.
- огороження небезпечних зон для запобігання контакту працівників із рухомими частинами транспортерів.

### Безпека працівників

- огороження небезпечних зон
- усі зони, де існує ризик травмування, повинні бути чітко позначені та оснащені фізичними бар'єрами.

### Інструктаж працівників

- регулярне проведення навчання з техніки безпеки та ознайомлення з потенційними небезпеками.
- засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

- маски, рукавички, захисні окуляри та спецодяг обов'язкові для сортувальників і обслуговуючого персоналу.

#### Експлуатація обладнання

##### 1. Правила використання

Обладнання повинно експлуатуватись відповідно до інструкцій, що включають: правила щоденного використання; процедури дрібного ремонту та змащування механізмів; перелік вимог безпеки.

##### 2. Обслуговування

- щоденні огляди здійснюються слюсарями та електриками.

- регулярне технічне обслуговування та ремонт виконує служба головного механіка заводу.

#### Профілактика небезпек

- використання систем моніторингу та сигналізації для виявлення збоїв у роботі обладнання.

- здійснення планових перевірок обладнання для уникнення аварійних ситуацій.

- забезпечення доступності аварійних вимикачів на всіх робочих місцях.

Дотримання цих вимог сприятиме безперебійній роботі обладнання, підвищенню ефективності сортування ТПВ та забезпеченню безпеки працівників.

### **4.3. Забезпечення нормативних значень показників мікроклімату і чистоти повітря**

Забезпечення чистоти повітря робочих зон і зменшення негативного впливу на навколишнє середовище вимагає комплексного підходу, що включає впровадження сучасних технологій і дотримання встановлених норм.

#### Заходи для зменшення забруднення повітря

##### 1. Використання систем пиловловлювання

- місцеві насоси в заточувальних відділеннях для локалізації пилю та аерозолів.

- центральні системи очищення повітря в цехах.

## 2. Очищення викидів

- впровадження безвідхідних технологій для зменшення обсягу шкідливих речовин.

- застосування високоефективних газо- та пиловловлюючих апаратів.

- регулярне обслуговування очисного устаткування.

## 3. Моніторинг забруднення

- використання автоматичних станцій контролю рівня забруднення навколишнього середовища.

- відстеження концентрацій шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

### Шкідливі фактори у цехах заточування

- висока концентрація аерозолів індустріальних масел.

- абразивний пил, що утворюється під час заточування інструментів.

- можливе перевищення рівнів окису вуглецю у повітрі.

### Гранично допустимі концентрації (ГДК)

#### Окис вуглецю:

- до 50 мг/м<sup>3</sup> при роботі до 1 години.

- до 100 мг/м<sup>3</sup> при роботі до 30 хвилин.

- до 200 мг/м<sup>3</sup> при роботі до 15 хвилин.

Між періодами роботи за умов підвищеного ГДК повинна бути перерва не менше 2 годин.

### Санітарно-захисні зони

Підприємства, що є джерелами виділення шкідливих речовин, повинні бути відокремлені від житлової забудови санітарно-захисними зонами. Це забезпечує мінімізацію впливу забруднень на здоров'я населення.

### Рекомендації для покращення умов

1. Регулярна вентиляція робочих зон.

2. Оснащення робочих місць сучасними фільтрувальними установками.

3. Дотримання норм ГДК і проведення регулярних перевірок рівня шкідливих речовин.

4. Навчання працівників правилам техніки безпеки та використання засобів індивідуального захисту.

Впровадження цих заходів дозволить знизити ризики для здоров'я працівників і мінімізувати вплив на довкілля.

#### **4.4. Освітлення робочого місця, заходи і засоби для забезпечення нормованих показників освітлення**

Освітлення робочих місць є важливим аспектом забезпечення комфорту та безпеки працівників. Правильне освітлення не лише покращує умови праці, але й знижує ризик виникнення професійних захворювань, таких як захворювання очей і порушення зору, а також сприяє підвищенню продуктивності праці.

Основні принципи освітлення робочого місця:

1. Нормативи освітлення. Для забезпечення комфортних умов праці існують нормативи щодо рівня освітленості на різних робочих місцях, залежно від виду діяльності. Вони визначаються у люксах (лк), де 1 лк дорівнює освітленості, створеній однією свічкою на площі одного квадратного метра.

Основні норми освітлення:

-для робочих місць з різними видами ручної праці — від 300 до 1000 лк.

-для виробничих приміщень (монтаж, склади) — від 150 до 300 лк.

-для заводських цехів — від 150 до 500 лк, в залежності від специфіки роботи.

Заходи для забезпечення нормованих показників освітлення:

1. Проектування освітлення: Проектування освітлення робочих місць повинно проводитися з урахуванням норм і вимог національних стандартів та стандартів охорони праці. Це включає вибір правильних джерел світла, визначення кількості освітлювальних приладів, розрахунок рівнів освітленості, а також врахування специфіки роботи.

2. Контроль рівня освітленості:

- регулярно перевіряти рівень освітлення на робочих місцях за допомогою спеціальних приладів, таких як люксметри.

- Перевірки повинні проводитися не рідше ніж раз на рік, особливо на робочих місцях, де освітлення є критичним для безпеки праці (наприклад, у цехах, лабораторіях, на складі).

3. Регулювання освітлення є важливим аспектом є наявність можливості регулювати інтенсивність освітлення. Це особливо важливо для робочих місць, де працівник працює з різними видами матеріалів або обладнанням, що вимагає різних рівнів освітленості.

4. Профілактика та обслуговування освітлювальних приладів: Регулярна перевірка і обслуговування освітлювальних систем допомагає підтримувати необхідні рівні освітленості на робочих місцях. Заміна ламп, чистка світильників та перевірка електричних підключень є важливими для забезпечення нормованого освітлення.

Забезпечення належного освітлення на робочих місцях є критично важливим для здоров'я працівників та їх продуктивності. Для цього необхідно дотримуватись нормативів, застосовувати сучасні технології освітлення та проводити регулярні перевірки. Використання відповідних засобів та засобів контролю дозволяє підтримувати комфортні умови праці і запобігати шкідливому впливу освітлення на здоров'я.

**4.5. Заходи і засоби для забезпечення нормованих значень шуму та вібрації**

Заходи і засоби для забезпечення нормованих значень шуму та вібрації при виробництві компосту.

У процесі виробництва компосту, як і на будь-яких інших виробничих підприємствах, працівники можуть бути піддані впливу таких небезпечних факторів, як шум та вібрація, які можуть мати негативний вплив на їх здоров'я. Для забезпечення нормованих значень шуму та вібрації на підприємстві важливо вжити ряд заходів і використовувати спеціальні засоби контролю та захисту.

#### 1. Шум на підприємствах з виробництва компосту

Шум у процесі компостування виникає переважно через роботу обладнання, такого як машини для подрібнення відходів, транспортери, компостуючі установки, вентиляційні системи та інші механічні агрегати. Неправильно спроектоване або не обслуговуване обладнання може створювати значні рівні шуму, що є небезпечним для здоров'я працівників.

Нормовані показники шуму:

- допустимий рівень шуму на робочих місцях не повинен перевищувати 85 дБА для 8-годинної роботи. При рівнях понад 85 дБА потрібно впроваджувати додаткові засоби захисту слуху.

- для більш короткого часу роботи рівень шуму може бути вищим (до 90-95 дБА), але в таких випадках робочі повинні використовувати засоби захисту.

Заходи для зменшення шуму при виробництві компосту:

#### 1. Забезпечення нормованих рівнів шуму:

- використовувати тихіше обладнання: вибір машин з низьким рівнем шуму або оснащення існуючого обладнання амортизуючими елементами.

- оновлення технології, яке дозволяє знижувати рівень шуму на різних етапах виробництва, зокрема при подрібненні, транспортуванні та перемішуванні відходів.

- установка шумоізоляційних матеріалів на обладнанні та в приміщеннях для зменшення звукових хвиль. Це можуть бути звукопоглинальні панелі, обшивки, спеціальні кожухи для машин.

## 2. Індивідуальні засоби захисту:

- всі працівники, що знаходяться на ділянках з високими рівнями шуму, повинні використовувати навушники або вкладиші для вух, що забезпечують зниження рівня шуму до допустимих норм.

- важливо організувати своєчасні перевірки слуху у працівників, що працюють в умовах високих рівнів шуму.

## 2. Вібрація на підприємствах з виробництва компосту

Вібрації, що виникають внаслідок роботи машин (наприклад, транспортерів, верстатів для подрібнення відходів), можуть негативно впливати на здоров'я працівників, спричиняти порушення кровообігу, болі в суглобах, а також мати вплив на нервову систему.

Для вібрації на робочих місцях встановлені гранично допустимі рівні вібраційних коливань: для рук — не більше 4 м/с<sup>2</sup> для середньої тривалості впливу, для цілого тіла — не більше 0,5 м/с<sup>2</sup>.

Заходи для зменшення вібрації при виробництві компосту:

- використання віброізоляційних підставок та амортизуючих матеріалів для зниження вібрації від рухомих частин обладнання (наприклад, для компостуючих машин).

- встановлення віброізолюючих матеріалів в підлогу, стіни або навколо вібруючих пристроїв для зниження поширення вібрацій.

- для працівників, що працюють з вібруючим обладнанням, рекомендується використовувати спеціальні рукавички, що зменшують вплив вібрацій на руки.

- антивібраційне обладнання для персоналу (наприклад, антивібраційні устілки або сидіння для операторів, які працюють на вібруючих машинах).

Забезпечення нормованих значень шуму та вібрації при виробництві компосту вимагає комплексного підходу, який включає використання сучасного обладнання, застосування вібро- та шумозахисних технологій, а також забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Технічне вдосконалення, регулярне обслуговування обладнання та контроль рівнів шуму та вібрації допомагають забезпечити безпечні умови праці та зменшити ризики для здоров'я працівників.

#### **4.6. Забезпечення необхідного санітарного стану виробництва**

Відповідно до санітарних норм і правил, підприємства з технологічними процесами, що можуть виділяти шкідливі речовини у навколишнє середовище, зобов'язані дотримуватись таких вимог:

##### **Санітарно-захисні зони (СЗЗ)**

1. За призначенням СЗЗ слугують бар'єром між промисловими підприємствами та житловою забудовою, що зменшує вплив шкідливих викидів (газів, пилу, шуму) на населення

##### **2. Класи небезпеки підприємств**

Промислові підприємства поділяються на п'ять класів залежно від характеру виробництва та обсягів викидів:

- I клас – найбільш небезпечні підприємства, СЗЗ – 1000 м.
- II клас – високонебезпечні підприємства, СЗЗ – 500 м.
- III клас – помірно небезпечні підприємства, СЗЗ – 300 м.
- IV клас – мало небезпечні підприємства, СЗЗ – 100 м.
- V клас – підприємства з низьким рівнем небезпеки, СЗЗ – 50 м.

##### **3. Вимоги для підприємств II класу**

- Для виробництв, що належать до II класу, передбачається створення СЗЗ розміром 500 м.

- У зоні не допускається будівництво житлових будинків, шкіл, лікарень та інших соціально важливих об'єктів.

- Територія СЗЗ повинна бути облаштована зеленими насадженнями для зниження шуму та концентрації шкідливих речовин у повітрі.

Контроль виконання

- органи екологічного нагляду здійснюють перевірку дотримання норм СЗЗ.

- підприємства зобов'язані проводити моніторинг впливу своєї діяльності на довкілля, забезпечуючи нормативний рівень концентрацій шкідливих речовин.

Заходи для зменшення впливу на навколишнє середовище

- Впровадження сучасних технологій очищення викидів.

- Перехід на більш екологічні види енергії та палива.

- Підвищення ефективності газо- та пиловловлюючих установок.

Дотримання цих норм сприяє мінімізації негативного впливу промислових підприємств на довкілля та здоров'я людей.

#### **4.7. Заходи і засоби для захисту працюючих від ураження електричним струмом**

На підприємствах, що займаються виробництвом компосту, широко застосовується електричне обладнання для автоматизації процесів, транспортування, вентиляції та інших операцій. Однак електричні установки та обладнання створюють потенційний ризик для працівників через можливість ураження електричним струмом. Для забезпечення безпеки працівників необхідно впроваджувати спеціальні заходи та засоби захисту.

Основні заходи для захисту працюючих від ураження електричним струмом:

1. Організаційні заходи:

- проведення інструктажів і навчань з техніки безпеки для працівників, які працюють з електричним обладнанням. Працівники повинні знати правила безпечного поводження з електричними установками і діяти згідно з ними.

- розробка та впровадження інструкцій з експлуатації та ремонту електричних пристроїв, що включають специфічні вимоги до безпеки при роботі з обладнанням.

- регулярні перевірки і випробування електричних пристроїв на відповідність технічним вимогам безпеки, а також перевірки заземлення та ізоляції обладнання.

## 2. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- рукавички із діелектричних матеріалів для захисту від електричного струму при роботі з електричними установками.

- робоче взуття з ізоляцією (наприклад, гумові чоботи) для забезпечення захисту від струму при роботі на вологих або підмочених ділянках виробництва.

- захисні інструменти: використання інструментів з ізольованими ручками при виконанні робіт з електричним обладнанням.

Забезпечення безпеки працівників на виробництві компосту від ураження електричним струмом є важливим аспектом охорони праці. Для цього необхідно використовувати комплексний підхід, включаючи організаційні, технічні заходи, засоби індивідуального захисту та регулярний контроль за станом електричних установок. Це дозволить знизити ризик виникнення нещасних випадків та забезпечити безпечні умови праці для всіх працівників.

## 4.8. Забезпечення пожежовибухобезпеки

Виробництво компосту, як і будь-який інший промисловий процес, пов'язаний з певними ризиками, серед яких особливу увагу слід приділяти

пожежовибуховій безпеці. Пожежі та вибухи можуть виникати внаслідок несанкціонованого загоряння, накопичення горючих газів або пило-газових сумішей. Тому важливою складовою безпеки на виробництві компосту є вжиття заходів для запобігання пожежам і вибухам.

Основні фактори ризику на виробництві компосту:

1. Накопичення горючих газів і парів. Процес компостування супроводжується виділенням метану, аміаку, сірководню та інших газів, які можуть бути горючими або вибухонебезпечними.

2. Вибухонебезпечний пил. У процесі подрібнення та переробки відходів утворюється пил, який у певних концентраціях у поєднанні з киснем може стати вибухонебезпечним.

3. Температурні зміни. Температура на різних стадіях компостування може досягати високих значень (до 60°C), що може викликати спалахи, особливо за недостатнього провітрювання або неправильного управління процесом.

4. Невірно підібране обладнання. Вибухонебезпечні гази можуть утворюватися при неправильно налаштованих або дефектних системах вентиляції чи механізмів.

Заходи щодо забезпечення пожежовибухобезпеки:

1. Організаційні заходи:

- регулярне навчання та інструктажі для працівників щодо пожежної безпеки та правил поведінки у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

- призначення відповідальних осіб за пожежну безпеку, які регулярно перевіряють стан пожежної охорони та інші аспекти безпеки.

2. Технічні заходи:

- проведення газового контролю на виробництві для виявлення можливого накопичення вибухонебезпечних або горючих газів. Встановлення датчиків для контролю концентрацій метану, аміаку, сірководню в повітрі.

-правильна вентиляція приміщень. Вентиляція має бути спроектована таким чином, щоб забезпечити постійний обмін повітря та відведення газів і пилу з робочої зони.

-встановлення місцевих витяжних систем для відведення шкідливих газів (наприклад, сірководню та аміаку) від процесу компостування.

### 3. Контроль за процесами компостування:

- моніторинг температури в компостних купах. Підвищена температура може бути сигналом для вогню або загоряння. Встановлення термодатчиків, що спостерігають за температурою на різних стадіях компостування.

-регулювання вологісних показників. Підвищена вологість у купах допомагає зменшити ймовірність виникнення загорянь.

-розміщення відходів для компостування: Компостні купи повинні бути розміщені на відстані від легкозаймистих матеріалів і бути достатньо віддаленими один від одного для запобігання перекиданню вогню.

### 4. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- спеціальні пожежні рукавички, одяг, взуття та каски для робітників, які працюють на ділянках з підвищеним ризиком загоряння.

- використання масок і респіраторів для захисту від пилу та токсичних газів у разі аварійної ситуації.

Забезпечення пожежовибухобезпеки на виробництві компосту є критично важливим для підтримки здоров'я працівників і збереження навколишнього середовища. Запобігання виникненню пожеж і вибухів потребує застосування комплексного підходу, включаючи організаційні заходи, технічні засоби, контроль процесів і використання засобів індивідуального захисту. Це дозволяє значно знизити ризики та забезпечити безпечні умови праці на підприємствах, що займаються компостуванням відходів.

## РОЗДІЛ 5. ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

Цивільний захист на підприємствах із виробництва компосту є важливою складовою для забезпечення безпеки працівників, населення та навколишнього середовища. Виробництво компосту може супроводжуватися низкою небезпек, таких як виділення шкідливих газів, пожежі, зараження інфекційними агентами та механічні травми.

Основні заходи цивільного захисту на виробництві компосту

I. Ідентифікація потенційних загроз:

1. Хімічними небезпеками є утворення аміаку, сірководню, метану під час розкладу органічних відходів.

2. Пожежонебезпека укладається в самозаймання компосту через високу температуру в буртах або силосних установках.

3. Біологічні ризики становлять наявність патогенних мікроорганізмів, грибків і неприємних запахів.

4. Механічні травми можливі при роботі з важкою технікою (навантажувачі, аератори, бочки).

II. Розробка плану дій у надзвичайних ситуаціях

1. Створення плану реагування на аварійні ситуації (пожежі, хімічні витіки, обвали тощо).

2. Евакуаційний план для працівників у разі небезпеки.

III. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

IV. Контроль за санітарно-гігієнічними умовами

1. Регулярний моніторинг повітря на вміст токсичних газів (амоніаку, метану, сірководню).

2.Проведення дезінфекції обладнання і робочих зон для знищення патогенних мікроорганізмів.

3.Встановлення систем вентиляції та очищення повітря у закритих приміщеннях.

#### V. Запобігання пожежам

1.Постійний контроль за температурою компостних буртів і установок для запобігання перегріву.

2.Використання датчиків задимлення та систем пожежогасіння.

3.Розробка інструкцій із пожежної безпеки для працівників.

4.Наявність вогнегасників і пожежних резервуарів з водою.

#### VI. Охорона навколишнього середовища

1.Забезпечення герметичності ділянок для компостування, щоб уникнути витоків у ґрунт і воду.

2.Встановлення систем для збору фільтратів (рідини, що утворюється під час розкладу).

3.Використання фільтрів для очищення газоподібних викидів та мінімізації запахів.

#### VII. Навчання та інструктаж працівників

1.Проведення регулярних інструктажів щодо правил техніки безпеки та цивільного захисту.

2.Навчання першій медичній допомозі та користуванню засобами захисту.

3.Підготовка персоналу до дій у разі аварій.

Організація цивільного захисту на підприємстві з виробництва компосту включає ідентифікацію загроз, технічні та організаційні заходи для їх мінімізації, забезпечення працівників необхідними засобами захисту та проведення навчань. Дотримання цих заходів забезпечить безпеку виробничого процесу та захистить здоров'я людей і довкілля.

Щоб розрахувати кількість компосту, яка утвориться з 872,923 тис. тонн відходів, що утворилися у 2023 році на території Одеської області, потрібно врахувати коефіцієнт виходу компосту, який зазвичай складає 30–50% від загальної маси відходів залежно від типу сировини і технології компостування.

Формула розрахунку:

$M_{\text{компосту}} = M_{\text{відходів}} \times K_{\text{виходу}}$ , де:

$M_{\text{компосту}}$  — маса отриманого компосту,

$M_{\text{відходів}}$  — маса відходів (в тонах),

$K_{\text{виходу}}$  — коефіцієнт виходу компосту (в частках або відсотках).

Розрахунок для 30% виходу компосту:

$$M_{\text{компосту}} = 872,923 \text{ т} \times 0,3 = 261,877 \text{ т}$$

Розрахунок для 50% виходу компосту:

$$M_{\text{компосту}} = 872,923 \text{ т} \times 0,5 = 436,461 \text{ т}$$

Отже, з 872,923 тис. тон відходів утвориться:

261,877 тис. тон компосту при виході 30%.

436,461 тис. тон компосту при виході 50%.

Коефіцієнт залежить від якості відходів і технологічного процесу компостування.

Раціональне використання природної біомаси буде сприяти покращенню стану ґрунтів.

## ВИСНОВКИ

2. Проаналізовано та описаний хімічний склад твердих побутових відходів та визначено, що органічна частка твердих побутових відходів там може складати від 20 до 60% загальної маси відходів.

3. Проведено огляд найпоширеніших технологій переробки ТПВ, визначено їх переваги та недоліки; обрано в якості технології компостування у біобарабанах через більшу ефективність та меншу витрату часу і людських ресурсів.

4. Розглянуто біохімічні та мікробіологічні процеси, що відбуваються при компостуванні ТПВ у біобарабані, які дозволяють зрозуміти, що основою утворення компосту є перетворення органічної речовини мікроорганізмами до простих сполук; наведено характеристику та норми компосту, що утворюється в процесі компостування органічної фракції твердих побутових відходів.

5. Представлено технологічну схему технології переробки твердих побутових відходів з компостуванням органічної фракції. За основу взято компостування у біобарабані, цьому процесу передують стадії сортування, подрібнення, відділення від металів, що залучає велику кількість технологічного обладнання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гаценко М. В. Компостування органічної речовини, мікробіологічні аспекти / М. В. Гаценко Сільськогосподарська мікробіологія. — 2014. — Вип. 19. — С. 11–20
2. Душкін С. С. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія утилізації твердих побутових відходів» (для студентів 2, 5 курсів денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.092601 (7.06010808) «Водопостачання та водовідведення») / С. С. Душкін, М.
3. Закон України «Про відходи». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/187/98-%D0%B2%D1%80#Text>
4. Кашковський, В.І., Євдокименко, В.О., Каменських, Д.С., Ткаченко, Т.В., Вахрін, В.В. (2017). Комплексна технологія переробки деяких органомінеральних відходів. *Наука innov.*, 13(3), 57—69.
5. Кляченко, О.Л., Мельничук, М.Д., Іванова, Т.В. (2015). Екологічні біотехнології: теорія і практика.: Навчальний посібник. Вінниця, ТОВ «Нілан-ЛТД», 254 с.
6. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія утилізації твердих побутових відходів» В. Дегтяр; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 86 с.
7. Купчик О. Ю. Визначення кореляції між вмістом важких металів у продуктах рослинництва та ґрунті при екологічному моніторингу / Купчик О. Ю.. // Науково-технічний журнал. – 2016. – С. 85–91
8. Лазненко Д. О. Визначення параметрів утворення побутових відходів у населених пунктах України для цілей регіонального планування / Д. О. Лазненко. – Київ, 2019. – 9 с.

9. Люта, В.А., Кононов, О.В. Мікробіологія з технікою мікробіологічних робіт: підручник: [для студ. вищ. навч. закл.]. Київ: ВСВ «Медицина», 2018, 576 с.

10. Ляшенко О. О., Мовсесов Г. Є. Технологія та устаткування прискореного компостування органічних відходів // Сотрудничество для решения проблемы отходов: матеріали III Міжнар. конф., 7–8 лют. 2006 р. С. 88–89. <https://www.waste.com.ua/cooperation/2006/theses/lyashenko.html>.

11. Наказ Держстандарту України від 29 лютого 1996 р. №89 "ДЕРЖАВНИЙ КЛАСИФІКАТОР УКРАЇНИ Класифікатор відходів ДК 005-96" (Зміна N 2 до Класифікатора відходів (КВ) ДК 005-96 від 22.01.2008).- 2008

12. Петрук, В. Г., Васильківський, І. В., Іщенко, В. А., Петрук Р.В. (2013). Управління та поводження з відходами. Частина 3. Полігони твердих побутових відходів: навчальний посібник. Вінниця, ВНТУ, 139 с.

13. Поводження з муніципальними відходами / І. В.Коваленко, І. О. Кузнецова, Р. І. Шевченко, О. Л. Гаркович. – Одеса: ОНАХТ «Академія», 2018. – 150 с.

14. Сафранов, Т.А., Шаніна, Т.П., Губанова, О.Р., Приходько, В.Ю. (2014). Класифікація твердих муніципальних відходів – передумова формування ефективної системи поводження з їх потоками. Вісник Одеського державного екологічного університету, 18, 32–37

15. Сторощук У. З., Тимчук І. С., Мальований М. С. (2020). Актуальність сортування твердих побутових відходів та їх роздільний збір. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: збірник матеріалів 6-го Міжнародного конгресу, Львів, 23 –25 вересня 2020 р, 106.

16. Тимчук, І. С., Мальований, М. С., Жук, В. М., Сторощук, У. З., Люта, О. В. (2021). Львівський досвід збору та компостування органічних відходів. VIII-ий Міжнародний з'їзд екологів (Екологія / Ecology – 2021): збірник наукових праць, 22–24 вересня, 2021, Вінниця, 162–164.

17. Тимчук І. С., Мальований М. С., Сторощук У. З., Люта О. В. (2021). Збір та компостування органічних відходів як запорука сталого розвитку міста. Проблеми сталого розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 10-й річниці створення інституту. Львів-Зозулі, 22–23 жовтня 2021 р, 33–35
18. Шацький В. В., Поволоцький А. А. Основні вимоги до процесу та біотехнічної системи компостування органічної сировини // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2015. № 157. С. 140–146. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdusg\\_2015\\_157\\_26](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdusg_2015_157_26).
19. Шекель О. Й. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія утилізації твердих побутових відходів» / О. Й. Шекель, Л. В. Шевченко, Ю. С. Панів. – Київ, 2011. – 201 с.