

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З.ГЖИЦЬКОГО
Факультет агротехнологій та охорони довкілля**

Кафедра сталого природокористування
та захисту довкілля

Допускається до захисту

«_____» _____ 2025р.

Зав. кафедри _____

(підпис)

доцент, к.б.н. _____ Петро ХІРІВСЬКИЙ
наук. ступ., вч. зв. (ініціали та прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

(рівень вищої освіти)

на тему «**Оптимізація процесу компостування харчових відходів в
умовах міста**»

Виконала студентка групи Еко-41
спеціальності 101 «Екологія»

Полоцька Марта Андріївна

Керівник Наталія ПАНАС _____

Консультант Юрій КОВАЛЬЧУК _____

Дубляни 2025

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет природокористування
Факультет агротехнологій та екології
Кафедра екології
Освітній рівень «бакалавр»
Спеціальність 101 «Екологія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри. _____
 к.б.н, доцент _____ Петро ХІРІВСЬКИЙ
 «_____» _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу Полоцькій М.А.

1. Тема роботи: **«Оптимізація процесу компостування харчових відходів в умовах міста»**

Керівник дипломної роботи Панас Наталія Євгенівна, кандидат біологічних наук, доцент

Затверджені наказом по університету від «_____» _____ 202_р. № _____

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 15 червня 2025 року

3. Вихідні дані для кваліфікаційної роботи

Літературні джерела, методики виконання досліджень, матеріали досліджень

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які необхідно розробити

ВСТУП

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Класифікація та характеристики харчових відходів, їх вплив на навколишнє середовище

1.2 Принципи та механізми процесу компостування

1.3 Екологічні переваги компостування харчових відходів

1.4 Сучасні методи та технології компостування харчових відходів

2 . АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ПОВОДЖЕННЯ З ХАРЧОВИМИ ВІДХОДАМИ ТА ПОТЕНЦІАЛ ЇХ КОМПОСТУВАННЯ В УМОВАХ МІСТА ЛЬВІВ

2.1 Загальна характеристика системи поводження з побутовими відходами у м. Львів

2.2 Оцінка ресурсного потенціалу харчових відходів для компостування

2.3 Львівська компостувальна станція як елемент міської системи управління харчовими відходами: аналіз функціонування та ефективності

2.4 Місцеві ініціативи та пілотні проекти з компостування

3 ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕГРАЦІЇ КОМПОСТУВАННЯ В КОМПЛЕКСНУ СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ОРГАНІЧНИМИ ВІДХОДАМИ МІСТА ЛЬВОВА

3.1 Інтеграція компостування в загальну систему управління органічними

3.2 Використання компосту для забезпечення сталого функціонування

системи та отримання максимальної вигоди від перероблених органічних відходів

3.3 Стратегічні напрямки та конкретні кроки, необхідні для максимально ефективного впровадження та розширення практики компостування в місті

3.4 Розробка та обґрунтування системи компостування харчових відходів для м. Львів

4. ОХОРОНА ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ З ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ: КОМПЛЕКСНИЙ ОГЛЯД

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу (подається конкретний перерахунок аркушів з вказуванням їх кількості) Рисунки(2)

6. Консультанти з розділів:

7. Дата видачі завдання 10 лютого 2024 р.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3	Панас Н.Є. доцент кафедри екології		
4	Ковальчук Ю.Я., к.с.-г.н, доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва		

Календарний план

№п/п	Назва етапів підготовки роботи	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Написання вступу та розділу «Огляд літератури»	10.02.24-29.07.24	
2	Написання розділу «Об'єкт та методи досліджень»	29.07.24-20.11.25	
3	Написання розділу «Результати досліджень»	20.11.24-20.04.25	
4	Написання розділу «Охорона праці на підприємстві з переробки відходів: комплексний огляд», підготовка висновків, оформлення бібліографічного списку	20.04.25-01.06.25	

Здобувач _____ Марта ПОЛОЦЬКА
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Наталія ПАНАС
(підпис)

УДК 628.477.5:631.879.3:504.064.3

Оптимізація процесу компостування харчових відходів в умовах міста. Полоцька М.А. Кваліфікаційна робота. Кафедра сталого природокористування та захисту довкілля. Дубляни, Львівський НУВМБ імені С.З. Гжицького, 2025.

71 стор.текст. частина, 2 таблиці, 5 рисунків, 10 світлин, 39 джерел

У роботі подана детальна характеристика поточної системи управління побутовими відходами в місті, проведено оцінку ресурсного потенціалу харчових відходів, доступних для компостування. У цьому контексті проведено аналіз функціонування та ефективності Львівської компостувальної станції як ключового елемента міської інфраструктури, а також досліджено існуючі місцеві ініціативи та пілотні проєкти з компостування. Охарактеризовано перспективи інтеграції компостування в комплексну систему управління органічними відходами Львова. Обґрунтовано можливі шляхи включення компостування в загальну стратегію поводження з органікою та використання отриманого компосту, що сприятиме сталому функціонуванню системи поводження з відходами. Визначено стратегічні напрямки та конкретні кроки, необхідні для максимально ефективного впровадження та розширення практики компостування у місті, що включає розробку та обґрунтування оптимальної системи компостування харчових відходів спеціально для умов Львова, що дозволить місту ефективніше вирішувати проблему органічних відходів та розвивати циркулярну економіку

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	9
1.1 Класифікація та характеристики харчових відходів, їх вплив на навколишнє середовище.....	9
1.2 Принципи та механізми процесу компостування.....	14
1.3 Екологічні переваги компостування харчових відходів.....	16
1.4 Сучасні методи та технології компостування харчових відходів.....	20
2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ПОВОДЖЕННЯ З ХАРЧОВИМИ ВІДХОДАМИ ТА ПОТЕНЦІАЛ ЇХ КОМПОСТУВАННЯ В УМОВАХ МІСТА ЛЬВІВ.....	26
2.1 Загальна характеристика системи поводження з побутовими відходами у м. Львів.....	26
2.2 Оцінка ресурсного потенціалу харчових відходів для компостування.....	30
2.3 Львівська компостувальна станція як елемент міської системи управління харчовими відходами: аналіз функціонування та ефективності.....	32
2.4 Місцеві ініціативи та пілотні проєкти з компостування.....	34
3 ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕГРАЦІЇ КОМПОСТУВАННЯ В КОМПЛЕКСНУ СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ОРГАНІЧНИМИ ВІДХОДАМИ МІСТА ЛЬВОВА.....	39
3.1 Інтеграція компостування в загальну систему управління органічними.....	39
3.2 Використання компосту для забезпечення сталого функціонування системи та отримання максимальної вигоди від перероблених органічних відходів.....	50
3.3 Стратегічні напрямки та конкретні кроки, необхідні для максимально ефективного впровадження та розширення практики компостування в місті.....	55
3.4 Розробка та обґрунтування системи компостування харчових відходів для м. Львів	59
4. ОХОРОНА ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ З ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ: КОМПЛЕКСНИЙ ОГЛЯД.....	62
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68

ВСТУП

Актуальність теми. Харчові відходи – це значна і постійно зростаюча проблема сучасних міст, яка вимагає негайного та системного підходу до вирішення. У контексті урбанізації та зростання населення, обсяги утворення харчових відходів невинно збільшуються, створюючи величезне навантаження на існуючі системи поводження з твердими побутовими відходами (ПВ). Ця проблема має багатогранний характер, охоплюючи екологічні, економічні та соціальні аспекти [3] .

Комплексне розуміння сутності харчових відходів є абсолютно ключовим для розробки ефективних стратегій поводження. Це включає глибокий аналіз походження відходів (від домогосподарств до промислових підприємств та закладів громадського харчування), детальний розгляд їхнього хімічного складу та фізичних властивостей (високий вміст вологи, органічних речовин, поживних елементів), а також всебічну оцінку наслідків для довкілля та економіки, що виникають внаслідок нераціонального поводження.

На сьогодні переважна більшість харчових відходів у містах закінчує свій шлях на полігонах ПВ, де вони піддаються анаеробному розкладу. Цей процес є джерелом потужних викидів метану, парникового газу, що має значно вищий потенціал глобального потепління, ніж вуглекислий газ[19, 20].

Окрім кліматичних змін, полігони стають джерелом забруднення ґрунтів та підземних вод небезпечним фільтратом, поширення неприємних запахів, а також розмноження шкідників та переносників хвороб, що створює загрозу для здоров'я населення та якості довкілля. З економічної точки зору, транспортування та захоронення органічних відходів є дорогим і нераціональним процесом, адже вони є цінним ресурсом, який просто втрачається.

У контексті євроінтеграційних прагнень України та необхідності імплементації принципів циркулярної економіки, особливо гостро постає питання впровадження інноваційних та екологічно безпечних методів поводження з органічними відходами. Компостування є визнаним у світі ефективним рішенням, що дозволяє не лише уникнути негативних наслідків захоронення, а й створити цінний кінцевий продукт – компост, який може покращити родючість ґрунтів та сприяти сталому міському озелененню [19, 20, 36].

Саме тому компостування є однією з найбільш перспективних та екологічно обґрунтованих стратегій поводження з харчовими відходами. Воно дозволяє не тільки уникнути негативних наслідків захоронення, але й перетворити ці відходи на цінний продукт – органічне добриво, яке може бути використане для покращення родючості ґрунтів, озеленення міст та в сільському господарстві. Це не просто утилізація, а циркулярний підхід, що повертає цінні елементи назад у природний цикл, сприяючи сталому розвитку міст та зниженню їхнього екологічного сліду. Оптимізація процесу компостування харчових відходів в умовах міста, враховуючи специфіку їхнього утворення та логістики, є нагальним завданням, що може суттєво покращити екологічну ситуацію та економічну ефективність системи поводження з відходами [3, 36].

Метою роботи є обґрунтування оптимальної моделі компостування харчових відходів, адаптованої до специфічних умов міста, з метою зменшення їхнього негативного впливу на навколишнє середовище та отримання якісного органічного добрива.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- проаналізувати теоретичні основи процесу компостування харчових відходів, включаючи їх класифікацію, хімічний склад, фізичні властивості та вплив на навколишнє середовище.

- дослідити сучасні методи та технології компостування, оцінити їх переваги та недоліки для застосування в міських умовах.

- провести аналіз існуючої системи поводження з харчовими відходами у м. Львів, визначити їх обсяги, джерела утворення та ресурсний потенціал для компостування.

- обґрунтувати оптимальну модель організації збору, транспортування та компостування харчових відходів, враховуючи логістичні, технологічні та екологічні аспекти.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Класифікація та характеристики харчових відходів, їх вплив на навколишнє середовище

Харчові відходи – це значна і постійно зростаюча проблема сучасних міст, що потребує системного підходу до вирішення. Їхнє комплексне розуміння, включаючи походження, склад та наслідки для довкілля, є ключовим для розробки ефективних стратегій поводження, зокрема компостування.

Види харчових відходів та їх джерела у місті. Харчові відходи (ХВ) – це будь-які продукти харчування, що не були спожиті або втратили свою придатність до споживання на будь-якому етапі ланцюжка від "ферми до столу". Залежно від етапу утворення, їх можна класифікувати на дві основні категорії.

Відходи до споживання (*pre-consumer waste*) утворюються на етапах виробництва, переробки, зберігання та розподілу продуктів. До цієї категорії належать обрізки, некондиційні партії, браковані або зіпсовані продукти з хлібозаводів, м'ясокомбінатів, молокозаводів та овочевих баз, а також прострочені товари, продукти з пошкодженою упаковкою та нереалізовані залишки з супермаркетів, мінімаркетів та ринків.

Друга категорія – це відходи після споживання (*post-consumer waste*), які утворюються безпосередньо у споживачів і є найбільшою та найрізноманітнішою в умовах міста. Основним джерелом харчових відходів у містах є житловий сектор (домогосподарства), що генерує очистки овочів та фруктів, залишки їжі після приготування, недоїдки та зіпсовані продукти. Значні обсяги харчових відходів також утворюються в закладах громадського харчування (ресторанах, кафе, їдальнях), включаючи кухонні відходи та недоїдки відвідувачів. До цього переліку також входять залишки

їжі з їдалень навчальних та медичних закладів, а також з ресторанів та кухонь готельного бізнесу. Усі ці джерела формують складний, різномірний потік відходів, що вимагає диференційованого підходу до збору та подальшої переробки [24].

Хімічний склад та фізичні властивості харчових відходів. Розуміння складу та властивостей харчових відходів є критично важливим для ефективності процесу компостування та оптимізації його параметрів. Хімічно харчові відходи складаються переважно з органічних сполук - вуглеводів (целюлоза, крохмаль, цукри), білків та жирів, які є живильним середовищем для мікроорганізмів, що здійснюють біодеградацію. Вони також багаті на макроелементи, такі як азот (N), фосфор (P) та калій (K), що є основними поживними речовинами для рослин і цінними компонентами майбутнього компосту. Співвідношення вуглецю до азоту (C/N) є одним з ключових показників для успішного компостування. Крім того, харчові відходи містять необхідні мікроелементи (кальцій, магній, сірка, залізо, цинк тощо). Фізичні властивості харчових відходів визначаються насамперед дуже високим вмістом води, часто до 70-90% від загальної маси, що забезпечує вологість, але може спричиняти ущільнення, погіршення аерації та розвиток анаеробних процесів при відсутності належного контролю. Щільність харчові відходи зазвичай вища, ніж у більшості інших компонентів побутових відходів, а їхня структура та розмір частинок можуть бути дуже різноманітними. Важливою негативною властивістю є утворення інтенсивних неприємних запахів при анаеробному розкладі, спричинених виділенням сірководню, аміаку та летких жирних кислот [21].

Неправильне поводження з харчовими відходами, особливо їх захоронення на полігонах, призводить до серйозних екологічних та економічних наслідків [11, 14]. З екологічного погляду, основним ризиком є забруднення ґрунтів та підземних вод через утворення фільтрату (ліквідату) – високотоксичної рідини, що проникає в довкілля. Однією з

найсерйозніших проблем є викиди парникових газів. Коли органічні відходи розкладаються на сміттєзвалищах за відсутності кисню (в анаеробних умовах), утворюється метан (CH_4). Цей газ у 25-30 разів ефективніше затримує тепло в атмосфері, ніж вуглекислий газ, що робить його потужним драйвером глобального потепління. Навіть при аеробному розкладанні або спалюванні відходів виділяється вуглекислий газ (CO_2) – ще один важливий парниковий газ [35].

Крім того, полігони є джерелом неприємних запахів, що створюють дискомфорт для населення, та місцем розмноження шкідників і переносників хвороб [32].

Розкладання органіки харчових відходів призводить до утворення фільтрату – токсичної рідини, що містить важкі метали, патогени та надлишок поживних речовин. Цей фільтрат може просочуватися в ґрунтові води та ґрунт, забруднюючи джерела питної води та сільськогосподарські угіддя. Надмірний вміст поживних речовин (азоту та фосфору) спричиняє евтрофікацію водойм. Це провокує бурхливе зростання водоростей, які, відмираючи, виснажують кисень у воді, що призводить до загибелі риб та руйнування водних екосистем.

Харчові відходи є ідеальним середовищем для розмноження бактерій, вірусів та інших патогенів, що можуть викликати захворювання у людей і тварин. Крім того, нагромадження органіки приваблює гризунів, комах та інших переносників хвороб, створюючи серйозні ризики для здоров'я населення, особливо поблизу сміттєзвалищ [32-34].

Процес розкладання органічних речовин супроводжується виділенням неприємних запахів (наприклад, сірководню, аміаку), які створюють дискомфорт для мешканців прилеглих територій. Крім того, викидання харчових відходів – це марнотратство цінних ресурсів: води, енергії, землі, які були затрачені на їх виробництво. Збільшення обсягів

сміття також вимагає виділення нових територій під сміттєзвалища, що призводить до деградації природних ландшафтів.

Викидання харчові відходи також означає виснаження природних ресурсів, витрачених на їхнє виробництво. З економічної точки зору, нераціональне поводження з харчовими відходами тягне за собою значні витрати на збір, транспортування та захоронення, що лягає важким тягарем на міські бюджети. Це також призводить до втрати цінних ресурсів, адже органічні речовини та поживні елементи, що містяться у відходах, могли б бути перетворені на якісне органічне добриво. Негативні наслідки включають зниження вартості нерухомості поблизу полігонів, ризики штрафів та санкцій за порушення екологічного законодавства, а також репутаційні ризики для міста. Таким чином, неефективне поводження з харчовими відходами не лише шкодить навколишньому середовищу, а й несе значні економічні втрати, підкреслюючи нагальну потребу в оптимізації процесів їх переробки, зокрема через компостування.

Загалом, екологічні проблеми, що пов'язані вмістом органіки у харчових відходах представлено на рисунку 1.1.

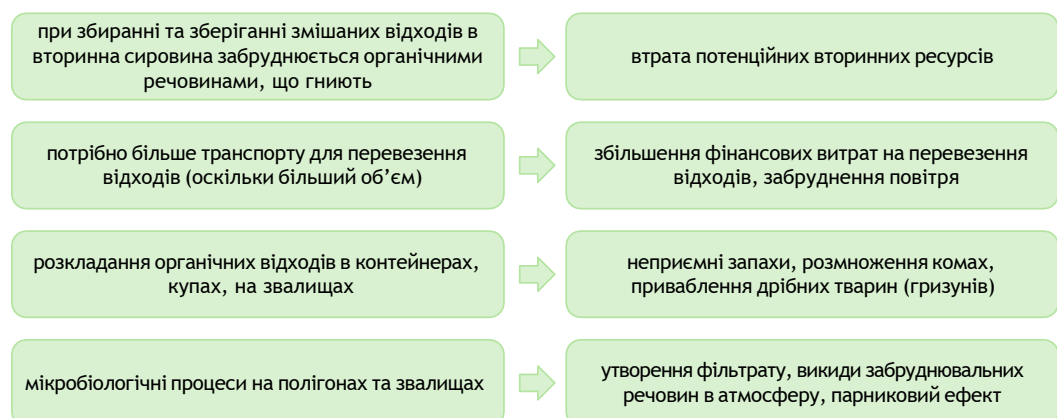


Рисунок 1.1 Екологічні проблеми, пов'язані з вмістом органіки у відходах

Для ефективного подолання цих екологічних проблем потрібен комплексний підхід. Він включає кілька ключових напрямків. По-перше, це

запобігання утворенню відходів: максимально скоротити кількість харчових відходів на всіх етапах — від виробництва до споживання. Це означає раціональне планування закупівель, правильне зберігання продуктів та розумне використання залишків їжі. По-друге, важливим є компостування — перетворення органічних відходів на цінне органічне добриво. Компост збагачує ґрунт, покращує його структуру і зменшує потребу в хімічних добривах. По-третє, застосовується анаеробне зброджування: цей метод перетворює органічні відходи на біогаз (відновлюване джерело енергії) та біодобрива. Він дозволяє отримати енергію та одночасно зменшити обсяги відходів, отримуючи при цьому цінний побічний продукт. І нарешті, провадження систем роздільного збору харчових відходів дозволяє ефективно направляти органіку на компостування або анаеробне зброджування, а не на сміттєзвалище.

Впровадження цих заходів допоможе значно зменшити негативний вплив органічних відходів на довкілля та сприятиме переходу до більш сталого та екологічно відповідального способу життя.

У сучасному світі, де природні ресурси стрімко виснажуються, а забруднення довкілля сягає загрозливих масштабів, перед людством стоїть найважливіше завдання - досягти гармонійного балансу між економічним зростанням та екологічною стійкістю. Саме цей баланс є ключовим для нашого майбутнього, і шлях до нього пролягає через перехід країн на засади циркулярної економіки (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Модель циркулярної економіки

1.2 Принципи та механізми процесу компостування

Компостування – це природний процес, який перетворює органічні відходи на багате поживними речовинами добриво для ґрунту, відоме як компост [25]. Цей процес зазвичай проходить через чотири ключові стадії, кожна з яких відіграє важливу роль у створенні високоякісного кінцевого продукту.

На першому етапі, попередній обробці, відбувається підготовка сировини до ефективного розкладання. Це включає подрібнення або шредування великих шматків органічної речовини, таких як гілки, листя або харчові відходи, на менші частини. Це значно збільшує площу поверхні матеріалу, роблячи його більш доступним для мікроорганізмів і прискорюючи подальше розкладання. Крім того, до суміші додається вода, щоб забезпечити оптимальний рівень вологи, яка є необхідною для життєдіяльності мікроорганізмів.

Після попередньої обробки починається первинна стадія розкладання, також відома як стадія активного компостування або термофільна стадія. Це найбільш динамічна фаза процесу, що характеризується інтенсивною мікробною активністю: мільйони мікроорганізмів, переважно бактерії та гриби, починають активно розщеплювати складні органічні сполуки на простіші речовини. Цей процес розкладання є екзотермічним, тобто він виділяє значну кількість тепла, і температура всередині компостної купи може швидко підвищуватися, досягаючи 60-70°C (140-160°F) або навіть вище. Ці високі температури важливі, оскільки вони допомагають знищити патогени, насіння бур'янів та інші небажані елементи, а також прискорюють хімічні реакції.

Коли більшість легкокорозчинних органічних речовин розкладено, температура компостної купи поступово знижується, і починається стадія

дозрівання (або охолодження). Це фаза стабілізації та подальшого розкладання: активна мікробна діяльність сповільнюється, і тепловиділення зменшується, дозволяючи купі охолонути до температури навколишнього середовища. Зі зниженням температури в компостну купу мігрують нові групи організмів, такі як дощові черв'яки, багатоніжки, кліщі та інші ґрунтові безхребетні. Ці організми відіграють ключову роль у подальшому роздробленні та переробці матеріалу. Процес розкладання продовжується, але вже повільніше, завдяки діяльності цих макроорганізмів та грибів, які розщеплюють більш стійкі сполуки. На цьому етапі також відбувається формування стабільних гумусних сполук, які є основою родючості ґрунту. Тривалість цього етапу може варіюватися від кількох тижнів до шести місяців або довше, залежно від типу вихідних матеріалів, розміру купи та умов навколишнього середовища.

Остання стадія – це стабілізація, коли компост досягає своєї кінцевої форми, стає зрілим і готовим до використання. На цьому етапі компост стає стабільним і має збалансоване співвідношення поживних речовин, оскільки процес розкладання значно сповільнився, і більшість органічних речовин перетворилися на гумус. Зрілий компост має темно-коричневий колір, розсипчасту текстуру, приємний земляний запах і не містить залишків оригінальних матеріалів. Він безпечний і дуже корисний для додавання в ґрунт, покращуючи його структуру, водоутримувальну здатність та забезпечуючи рослини необхідними поживними речовинами.

Розуміння цих етапів допомагає оптимізувати процес компостування та створювати високоякісний компост, який сприяє здоровому росту рослин та покращенню стану ґрунту.

Компостування – це динамічний, керований людиною біологічний процес, що імітує природне розкладання органіки. Розуміння та контроль ключових принципів та механізмів дозволяє ефективно перетворювати

органічні відходи на цінний ресурс, сприяючи сталому управлінню відходами та відновленню родючості ґрунтів.

1.3 Екологічні переваги компостування харчових відходів

У сучасному світі, де зростає екологічна свідомість та потреба в сталому управлінні ресурсами, компостування органічних відходів набуває особливого значення як екологічно прийнятний метод поводження з ними. На відміну від традиційного захоронення на полігонах, яке спричиняє низку негативних екологічних наслідків, компостування є природним процесом біологічної трансформації органічної речовини, що відбувається в контрольованих умовах [26].

Екологічність компостування проявляється на багатьох рівнях. По-перше, воно суттєво зменшує обсяги відходів, що потрапляють на полігони. Це не лише знижує навантаження на земельні ресурси, а й мінімізує ризики забруднення ґрунтових вод і ґрунтів фільтратом – рідиною, що утворюється при розкладанні відходів. По-друге, компостування відіграє ключову роль у скороченні викидів парникових газів, зокрема метану. Метан утворюється в анаеробних (безкисневих) умовах полігонів і є значно потужнішим парниковим газом, ніж вуглекислий газ. Оскільки перетворення органічних відходів на компост відбувається в аеробних (з доступом повітря) умовах, потенціал утворення метану значно знижується. Крім того, кінцевий продукт компостування – компост – є цінним органічним добривом. Його можна використовувати в сільському господарстві, для озеленення міст та в приватному садівництві. Застосування компосту покращує структуру ґрунту, підвищує його вологоутримувальну здатність, збагачує поживними речовинами та сприяє розвитку корисної мікрофлори. Це, у свою чергу, зменшує потребу у використанні синтетичних мінеральних добрив та

пестицидів, сприяючи замиканню циклу органічної речовини та зниженню негативного антропогенного впливу на навколишнє середовище.

Існує поширена помилка, що роздільний збір органічних відходів є безглуздом через їхнє "швидке розкладання" на полігонах. Однак для ефективного розкладання органіки потрібні певні умови, такі як доступ повітря, сонячне світло та корисні мікроорганізми. На звалищах ці умови відсутні, тому органічні відходи не розкладаються належним чином, а гниють, виділяючи шкідливі звалищні гази, зокрема метан. Це не лише підвищує ризик самозаймання полігонів у теплий період, а й є значним чинником зміни клімату. Перенаправлення потоку органічних відходів зі звалищ на контрольоване компостування є стратегічно важливим кроком, що відкриває широкий спектр екологічних та соціально-економічних переваг [27].

Ключові аспекти цієї трансформації полягають у перетворенні відходів на цінне органічне добриво та відновленні родючості ґрунтів. Застосування компосту – це екологічно обґрунтований спосіб повернення цінних поживних речовин до ґрунту, що покращує його структуру, підвищує волого- та повітропроникність, активізує корисну ґрунтову мікрофлору та, як наслідок, підвищує природну родючість. Це призводить до зменшення залежності від штучних добрив, зниження ризиків забруднення водних ресурсів та виробництва більш екологічно чистої сільськогосподарської продукції, сприяючи розвитку сталого сільського господарства (рисунок 1.2).

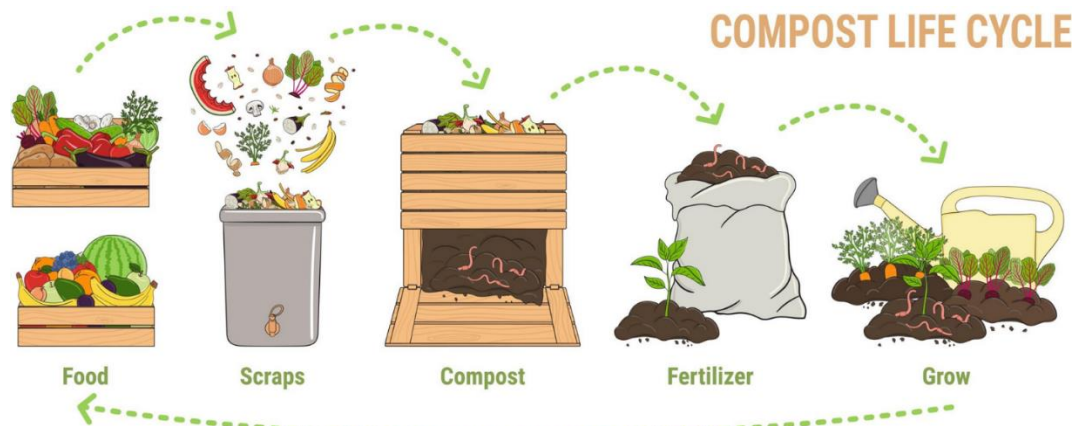


Рисунок 1.2 Життєвий цикл органічної речовини харчових відходів

Окрім цього, компостування забезпечує економію енергетичних ресурсів та зменшення транспортного навантаження. Процес компостування зазвичай потребує значно менше енергії порівняно зі складними процесами стабілізації органічних відходів на великих сміттєпереробних заводах.

Впровадження локальних або регіональних систем компостування дозволяє суттєво скоротити або повністю уникнути необхідності транспортування значних обсягів органічних відходів на віддалені полігони. Це призводить до значної економії пального, зменшення викидів забруднюючих речовин та парникових газів від вантажного транспорту, а також знижує навантаження на дорожню інфраструктуру. Також відбувається зниження ризиків самозаймання та покращення екологічної безпеки сміттєзвалищ [22].

Накопичення органічних відходів на полігонах створює сприятливі умови для анаеробного розкладання, що призводить до виділення горючих газів, таких як метан. У спекотну пору року це значно підвищує ризик самозаймання сміттєзвалищ, що спричиняє неконтрольовані викиди токсичних речовин у атмосферу та загрозу для здоров'я мешканців. Перенаправлення органічних відходів на компостування дозволяє уникнути цих процесів гниття та виділення горючих газів, суттєво знижуючи

ймовірність пожеж на звалищах. І нарешті, компостування є активною боротьбою зі зміною клімату через скорочення викидів метану. Сектор управління відходами є одним із значних джерел антропогенних викидів парникових газів, і впровадження ефективних систем роздільного збору та компостування органічних відходів дозволяє запобігти їхньому потраплянню на звалища та перетворити їх на стабільний органічний продукт [28].

Впровадження централізованого компостування є ефективним рішенням для міст, що допомагає боротися з вищезгаданими проблемами, а також відкриває додаткові фінансові та нефінансові переваги. При цьому органічні відходи транспортуються на спеціалізований майданчик – компостовню, де процес здійснюється у буртах із використанням аератора (перетрушувача компосту) для забезпечення необхідного рівня кисню. Впровадження ефективної системи збору та переробки органічних відходів, хоча й вимагає початкових інвестицій, є стратегічно вигідним рішенням, яке в довгостроковій перспективі призводить до значної економії коштів міського бюджету у різних ключових сферах. Це проявляється в оптимізації витрат на транспортування та логістику відходів за рахунок скорочення маси та об'єму відходів, що підлягають захороненню. Змінюється також інфраструктура поводження з відходами, адже компостувальні станції є економічно вигідною альтернативою сміттєпереробним заводам, вимагаючи значно менших капіталовкладень. Крім того, зменшення обсягів відходів, що потрапляють на полігони, має прямий вплив на термін їхньої експлуатації, відтерміновуючи необхідність пошуку нових ділянок та зменшуючи обсяг майбутніх витрат на закриття та рекультивацію. Окрім прямої економії бюджетних коштів, налагоджена система компостування відкриває можливість отримання додаткових доходів для міста від продажу якісного компосту.

Отже, інвестиції у створення ефективної системи збору та переробки органічних відходів є не лише екологічно відповідальним кроком, але й економічно обґрунтованим рішенням. Це забезпечує значну економію бюджетних коштів у комунальній сфері, інфраструктурі поводження з відходами та обслуговуванні полігонів, а також відкриває можливість отримання додаткових доходів від реалізації якісного компосту. У довгостроковій перспективі така система сприяє більш ефективному та сталому управлінню міськими ресурсами та покращенню фінансового стану громади. Перехід до масового компостування органічних відходів є не просто способом утилізації сміття, а комплексним екологічно та економічно вигідним рішенням, що сприяє відновленню ґрунтів, економії ресурсів, підвищенню екологічної безпеки та активній боротьбі зі зміною клімату, що в кінцевому підсумку позитивно впливає на добробут та здоров'я населення.

1.4 Сучасні методи та технології компостування харчових відходів

Компостування є одним із найефективніших та екологічно доцільних методів переробки органічних харчових відходів, дозволяючи перетворити їх на цінне добриво, зменшуючи навантаження на сміттєзвалища та повертаючи поживні речовини в ґрунт. Сучасні технології варіюються від простих до складних, адаптованих до різних масштабів і вимог [23].

В залежності від технології та оснащення, компостування може здійснюватись в штабелях або в спеціальних спорудах такими методами компостування в компостерах, польове компостування природним способом, польове компостування прискореним способом, безкамерне компостування прискореним способом (у котлованах з примусовою аерацією), компостування у біотермічних камерах, промисловий метод компостування [7].

Традиційні методи компостування, такі як компостна купа та компостний бургт, є найстарішими і найдоступнішими, часто використовуються на невеликих масштабах, у приватних домогосподарствах або невеликих фермах (рисунк 1.3). Традиційні методи компостування – це фундаментальні, перевірені часом підходи, які засновані на природних процесах розкладання органічних речовин мікроорганізмами. Вони ідеально підходять для невеликих обсягів відходів, як-от у приватних домогосподарствах, невеликих фермах або на дачних ділянках [11, 16].

Компостна купа - це найпростіший і найдоступніший спосіб. Харчові відходи укладаються шарами, чергуючись з іншими органічними матеріалами, багатими на вуглець (наприклад, сухе листя, солома, дрібні гілки) та азот (свіжоскошена трава, зелені залишки). Важливо підтримувати оптимальне співвідношення цих компонентів, достатню вологість та забезпечувати доступ повітря. Процес розкладання відбувається природним шляхом, хоча й повільно. Періодичне перемішування купи значно покращує аерацію та прискорює дозрівання компосту, дозволяючи досягти температур, достатніх для знищення багатьох патогенів та насіння бур'янів [5].

Компостний бургт - метод є масштабованою версією компостної купи, призначеною для обробки більших обсягів відходів. Органічні матеріали формуються у довгі насипи – бурти. Їхнє регулярне перевертання, що може здійснюватися вручну або за допомогою спеціалізованої техніки (компостних ворошилок), забезпечує кращу аерацію та рівномірне розкладання. Хоча бурти вимагають більше простору та трудових ресурсів, ніж прості купи, вони значно ефективніші для середніх обсягів органіки,

дозволяючи прискорити процес.



Рисунок 1.3 Традиційні методи компостування
(компостна купа та компостний бурт)

Інтенсивні технології компостування розроблені для значного прискорення процесу, забезпечення повного контролю над умовами розкладання та обробки величезних обсягів харчових відходів. Вони є незамінними для міських центрів, великих підприємств громадського харчування та промислових об'єктів. Хоча початкові інвестиції в такі системи вищі, вони забезпечують високу ефективність, стабільну якість компосту та суворий контроль над екологічними показниками.

Безкамерне компостування у котлованах з примусовою аерацією – це сучасний інтенсивний метод переробки органічних відходів, що поєднує переваги просторої відкритої системи з керованістю процесу, характерною для закритих реакторів. Цей підхід є проміжним між традиційними буртами та складними закритими установками, пропонуючи ефективне рішення для

середніх та великих обсягів органіки, зокрема харчових відходів. На відміну від повністю закритих систем, де компостування відбувається у герметичних контейнерах, або традиційних буртів, які залежать від природної конвекції повітря, цей метод використовує спеціально підготовлені котловани (або бункери) та примусову подачу повітря.

Компостування у біотермічних камерах – це передова, інтенсивна технологія переробки органічних відходів, яка належить до закритих або "ін-вessel" (in-vessel) систем. Цей метод забезпечує повний контроль над умовами процесу, що робить його надзвичайно ефективним для швидкого та санітарно безпечного перетворення значних обсягів харчових та інших органічних відходів на високоякісний компост.

Біотермічні камери – це, по суті, великі, герметичні або напівгерметичні реактори, спеціально розроблені для створення ідеальних умов для життєдіяльності аеробних мікроорганізмів, відповідальних за розкладання органіки. Компостування в реакторах (закриті системи) - це вершина технологічного компостування. Процес відбувається у спеціально спроектованих закритих ємностях, контейнерах або тунелях. Такі системи дозволяють повністю контролювати всі ключові параметри: температуру, вологість, рівень кисню та час перебування матеріалу. Завдяки примусовій аерації, автоматичному перемішуванню та моніторингу, розкладання органіки прискорюється до кількох днів або тижнів. Закриті реактори мінімізують викиди неприємних запахів, ефективно запобігають поширенню шкідників і гарантують знищення патогенів завдяки підтриманню стабільно високих температур. Це ідеальне рішення для великомасштабної переробки відходів, де важлива висока продуктивність, санітарна безпека та екологічна чистота.



Рисунок 1.4 Компостер-реактор

Компостування з примусовою аерацією (контрольоване провітрювання) - це метод, який є перехідним варіантом між традиційними буртами та повністю закритими системами. Органічні матеріали формуються у бурти або розміщуються на спеціальних майданчиках, але повітря подається в товщу матеріалу примусово через перфоровані труби або вентилятори, розташовані під матеріалом (рисунок 1.5). Така контрольована подача кисню забезпечує стабільну аерацію, дозволяє керувати температурою та значно прискорює розкладання порівняно з традиційними буртами. Цей метод ефективний для обробки великих обсягів відходів, знижуючи потребу у частому механічному перемішуванні та забезпечуючи більш прогнозований результат [13].



Рисунок 1.5 Перетрушувач компосту, аератор

На противагу, інтенсивні технології компостування, зокрема в реакторах (закриті системи) та з примусовою аерацією, розроблені для

прискорення процесу, контролю умов та обробки великих обсягів харчових відходів, що особливо актуально для міських умов та промисловості.

Досвід впровадження компостування харчових відходів у великих містах світу демонструє його ефективність та важливість у сталому управлінні ресурсами. Сан-Франциско, США, є світовим лідером, який запровадив обов'язковий роздільний збір органічних відходів для всіх домогосподарств, підприємств та ресторанів. Зібрані відходи переробляються на великих промислових компостних заводах, а отриманий компост використовується в сільському господарстві та для озелененні, що дозволило значно зменшити обсяги сміття на сміттєзвалищах. Мілан, Італія, активно розвиває систему роздільного збору харчових відходів "від дверей до дверей", направляючи зібрану органіку на анаеробне зброджування для виробництва біогазу та подальше компостування, що не тільки зменшує кількість сміття, але й генерує відновлювану енергію. Сеул, Південна Корея, запровадив систему "плати за вагу" для харчових відходів, стимулюючи їх зменшення, та інвестує в модернізацію інфраструктури для компостування та анаеробного зброджування. Ванкувер, Канада, також реалізував програму обов'язкового роздільного збору органіки, включаючи харчові відходи, для жителів та бізнесу, відправляючи зібрані матеріали на великомасштабні компостні установки [16].

Ці успішні приклади з різних куточків світу чітко демонструють, що ефективне впровадження компостування харчових відходів у великих містах потребує комплексного підходу, що включає добре продуману політику, значні інвестиції у відповідну інфраструктуру, а також активну участь та високий рівень обізнаності населення [7]. Це дозволяє перетворити відходи на ресурс, сприяючи циркулярній економіці та сталому розвитку.

2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ПОВОДЖЕННЯ З ХАРЧОВИМИ ВІДХОДАМИ ТА ПОТЕНЦІАЛ ЇХ КОМПОСТУВАННЯ В УМОВАХ МІСТА ЛЬВІВ

2.1. Загальна характеристика системи поводження з побутовими відходами у м. Львів

Ефективне управління харчовими відходами є критично важливим аспектом сталого розвитку будь-якого сучасного міста, і Львів не є винятком. Система поводження з ПВ у Львові, як і в більшості українських міст, перебуває на етапі трансформації, але її основою поки що залишається захоронення на полігонах. Це створює низку екологічних, економічних та соціальних викликів, особливо стосовно органічної фракції відходів [29, 30].

Харчові відходи становлять значну частину загального обсягу ПВ у Львові. Загальноукраїнські та світові тенденції свідчать, що органічна фракція може сягати 30-40% за масою від загального обсягу побутових відходів. У Львові основними джерелами утворення харчових відходів є житловий сектор, заклади громадського харчування, ринки та супермаркети, харчова промисловість.

Домогосподарства генерують найбільшу частку харчових відходів, включаючи залишки їжі, очистки овочів та фруктів, зіпсовані продукти. Обсяги можуть варіюватися залежно від пори року, культурних звичок та рівня доходів населення. Ресторани, кафе, їдальні, готелі та інші заклади генерують значні обсяги харчових відходів – як залишки після приготування, так і недоїдки відвідувачів. Ці відходи часто є більш однорідними за складом, ніж побутові.

Продовольчі ринки, супермаркети та інші торговельні точки є джерелом великої кількості овочів, фруктів та інших органічних продуктів,

які не були реалізовані та втратили товарний вигляд. Ці відходи часто мають менший ступінь забруднення іншими фракціями відходів.

Щодо харчової промисловості, хоча не завжди її відходи включають до категорії ПВ, відходи переробних підприємств (м'ясокомбінати, молочні заводи, хлібозаводи тощо), проте вони є також є значним джерелом органіки, яка має високий потенціал для компостування або анаеробного зброджування.

Комплексний аналіз середнього морфологічного складу органічних компонентів відходів, що утворюються в місті Львів, виявляє кілька ключових тенденцій, які вказують на існуючі проблеми та значні можливості для покращення системи управління відходами, особливо в контексті харчових відходів (рисунк 2.1).

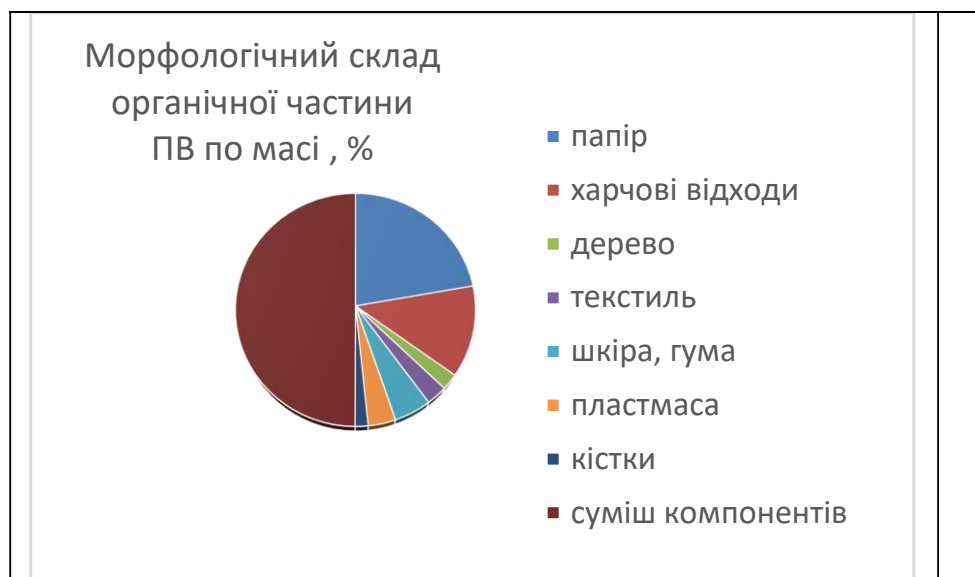


Рисунок - 2.1 Морфологічний склад органічної частини побутових відходів міста Львова

Домінуюча частка суміші компонентів (47,2%) є найбільш яскравим показником неефективного сортування відходів на етапі їх збору. Ця велика кількість змішаних відходів значно ускладнює їх подальшу переробку, а

також перешкоджає ефективному вилученню харчових відходів для подальшого використання.

Поруч із папером (21,0%), харчові відходи становлять значну частину (12,0%) загального обсягу відходів, що надходять на полігон. Ці фракції є цінною сировиною, яка може бути успішно перероблена або компостована. Їхня значна частка підкреслює величезний потенціал для розширення програм компостування та анаеробного зброджування, особливо щодо харчових відходів.

Якщо розглядати виключно органічну частину ПВ, то харчові відходи (25,4%) посідають другу позицію після паперу (44,5%). Це ще раз підтверджує, що саме харчові відходи є ключовим компонентом, який необхідно пріоритизувати для впровадження ефективних систем роздільного збору та переробки. Їхнє належне управління не тільки зменшить обсяг відходів, що надходять на полігони, але й дозволить виробляти цінні добрива або біогаз.

Підсумовуючи, дані аналізу чітко вказують на гостру необхідність покращення системи роздільного збору відходів на рівні домогосподарств та закладів, з особливим акцентом на виокремленні харчових відходів [35].

Запровадження або розширення програм компостування та/або анаеробного зброджування харчових відходів для зменшення їхнього обсягу, що надходить на полігони, та використання їхнього потенціалу як ресурсу.

Ці заходи дозволять не тільки зменшити навантаження на полігони, а й перетворити харчові відходи на цінні ресурси, сприяючи сталому розвитку та захисту довкілля.

Наразі у Львові переважає змішаний збір ПВ. Це означає, що харчові відходи збираються разом з іншими фракціями (пластик, папір, скло, метал) у загальні контейнери. Мешканці та організації викидають відходи у стандартні контейнери, розташовані на прибудинкових територіях або

спеціальних майданчиках. Зібрані змішані відходи вивозяться спеціалізованими сміттєвозами на сортувальні лінії або безпосередньо на полігони.

Хоча в місті діють програми роздільного збору, спрямовані на виокремлення вторинної сировини (пластик, папір, скло), окремий збір харчових відходів на рівні всього міста ще не запроваджений централізовано. Це призводить до значного забруднення органіки іншими відходами, ускладнюючи її подальшу переробку та знижуючи якість потенційного компосту. Деякі приватні ініціативи або ОСББ можуть організовувати локальний збір органіки, але це не є системним рішенням.

Існуюча система поводження з харчовими відходами у Львові стикається з низкою серйозних проблем. Основний виклик – це перевантаження та закриття полігонів ПВ, зокрема Грибовицького полігону, що раніше приймав лвову частку сміття зі Львова. Це створює логістичні та екологічні проблеми, змушуючи транспортувати відходи на віддаленіші полігони.

Наявність великої кількості органіки на полігонах призводить до утворення токсичного фільтрату, що забруднює ґрунтові та поверхневі води. Крім того, анаеробне розкладання генерує значні обсяги метану (CH_4) – потужного парникового газу, що сприяє зміні клімату.

Розкладання харчових відходів є джерелом сильних неприємних запахів, що негативно впливає на якість життя мешканців прилеглих до полігонів територій. Також це приваблює гризунів та комах, створюючи ризики для громадського здоров'я.

Захоронення харчових відходів є марнотратством цінних органічних речовин та поживних елементів (азот, фосфор, калій), які могли б бути використані для підвищення родючості ґрунтів.

Попри спроби впровадження роздільного збору, відсутність системного окремого збору органіки призводить до її забруднення іншими фракціями, ускладнюючи подальшу переробку.

Транспортування змішаних відходів, значну частину яких складає волога органіка, є неефективним з економічної точки зору через високу масу та об'єм.

2.2 Оцінка ресурсного потенціалу харчових відходів для компостування

Попри виклики, харчові відходи Львова мають значний ресурсний потенціал, який може бути реалізований через компостування.

За різними дослідженнями та експертними оцінками, органічна фракція, до якої належать харчові відходи, становить найбільшу частку у складі ПВ в українських містах. Ця частка може коливатися в межах 30-40% і більше від загальної маси відходів. Точні дані для Львова потребують проведення свіжих, репрезентативних морфологічних досліджень на різних ділянках утворення відходів (житловий фонд, ЗГХ, ринки), оскільки морфологічний склад може змінюватися з часом і залежить від соціально-економічних факторів. Проте, очевидно, що ця фракція є достатньо об'ємною, щоб обґрунтувати створення спеціалізованої інфраструктури для її переробки, такої як компостні комплекси [2].

Обсяги та склад харчових відходів у Львові мають сезонні коливання, що необхідно враховувати при плануванні потужностей компостних комплексів. Так літній та осінній періоди характеризуються збільшенням обсягів харчових відходів, особливо залишків фруктів, овочів, ягід. Це пов'язано з сезоном збору врожаю та більшим споживанням свіжих продуктів. Вміст вологи у відходах також може бути вищим.

Весняний та зимовий періоди можуть мати дещо менші обсяги, але склад може бути більш стабільним. Взимку може збільшуватися частка більш цільних залишків, наприклад, кісток.

Врахування цих коливань дозволить оптимізувати роботу компостних установок, планувати запаси структурних матеріалів (тирса, тріска), які необхідні для балансування співвідношення вуглецю до азоту та забезпечення належної пористості суміші для компостування.

Ефективне впровадження компостування в місті Львів вимагає не лише технічної готовності, але й сприятливої нормативно-правової бази та підтримки на різних рівнях. В Україні останнім часом спостерігаються значні зрушення у законодавстві щодо управління відходами, що відповідають європейським директивам.

Закон України "Про управління відходами" (набув чинності у 2023 році). Цей закон є рамковим і запроваджує ієрархію управління відходами, де запобігання утворенню та повторне використання/переробка (включно з компостуванням) стоять вище за захоронення. Він передбачає запровадження розширеної відповідальності виробника, а також обов'язковий роздільний збір біовідходів (до яких належать харчові відходи). Це створює правову основу для розвитку компостування [10, 38].

Національна стратегія управління відходами визначає ключові напрямки розвитку галузі, включно зі зменшенням обсягів захоронення та збільшенням переробки органіки [10, 15]. Інші підзаконні акти та нормативні документи розробляються та впроваджуються технічні регламенти, санітарні норми та правила, що стосуються збору, транспортування та переробки органічних відходів, включаючи вимоги до якості компосту.

Одним із механізмів планування діяльності громади у сфері керування відходами можуть стати місцеві плани управління відходами

[17]. Загальна логіка полягає в тому, що вони мають стати наступним рівнем деталізації планування у сфері керування відходами (рисунок 2.2).



Рисунок - 2.2 Загальна логістична матриця планування

Ці законодавчі зміни створюють сприятливе середовище для розвитку компостування, хоча їх імплементація на місцевому рівні вимагає значних зусиль.

2.3 Львівська компостувальна станція як елемент міської системи управління харчовими відходами: аналіз функціонування та ефективності

У світлі загальнодержавної стратегії зі сталого управління відходами та європейських інтеграційних прагнень України, питання ефективної утилізації органічних відходів у містах набуває особливої значущості. Львів, як один з найбільших центрів країни, активно впроваджує сучасні рішення у сфері поводження з побутовими відходами (ПВ), де компостування посідає ключове місце.

Значним кроком на шляху до реалізації принципів циркулярної економіки та сталого розвитку у Львові стало створення та введення в експлуатацію Львівської компостувальної станції. Цей об'єкт є яскравим прикладом практичного застосування передових технологій переробки органіки. Він наочно демонструє, як компостування може ефективно зменшити навантаження на полігони, продукувати цінні органічні добрива та мінімізувати негативний вплив на довкілля.

Львівська компостувальна станція, керована ЛКП «Зелене місто», розпочала свою роботу в червні 2020 року. Вона переробляє не лише харчові відходи, зібрані від мешканців та підприємств, а й гілки та опале листя, що збираються комунальними службами, трансформуючи їх на добрива. Цей об'єкт є першою в Україні станцією такого типу та першою централізованою системою збору та переробки органічних відходів у країні.

Для зручності збору харчових відходів від населення, на контейнерних майданчиках Львова встановлені окремі спеціалізовані контейнери об'ємом 120 або 240 літрів. Кількість цих контейнерів і періодичність їх вивезення гнучко коригуються залежно від обсягів та швидкості накопичення відходів у кожній конкретній локації, забезпечуючи ефективність системи. Щомісячний обсяг органічних відходів, що надходять на станцію, коливається в залежності від сезону, і становить від 200 до 1000 тонн.

За даними ЛКП «Зелене місто», щороку у Львові збирається понад 16 тисяч тонн рослинних відходів. Це свідчить про значний потенціал для переробки органіки. Зокрема, лише протягом липня місто збирає в середньому 930 тонн органічних відходів. З них понад 200 тонн припадає на харчові відходи від підприємств, понад 120 тонн – на органічні відходи від мешканців, а 610 тонн – на садові та паркові відходи. Обсяги відходів, що надходять на станцію, хоч і змінюються щомісяця, завжди становлять сотні тонн.

Органічні відходи доставляються на компостувальну станцію як комунальними, так і приватними підприємствами. Важливо, що усі мешканці Львова мають змогу самостійно привозити на станцію свої органічні відходи, включно з харчовими та садовими відходами, листям і гілками. Це забезпечує своєчасну переробку, запобігаючи гниттю органіки на звичайних полігонах ПВ [32].

Львів демонструє значний прогрес у розширенні інфраструктури для роздільного збору органіки. Наразі у місті встановлено 1660 контейнерів для сортування харчових відходів на 1513 локаціях. Це означає, що 99% мешканців Львова мають доступ до можливості сортувати органіку. Проте, попри це, однією з проблем залишається домішування інших відходів у контейнери для органіки, що вимагає додаткового сортування працівниками компостувальної станції.

До розвитку системи збору органіки активно долучаються такі компанії, як ТЗОВ «Грінера Україна», ТЗОВ «Ековей Вейст Менеджмент» та ЛКП ТФ «Львівспецкомунтранс».

Зокрема, пілотний проєкт з окремого збору та вивезення органіки успішно стартував у кількох ОСББ Львова, де мешканці отримали змогу сортувати органічні відходи у спеціальні баки. Компанія ТЗОВ «Грінера Україна» розмістила ці контейнери, відходи з яких направляються на компостування. На сьогодні у Львові вже встановлено 1350 таких спеціальних контейнерів для збору органічних відходів. Ці пластикові контейнери відрізняються від інших меншим розміром, мають коричневий колір та відповідне маркування.

Для ефективного та якісного компостування органічних відходів у Львові діє чітке правило: вони мають потрапляти у спеціальні коричневі контейнери виключно без пакування. Дозволено викидати сирі овочеві та фруктові залишки, шкаралупу від сирих яєць, чайну заварку, скошену траву, зів'ялі квіти та опале листя. Категорично заборонено викидати будь-яку

упаковку (пакети, плівку, тетрапаки), а також рідкі харчові відходи (оцет, олію, соки, молоко), продукти тваринного походження (кістки, м'ясо, рибу, сир, йогурт, вершкове масло) та готові страви (каші, картоплю тощо). Ці контейнери розроблені спеціально: вони обладнані подвійним дном для відокремлення рідини та бічними отворами для провітрювання. Така конструкція запобігає запарюванню органіки, забезпечує постійний обмін повітря та мінімізує появу неприємного запаху.

На сьогодні переважна більшість сміттєвих майданчиків міста (99%) має контейнери для збору органіки, що робить сортування доступним для 97% міського населення. Додатково, для збору гілок, квітів та листя, у парках Львова буде встановлено не менше 20 спеціальних баків.

Процес роботи зі свіжою органікою на станції компостування починається з її зважування. Далі відходи надходять на спеціальні майданчики, де відбувається ручне сортування. Це необхідно для видалення неорганічних забруднень, таких як упаковка та поліетилен, адже якість первинного сортування органіки самими мешканцями поки що недостатня.

Львівська станція компостування використовує технологію переробки органічних відходів, яка складається з підготовчого та основного етапів. Загалом, весь процес компостування займає до восьми тижнів.

Підготовчий етап починається безпосередньо з сортування органічних відходів мешканцями та складання їх у спеціальні коричневі контейнери. Ці контейнери призначені виключно для органічних матеріалів рослинного походження, придатних для компостування, таких як залишки їжі та садові відходи. Зібрані органічні відходи транспортуються на міську станцію компостування. Стратегічне розташування майданчика для компостування є ключовим: воно забезпечує відведення рідини, що утворюється в процесі, безпосередньо до міських очисних споруд, запобігаючи її потраплянню в ґрунт. Для досягнення кращого результату та оптимізації процесу

розкладання рекомендується попередньо змішувати харчові та садові відходи в оптимальному співвідношенні 3:2.

На Львівській компостувальній станції застосовується сучасна технологія, що поділяється на три основні фази: старт, пік та фініш. Кожна з цих фаз ретельно контролюється за допомогою професійного обладнання та біологічних активаторів, а ключовими параметрами моніторингу є вологість та температура.

На початковій стадії ("старт") органічна маса завантажується у герметичні компост-контейнери. Ці контейнери, кожен об'ємом до 20 тонн (виробництва ТОВ «ВО «Релайн», вартість близько 2 млн грн за одиницю), призначені для термічної дезінфекції. Протягом 72 годин матеріал перебуває за температури 72-80 °С, що забезпечує знищення патогенних мікроорганізмів. Контейнери оснащені напівпроникною мембраною, яка ефективно мінімізує неприємні запахи (ефективність $\geq 90\%$).

Друга фаза ("пік") передбачає вивантаження термофільно обробленої органіки у відкриті бурти для подальшого мезофільного дозрівання. Для інтенсифікації процесу та забезпечення оптимальних умов розкладання, кожні 3-4 дні здійснюється комплексна аерація буртів. Цей процес включає перемішування, зволоження, подрібнення матеріалу та внесення біологічних активаторів (бактерій), а також насичення маси киснем. Температура в буртах під час цієї фази досягає 50-60 °С. Залежно від сезонних температур, тривалість дозрівання становить 2-3 місяці.

Львівська компостувальна станція значно покращує свої можливості з переробки органічних відходів завдяки отриманню нового мобільного подрібнювача (рисунок 2.3). Це важливе оновлення стало можливим завдяки підтримці Європейського інвестиційного банку (ЄІБ) у рамках реалізації Програми розвитку муніципальної інфраструктури України. Новий мобільний подрібнювач значно прискорить темпи переробки сировини. Це дозволить станції не тільки переробити накопичені залишки

гілля, але й приймати значно більшу кількість вхідної сировини, що є ключовим для ефективної роботи та сталого управління органічними відходами у Львові.



Рисунок 2.3 - Мобільний подрібнювач

Завершальна стадія ("фініш") охоплює просіювання компосту. Під час цього етапу відокремлюється груба фракція, яка потім рециркулюється і використовується як бактеріальна добавка для нових партій органіки. Неорганічні залишки, що були виявлені, вивозяться на полігон. Дрібнофракційний, готовий компост стає доступним для використання населенням. Якість кінцевого продукту регулярно підтверджується лабораторними аналізами, що сприяє його комерціалізації. Перша реалізація компосту відбулася у квітні 2021 року, а отримані від продажу кошти були спрямовані на потреби міських лікарень, демонструючи соціальну відповідальність проєкту.

2.4 Місцеві ініціативи та пілотні проєкти з компостування

Львівська міська рада та місцеві громади вже мають певний досвід та ініціативи у сфері поводження з відходами, які можуть стати базою для розширення компостування.

В місті функціонують програми роздільного збору, хоча і без окремої фракції для органіки, проте Львів вже має мережу контейнерів для роздільного збору вторинної сировини, що свідчить про певну готовність інфраструктури та населення до сортування.

Так, у Львові у 2022 році запрацював пілотний проєкт із окремого збору та вивезення органічних відходів. Першими до нього долучилися мешканці ОСББ, що на вулицях Тичини, 15, Лінкольна, 29, Княгині Ольги, 122а, Стрийська, 111 В та Академіка Підстригача, 3, де компанія «Грінера» розмістила спеціальні контейнери, відходи з яких справді потраплятимуть на компостування на наш майданчик, що на вулиці Пластовій, 13.

У Львові активно діють екологічні громадські організації, які проводять просвітницьку роботу, пропагують компостування вдома або на невеликих майданчиках, та закликають до впровадження екологічних практик поводження з відходами. Їхня підтримка є важливою для успіху будь-якого масштабного проєкту. Місцеві програми та стратегії можуть включати розділи щодо управління відходами, які передбачають розвиток переробки, зокрема компостування, як одну з пріоритетних цілей. Наприклад, обговорення будівництва сучасного сміттєпереробного комплексу у Львові передбачає переробку органічної фракції [4].

Аналіз цих аспектів показує, що Львів має значний потенціал для розвитку компостування харчових відходів, але для його реалізації необхідна системна робота, що включає комплексний підхід до збору, переробки та законодавчого забезпечення.

3. ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕГРАЦІЇ КОМПОСТУВАННЯ В КОМПЛЕКСНУ СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ОРГАНІЧНИМИ ВІДХОДАМИ МІСТА ЛЬВОВА

3.1 Інтеграція компостування в загальну систему управління органічними

Інтеграція компостування в загальну систему управління органічними відходами Львова є ключовим елементом для досягнення сталого розвитку та зменшення навантаження на полігони. Виділимо стратегічні напрямки та конкретні кроки для максимально ефективного впровадження та розширення практики компостування в місті.

Першим завданням є розробка стратегії збільшення обсягів органічних відходів, що направляються на компостування, яка необхідна для максимізації завантаження Львівської компостувальної станції та отримання більшої кількості якісного компосту необхідно розробити комплексну стратегію збільшення обсягів органічних відходів, що підлягають переробці. Ця стратегія повинна включати низку завдань. Важливим завданням є активізація інформаційно-просвітницької роботи серед населення і необхідність проведення масштабних кампаній з метою підвищення обізнаності мешканців щодо важливості роздільного збору органічних відходів, правил користування коричневими контейнерами та переліку відходів, придатних для компостування. Для цього необхідно використовувати різноманітні канали комунікації - соціальні мережі, телебачення, радіо, друковані матеріали, вуличні інформаційні стенди, публічні лекції та семінари.

Стимулювання роздільного збору ще один необхідний елемент нової системи, бо лише впровадження економічних та соціальних стимулів для мешканців, які активно сортують органічні відходи (наприклад,

диференційовані тарифи на вивезення сміття, проведення конкурсів серед будинків/районів з найкращим рівнем сортування) є ефективним стимулом.

Важливо також залучати комерційні та бюджетні установи до організації роздільного збору органічних відходів у закладах громадського харчування, торговельних центрах, ринках, навчальних закладах, лікарнях та інших установах. Для цього необхідна розробка спеціальних програм та надання методичної допомоги для впровадження роздільного збору.

Ефективна логістика збору є критично важливою для забезпечення стабільного надходження якісної сировини на компостувальну станцію та мінімізації витрат. Оптимізація цього процесу передбачає комплексний підхід, що охоплює планування маршрутів, використання відповідного транспорту, вдосконалення графіків вивезення та застосування сучасних технологій.

Ефективне функціонування компостувальної станції значною мірою залежить від якості органічних відходів, що надходять на переробку. Наявність неорганічних домішок (пластику, металу, скла тощо) може ускладнити процес компостування, знизити якість кінцевого продукту та навіть призвести до поломок обладнання. Тому впровадження дієвої системи контролю якості зібраних органічних відходів є необхідною умовою для успішної інтеграції компостування в міську систему управління відходами. Для цього необхідне регулярне проведення інформаційних кампаній, спрямованих на роз'яснення мешканцям правил сортування органічних відходів та неприпустимості потрапляння неорганічних домішок у коричневі контейнери, розробка та поширення чітких та зрозумілих візуальних матеріалів (листівки, плакати, інфографіка) з переліком дозволених та заборонених для компостування відходів, проведення роз'яснювальної роботи з мешканцями на рівні ОСББ, під час публічних заходів, через соціальні мережі та інші канали комунікації, збезпечення можливості для мешканців отримувати відповіді на питання щодо

правильного сортування.

Необхідний розгляд можливості встановлення на компостувальній станції простого обладнання для механічного відділення великих неорганічних включень (наприклад, магнітних сепараторів для металу, ручних сортувальних ліній для видалення плівки та великого пластику). Це може бути доцільним при значному рівні забруднення відходів на початковому етапі.

Для забезпечення зростаючих обсягів органічних відходів необхідно розширювати існуючу інфраструктуру для їхнього збору. Збільшення кількості коричневих контейнерів для органічних відходів є важливим кроком для покращення системи роздільного збору та підвищення ефективності компостування. Ось деякі аспекти, які слід враховувати при розширенні мережі контейнерів - щільність населення та обсяги утворення відходів, бо розподіл контейнерів повинен бути пропорційним до кількості населення та обсягів утворення органічних відходів у різних районах міста, контейнери повинні бути розміщені в зручних та доступних місцях, щоб забезпечити зручність для мешканців, з урахуванням потреб людей з обмеженими можливостями, забезпечуючи безперешкодний доступ, у зручних та легкодоступних місцях, забезпечення належного їхнього обслуговування та санітарного стану.

Обґрунтувати можливості створення додаткових пунктів збору органічних відходів, особливо в місцях інтенсивного їх утворення (парки, ринки), розміщення інформаційних стендів та наклейок на контейнерах з правилами сортування та переліком дозволених відходів.

Впровадження "розумних" контейнерів з датчиками заповнення є перспективним напрямком для оптимізації графіків вивезення органічних відходів у Львові(рисунок 3.1). Перевагами впровадження "розумних" контейнерів є те, що оптимізуються маршрути вивезення. Датчики заповнення в режимі реального часу передають інформацію про рівень

заповненості кожного контейнера. Це дозволяє диспетчерській службі бачити реальну картину потреби у вивезенні та формувати оптимальні маршрути для сміттєвозів, уникаючи порожніх пробігів до напівпорожніх контейнерів. Завдяки оптимізованим маршрутам скорочується загальний пробіг сміттєвозів, що призводить до значної економії палива та зменшення зносу транспортних засобів. Працівники зосереджуються на вивезенні дійсно заповнених контейнерів, що підвищує продуктивність їхньої роботи та дозволяє обслуговувати більшу кількість контейнерів за той самий час. Зменшується ймовірність переповнення контейнерів, що може викликати незадоволення мешканців та санітарні проблеми. Вивезення здійснюється за фактичною потребою, а не за фіксованим графіком. Системи "розумних" контейнерів збирають великі обсяги даних про динаміку заповнення контейнерів у різних районах міста. Ці дані можуть бути використані для аналізу обсягів утворення відходів, оптимізації розміщення контейнерів у майбутньому та планування розвитку інфраструктури. За рахунок скорочення пробігу транспорту зменшуються викиди шкідливих речовин в атмосферу, що сприяє покращенню екологічної ситуації в місті.



Рисунок 3.1 - "Розумні" контейнери з датчиками і принцип їх функціонування

Технології, що можуть бути використані це ультразвукові датчики,

що вимірюють відстань до поверхні відходів у контейнері, визначаючи рівень його заповнення, інфрачервоні датчики, які аналогічно ультразвуковим, використовують інфрачервоне випромінювання для визначення рівня заповнення, датчики ваги, що вимірюють вагу відходів у контейнері, що також може бути індикатором його заповненості, та комбіновані датчики для більш точного визначення рівня заповнення, враховуючи різні типи відходів та їхню щільність, системи передачі даних з використанням бездротових технологій (GPRS, NB-IoT, LoRaWAN) для передачі даних з датчиків до центральної диспетчерської системи.

Впровадження спеціалізованого програмного забезпечення для обробки отриманих даних, візуалізації рівня заповнення контейнерів на карті міста та формування оптимальних маршрутів для сміттєвозів.

Впровадження "розумних" контейнерів з датчиками заповнення є інноваційним підходом, який може значно підвищити ефективність системи управління органічними відходами у Львові, зробити її більш економічною та екологічно сталою. Ретельне планування та поетапна реалізація цього проекту є ключем до його успіху.

На муніципальному рівні, як це вже успішно реалізовано у Львові на станції компостування на вул. Пластовій, 13, використовуються промислові методи, розраховані на значні обсяги органічних відходів (у Львові це до 30 000 тонн щорічно). Така централізована система є ефективною для великих обсягів, але вимагає від населення відповідального роздільного збору, щоб уникнути домішок.

У сучасному міському середовищі, де простір часто обмежений, а проблема накопичення відходів стоїть особливо гостро, міські компостери стають не просто зручним, а життєво важливою ініціативою. Це дозволяє мешканцям самостійно перетворювати органічні відходи, перш за все харчові рештки, на цінний компост прямо біля своїх домів, у дворах чи на прибудинкових територіях .

Для Львова, де питання управління відходами є особливо актуальним, використання компостерів має колосальне значення. По-перше, це дозволяє суттєво зменшити обсяги сміття. Значна частина побутових відходів – це органічні залишки, які ідеально підходять для компостування. Вилучаючи їх із загального потоку, ми знижуємо навантаження на міські сміттєзвалища та переробні підприємства. По-друге, компостування сприяє виробництву цінного добрива. Компост, отриманий з харчових відходів, є високоякісним органічним продуктом, який мешканці можуть використовувати для своїх клумб, невеликих городів, кімнатних рослин. Залишки компосту можуть бути передані комунальним службам міста, розсадникам чи місцевим фермерам, створюючи таким чином замкнутий цикл, де відходи перетворюються на ресурс.

По-третє, міські компостери значно покращують екологічну ситуацію. Гниття органічних відходів на полігонах призводить до утворення метану – потужного парникового газу, що сприяє зміні клімату. Компостування запобігає цьому процесу, зменшуючи викиди та обмежуючи утворення фільтрату, який може забруднювати ґрунтові води. З економічної точки зору, чим менше сміття вивозиться на полігон, тим менші витрати місто несе на його транспортування та захоронення, що може позитивно вплинути на тарифи для населення та бюджет міста. Нарешті, підвищення екологічної свідомості є невід'ємною перевагою компостування. Активна участь у цьому процесі виховує у мешканців відповідальне ставлення до відходів, заохочує до сортування та глибшого розуміння принципів циркулярної економіки, створюючи більш екологічно свідоме суспільство [36, 37, 39].

Паралельно з великомасштабним компостуванням, яке обробляє значні обсяги органічних відходів на муніципальному рівні, Львів активно розвиває локальні та індивідуальні технології переробки органіки. Ці

рішення дають змогу містянам перетворювати відходи на ресурс безпосередньо поблизу своїх домів, сприяючи децентралізації процесу управління відходами та підвищенню екологічної свідомості [8].

До таких технологій належать громадські компостери, які встановлюються у дворах багатоквартирних будинків, на територіях ОСББ, у парках чи біля шкіл. Ці спільні компостні ємності, зазвичай виготовлені з дерева чи пластику, забезпечують необхідний доступ повітря та контакт з ґрунтом, що є ключовим для аеробного процесу розкладання. Однак, їх успішне функціонування вимагає колективної відповідальності мешканців та регулярного догляду, що включає перемішування та підтримання оптимальної вологості для прискорення процесу.

Для мешканців приватного сектору або тих, хто має невеликі присадибні ділянки, ідеальним рішенням є індивідуальні компостери. На ринку представлені різноманітні моделі від простих дерев'яних ящиків, які можна легко збудувати самотійно, до сучасних пластикових контейнерів з різними функціями. Вони дають можливість переробляти кухонні та садові відходи безпосередньо на місці, отримуючи готовий компост для власних потреб.

Щоб успішно інтегрувати компостери у міське середовище Львова, варто розглянути кілька підходів. Це може бути встановлення громадських компостерів у дворах багатоповерхових будинків, на територіях ОСББ, у парках чи біля шкіл, що вимагатиме організації, інформування та підтримки з боку місцевої влади чи активних груп мешканців [12]. Також важливо заохочувати індивідуальні рішення, спонукаючи мешканців приватного сектору або тих, хто має невеликі присадибні ділянки, до використання власних компостерів (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Різновиди міських компостерів

Ключову роль відіграють освітні програми, включаючи майстер-класи, лекції та інформаційні кампанії для мешканців про те, як правильно компостувати, що можна і чого не можна кидати до компостеру. Нарешті, підтримка та моніторинг є обов'язковими для забезпечення регулярного контролю за станом компостерів та, за потреби, допомоги у вивезенні готового компосту чи його розподілі.

Міські компостери – це більше, ніж просто інструмент для управління відходами. Це символ зміни підходу до споживання та використання ресурсів, важливий крок до створення більш зелених, чистих та самодостатніх міст, де кожен мешканець може долучитися до позитивних змін [36, 37, 39].

Особливе місце серед міських технологій займає вермикомпостування, яке використовує спеціальні дощові хробаки, зокрема каліфорнійських, для значного прискорення розкладання органічних речовин. Ця технологія дозволяє переробляти відходи навіть у квартирах або на балконах, оскільки вермикомпостери є досить компактними та практично не генерують неприємних запахів, що робить їх ідеальними для міських умов [4].



Рисунок 3.2 – Контейнер для вермикомпостування

Ще однією інноваційною технологією є компостування за методом Бокаші. Це анаеробний процес, тобто він відбувається без доступу кисню, з використанням спеціальних ефективних мікроорганізмів (ЕМ-препаратів). Відходи ферментуються у щільно закритих ємностях, що дозволяє повністю уникнути неприємних запахів, які часто є перешкодою для домашнього компостування. Після завершення ферментації отриману масу можна закопувати в ґрунт або додавати до звичайного компосту для подальшого розкладання та збагачення. Процес починається зі збору харчових відходів (включаючи м'ясо, молочні продукти, овочі, фрукти, хліб тощо) у спеціальному герметичному контейнері. Кожен шар відходів посипається висівками Бокаші, які містять ефективні мікроорганізми, що запускають процес ферментації [5, 6]. Контейнер щільно закривається для створення анаеробних умов, і відходи ферментуються протягом 2-4 тижнів. Протягом цього часу може утворюватися рідина, яку потрібно періодично зливати, оскільки вона також є цінним добривом. Після ферментації відходи не виглядають як звичайний компост, вони мають кислуватий запах, схожий на квашену капусту, і їх потрібно закопати в ґрунт або додати до звичайного компосту для подальшого розкладання та збагачення.



Рисунок 3.3 – Контейнер для застосування методу Бокаші

Метод Бокаші має низку переваг- він є швидшим за традиційне компостування, дозволяє переробляти майже всі харчові відходи, практично не має запаху завдяки анаеробному процесу та герметичному контейнеру, є компактним і підходить для використання навіть у квартирах, а ферментовані відходи мають високу поживну цінність для рослин. На відміну від традиційного компостування, яке триває 6-12 місяців і підходить переважно для рослинних відходів, та вермикомпостування, що займає 1-3 місяці та також орієнтоване на рослинні залишки, метод Бокаші займає лише 2-4 тижні та може застосовуватися до всіх видів харчових відходів, забезпечуючи відсутність запаху завдяки анаеробному процесу та використанню ЕМ-препаратів у герметичному контейнері [36, 37]. Таким чином, метод Бокаші є чудовим способом переробки харчових відходів у місті, особливо для мешканців квартир, які не мають можливості для традиційного компостування, дозволяючи зменшити обсяг сміття, отримати цінне добриво та зробити свій внесок у збереження довкілля Львова.

Усі ці локальні та індивідуальні технології є цінним доповненням до промислового компостування, сприяючи комплексному вирішенню проблеми органічних відходів у місті. Вони не лише зменшують обсяги сміття на полігонах, але й виховують екологічну свідомість населення, перетворюючи кожного містянина на активного учасника сталої системи управління відходами [1]. Порівняльна характеристика методів наведена в таблиці 3.1.

Децентралізація системи компостування шляхом створення локальних пунктів може мати ряд переваг - зменшення транспортних витрат, скорочення відстані транспортування органічних відходів, підвищення відповідальності та залученості мешканців до процесу управління відходами на рівні їхнього проживання, виробництво компосту для локальних потреб- озеленення дворів, прибудинкових територій, шкільних садів тощо, зменшення навантаження на міську станцію.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика методів компостування

Метод	Тривалість	Відходи	Запах	Особливості
Традиційний	6-12 міс.	Рослинні відходи	Можливий	Потребує багато місця, регулярного перемішування.
Вермикомпост	1-3 міс.	Рослинні відходи	Немає	Використовує хробаків, потребує контролю вологості та температури.
Бокаші	2-4 тижні	Усі харчові відходи	Немає	Анаеробний процес, використовує EM-препарати, потребує герметичного контейнера.

Для реалізації цього напрямку необхідно розробити типові проекти локальних компостувальних майданчиків враховуючи різні масштаби та технології (наприклад, компостування в буртах, термокомпостери), надати методичну та фінансову підтримку ОСББ та ініціативним групам шляхом навчання, надання консультацій, часткове фінансування закупівлі обладнання, розробити чіткі правила та норми для локального компостування [1].

3.2 Використання компосту для забезпечення сталого функціонування системи та отримання максимальної вигоди від перероблених органічних відходів

Оцінка потенціалу використання компосту, виробленого на Львівській компостувальній станції з харчових відходів, є важливим аспектом для забезпечення сталого функціонування системи та отримання максимальної вигоди від перероблених органічних відходів. Розглянемо потенціал використання компосту в міському озелененні та сільському господарстві Львівської області.

Місто Львів має значний потенціал для використання власного компосту в різноманітних проектах з озеленення. Компост є цінним органічним матеріалом, який покращує структуру ґрунту, його вологоємність та аерацію, а також забезпечує рослини необхідними

поживними речовинами. Регулярне внесення компосту може значно покращити стан існуючих зелених насаджень та сприяти кращому приживлюванню нових рослин. При закладці нових парків, скверів, газонів та клумб використання компосту на етапі підготовки ґрунту забезпечить сприятливі умови для росту рослин та їхнього подальшого розвитку без необхідності використання великої кількості мінеральних добрив.

Компост може бути складовою частиною субстратів для вертикального озеленення та дахових садів, забезпечуючи легку, але поживну основу для росту рослин (рисунок 3.1).



Рисунок – 3.1 Приклади вертикального озеленення

Компост з харчових відходів може бути інноваційним рішенням для вертикального озеленення у Львові. Зростаюча урбанізація та обмеженість

земельних ресурсів у містах, таких як Львів, вимагають нових підходів до озеленення, і вертикальне озеленення є одним із найбільш ефективних рішень. Воно дозволяє не тільки покращити естетику будівель, а й сприяє очищенню повітря, зниженню шуму та регулюванню температури. І коли мова заходить про його реалізацію, то перспективним може бути компост з харчових відходів.

Використання компосту, отриманого з харчових відходів, для вертикального озеленення має численні переваги. Це ідеальний приклад циркулярної економіки, значно зменшує навантаження на полігони та скорочує викиди парникових газів. Крім того, компост багатий на органічні речовини, макро- та мікроелементи, необхідні для здорового росту рослин. Використання компосту значно знижує або повністю усуває необхідність застосування хімічних добрив, які можуть бути шкідливими для довкілля та водних ресурсів.

Економічна вигода також очевидна, адже виробництво власного компосту може бути значно дешевше, ніж закупівля спеціалізованих субстратів та добрив для вертикального озеленення.

Хоча використання компосту з харчових відходів для вертикального озеленення є надзвичайно перспективним, існують певні виклики. Зокрема, це необхідність належного сортування харчових відходів на початковому етапі, щоб уникнути потрапляння небажаних домішок. Також важливим є контроль якості компосту, щоб він відповідав стандартам безпеки та ефективності для рослин. Незважаючи на ці виклики, потенціал компосту з харчових відходів для розвитку вертикального озеленення у Львові є величезним. Це не тільки дозволить створити більше зелених зон у щільній міській забудові, а й стане яскравим прикладом відповідального ставлення до ресурсів та реалізації принципів циркулярної економіки на практиці.

Використання компосту при висадці дерев та кущів вздовж вулиць та на розділових смугах сприятиме їхньому кращому росту та стійкості до

несприятливих міських умов.

Використання компосту при висадці дерев та кущів вздовж вулиць та на розділових смугах є не просто доцільним, а критично важливим кроком для забезпечення їхнього кращого росту та підвищення стійкості до несприятливих міських умов. В умовах Львова, де міська забудова щільна, а ґрунти часто виснажені, компост стає незамінним помічником для зелених насаджень.

Міське середовище створює чимало викликів для рослин: ущільнені ґрунти, дефіцит поживних речовин, обмежений доступ до вологи, забруднення повітря та солями, що використовуються взимку. У таких умовах молоді саджанці часто стикаються зі "стресом пересадки", що може уповільнити їхній розвиток або навіть призвести до загибелі. Саме компост діє як багатофункціональний покращувач ґрунту.

Інтеграція компосту в практику міського озеленення Львова — це інвестиція в довговічність та естетику зелених насаджень. Це не лише сприятиме їхньому кращому росту, а й дозволить створити більш стійкі та життєздатні зелені зони, які будуть ефективніше виконувати свої екологічні та рекреаційні функції у міському середовищі.

Використання компосту в комунальних розсадниках Львова для вирощування посадкового матеріалу є надзвичайно перспективним та екологічно обґрунтованим рішенням. Це не просто альтернатива традиційним добривам, а комплексний підхід, що забезпечує здоровіший та стійкіший посадковий матеріал для озеленення міста. У розсадниках, де вирощуються мільйони молодих дерев, кущів та квітів, які потім висаджуються на вулицях, у парках та скверах Львова, якість ґрунтосуміші має першочергове значення. Саме тут компост демонструє свої незамінні властивості. Компост може використовуватись у комунальних розсадниках для вирощування посадкового матеріалу (квітів, кущів, дерев), що зменшить витрати на закупівлю готової продукції та забезпечить контроль за якістю

вирослих рослин, а у випадках рекультивації забруднених міських територій він може бути використаний для покращення фізико-хімічних властивостей ґрунту та стимулювання росту рослин-фіторемедіаторів.

Використання компосту в комунальних розсадниках Львова — це стратегічний крок, який дозволить вирощувати якісніший, стійкіший та екологічно чистий посадковий матеріал. Це, своєю чергою, сприятиме створенню більш зелених, здорових та привабливих громадських просторів у місті.

Львівська область має значний аграрний сектор, який може стати великим споживачем якісного компосту. Компост є основним видом органічного добрива, дозволеним для використання в сертифікованому органічному сільському господарстві. Зростаючий попит на органічну продукцію створює сприятливі умови для збуту компосту. Навіть у традиційному сільському господарстві компост може використовуватись як цінне органічне добриво для покращення родючості ґрунтів, підвищення врожайності та зменшення залежності від мінеральних добрив.

Внесення компосту сприяє відновленню структури деградованих та еродованих ґрунтів, підвищує їхню вологоємність та біологічну активність. Він може використовуватись для підживлення овочевих, зернових, плодових та ягідних культур, забезпечуючи їх необхідними макро- та мікроелементами в доступній формі.

Компост може бути складовою частиною ґрунтових сумішей для вирощування овочів та квітів у теплицях, забезпечуючи здоровий ріст рослин та підвищуючи якість продукції, є цінним добривом для плодово-ягідних насаджень та виноградників, сприяючи їхньому кращому росту, плодоношенню та стійкості до хвороб.

3.3 Стратегічні напрямки та конкретні кроки, необхідні для максимально ефективного впровадження та розширення практики компостування в місті

Для забезпечення довгострокової життєздатності системи компостування в місті Львові необхідно розробити економічно обґрунтовану модель її функціонування, яка включатиме аналіз витрат та доходів, визначення ціни на компост, розробка фінансового плану, залучення інвестицій.

Важливим є детальне врахування всіх витрат, пов'язаних зі збором, транспортуванням, переробкою та збутом компосту (заробітна плата, енергоносії, обслуговування обладнання, транспортні витрати, маркетингові витрати тощо), визначення потенційних джерел доходів (продаж компосту, плата за переробку від комерційних установ, можливі гранти та субсидії), обґрунтування оптимальної ціни на компост з урахуванням його якості та ринкової кон'юнктури, складання прогнозу доходів та витрат на коротко- та довгострокову перспективу, розгляд можливостей залучення інвестицій для модернізації та розширення потужностей компостувальної станції, оцінка економічної цінності екологічних переваг компостування (зменшення викидів парникових газів, збереження ресурсів полігонів).

Створення системи компостування вимагає значних інвестицій. Капітальні витрати (CAPEX) включають втрати на будівництво та облаштування спеціалізованих майданчиків для прийому, сортування та власне компостування відходів, включно із системами дренажу фільтрату. Важливим пунктом є придбання основного обладнання, такого як герметичні компост-контейнери (біотермічні камери), вартість одного з яких сягає близько 2 млн грн, а для забезпечення ефективної роботи їх потрібна ціла низка. Сюди також входять сміттєвози та спеціалізована техніка для окремого збору органіки, устаткування для перемішування та аерації буртів (компостні ворошилки, системи примусової аерації), сортувальні лінії (хоча у Львові значна частина сортування поки що ручна),

просіювачі (грохоти) для відділення готового компосту та лабораторне обладнання для контролю якості. Не менш важливою є інвестиція в інженерні мережі, проектування та дозвільну документацію, а також у тисячі коричневих контейнерів для роздільного збору органіки по всьому місту.

Для максимізації завантаження компостувальної станції та отримання більшої кількості якісного компосту, першим завданням є розробка комплексної стратегії збільшення обсягів органічних відходів, що підлягають переробці. Ця стратегія повинна охоплювати кілька важливих аспектів: активізацію інформаційно-просвітницької роботи серед населення, що передбачає проведення масштабних кампаній для підвищення обізнаності мешканців щодо важливості роздільного збору органічних відходів, правил користування коричневими контейнерами та переліку відходів, придатних для компостування, з використанням різноманітних каналів комунікації. Важливо також стимулювати роздільний збір шляхом впровадження економічних та соціальних стимулів для мешканців, які активно сортують органічні відходи, наприклад, диференційовані тарифи або конкурси. Необхідно активно залучати комерційні та бюджетні установи до організації роздільного збору органічних відходів у закладах громадського харчування, торговельних центрах, ринках, навчальних закладах, лікарнях та інших установах, розробляючи для цього спеціальні програми та надаючи методичну допомогу.

Ефективна логістика збору є критично важливою для забезпечення стабільного надходження якісної сировини на компостувальну станцію та мінімізації витрат. Оптимізація цього процесу передбачає комплексний підхід. Ефективне функціонування компостувальної станції значною мірою залежить від якості органічних відходів, що надходять на переробку. Наявність неорганічних домішок може ускладнити процес, знизити якість

кінцевого продукту та навіть призвести до поломок обладнання. Тому впровадження дієвої системи контролю якості зібраних органічних відходів є необхідною умовою для успішної інтеграції компостування. Це вимагає регулярних інформаційних кампаній для роз'яснення мешканцям правил сортування, розробки та поширення чітких візуальних матеріалів, проведення роз'яснювальної роботи на рівні ОСББ та забезпечення можливості для мешканців отримувати відповіді на питання щодо правильного сортування. Необхідно також розглянути можливість встановлення на компостувальній станції простого обладнання для механічного відділення великих неорганічних включень, якщо рівень забруднення високий.

Для забезпечення зростаючих обсягів органічних відходів необхідно розширювати існуючу інфраструктуру для їхнього збору. Збільшення кількості коричневих контейнерів для органічних відходів є важливим кроком, що вимагає врахування щільності населення, обсягів утворення відходів, забезпечення зручності та доступності розміщення контейнерів, а також належного їх обслуговування та санітарного стану. Важливо також обґрунтувати можливості створення додаткових пунктів збору органічних відходів, особливо в місцях інтенсивного їх утворення, та розміщення інформаційних стендів і наклеювання на контейнерах з правилами сортування. Впровадження "розумних" контейнерів з датчиками заповнення є перспективним напрямком для оптимізації графіків вивезення органічних відходів у Львові. Це дозволяє оптимізувати маршрути вивезення, економити паливо, підвищувати продуктивність праці, зменшувати переповнення контейнерів, збирати цінні дані для аналізу та планування, а також отримувати екологічні переваги завдяки зменшенню викидів шкідливих речовин. Використовувані технології можуть включати ультразвукові, інфрачервоні та вагові датчики, комбіновані датчики, системи передачі даних (GPRS, NB-IoT, LoRaWAN) та спеціалізоване

програмне забезпечення для аналізу та візуалізації даних. Впровадження "розумних" контейнерів – це інноваційний підхід, що значно підвищить ефективність системи управління відходами, зробить її економічнішою та екологічно сталою.

Оцінка потенціалу використання компосту, виробленого на Львівській компостувальній станції, є важливим аспектом для забезпечення сталого функціонування системи та отримання максимальної вигоди. Львів має значний потенціал для використання власного компосту в різноманітних проєктах з міського озеленення: покращення існуючих зелених насаджень, закладка нових парків та скверів, вертикальне озеленення, використання в комунальних розсадниках та для рекультивації забруднених територій. Львівська область також має значний аграрний сектор, який може стати великим споживачем якісного компосту, особливо в органічному сільському господарстві, для покращення родючості ґрунтів, підвищення врожайності, відновлення деградованих ґрунтів, підживлення різних культур, використання у теплицях та для плодово-ягідних насаджень. Децентралізація системи компостування шляхом створення локальних пунктів може мати ряд переваг, таких як зменшення транспортних витрат, підвищення відповідальності та залученості мешканців, виробництво компосту для локальних потреб та зменшення навантаження на міську станцію. Для цього необхідно розробити типові проєкти, надати методичну та фінансову підтримку ОСББ, а також розробити чіткі правила та норми для локального компостування.

Реалізація цих стратегічних напрямків та конкретних кроків дозволить максимально інтегрувати компостування в комплексну систему управління органічними відходами Львова, підвищити її ефективність, зменшити негативний вплив на довкілля та сприяти розвитку циркулярної економіки в місті. Інтеграція компостування в загальну систему управління органічними відходами Львова є ключовим елементом для досягнення

сталого розвитку міста та суттєвого зменшення навантаження на полігони.

Таким чином, впровадження системи компостування у Львові має не лише потенціал для фінансової окупності через реалізацію цінного продукту, а й забезпечує значні екологічні вигоди, що є ключовими для сталого розвитку міста та його внеску у боротьбу зі зміною клімату.

3.4 Розробка та обґрунтування системи компостування харчових відходів для м. Львів

Вибір відповідної технології компостування є ключовим для успішної реалізації проєкту, базуючись на ретельному аналізі різних методів з урахуванням місцевих умов та потреб. Порівняльний аналіз основних технологій – традиційних відкритих буртів, контрольованих буртів з примусовою аерацією та закритих систем (реакторів/біотермічних камер) – за критеріями економічної ефективності, екологічної безпеки та простоти реалізації показує, що відкриті бурти мають низькі капітальні витрати, але високі викиди запахів і низьку гарантію знищення патогенів; контрольовані бурти з аерацією – середні витрати, кращий контроль запахів та якості; а закриті системи – високі капітальні витрати, але мінімальні викиди запахів, високу санітарну безпеку та швидкий процес.

Львівська компостувальна станція вже використовує гібридний підхід: термічна дезінфекція у закритих контейнерах з подальшим дозріванням у відкритих буртах з аерацією. З огляду на масштаби Львова та прагнення до європейських стандартів, оптимальним вибором є саме комбінований підхід, що базується на інтенсивних аеробних технологіях. Централізована інтенсивна установка (подібна до Львівської компостувальної станції) є обґрунтованою для обробки основної маси відходів від житлового сектору, закладів громадського харчування та ринків. Вона забезпечує високу швидкість, санітарну безпеку, мінімальні

викиди запахів та контрольовану якість продукту. Подальше розширення потужностей існуючої станції або будівництво додаткових модульних установок дозволить задовольнити зростаючі потреби. Водночас, локальні/районні центри компостування (для садових відходів або пілотних проєктів в ОСББ) можуть бути доцільними для зменшення транспортного плеча та залучення громад. Така гібридна модель максимізує ефективність, мінімізує екологічні ризики та забезпечує стійке управління органічними відходами.

Ефективна логістика є запорукою успіху системи компостування, дозволяючи мінімізувати витрати та забезпечити своєчасне надходження якісної сировини. Розробка оптимальних маршрутів збору має включати картування джерел утворення відходів, зонування міста, визначення оптимальної частоти вивезення (2-3 рази на тиждень, для великих генераторів – щоденно), а також використання програмного забезпечення для логістики (ГІС-системи) для побудови найкоротших та найефективніших маршрутів. Можливий розгляд нічного збору від великих генераторів для уникнення заторів. Вибір та обґрунтування контейнерів для роздільного збору у Львові вже реалізовано: це коричневі пластикові контейнери об'ємом 120 або 240 літрів, оснащені подвійним дном та бічними отворами для провітрювання. Такий вибір обґрунтований чіткою ідентифікацією (колір, маркування), гігієнічністю, адаптивністю об'єму та унікальною конструкцією, що запобігає гниттю та запахам. Важливо продовжувати просвітницьку роботу для мінімізації забруднення органіки іншими відходами. Оптимізація транспортних витрат досягається за рахунок використання спеціалізованих сміттевозів, оптимізації маршрутів за допомогою ГІС, консолідації обсягів для великих генераторів, встановлення датчиків наповнення на контейнерах, навчання водіїв економічному водінню та централізованої диспетчеризації автопарку.

Вибір місця для розміщення компостувальних об'єктів є критично важливим з екологічної, санітарної та логістичної точок зору. Екологічні та санітарно-гігієнічні вимоги до розміщення включають суворе дотримання встановлених санітарно-захисних зон від житлових забудов, зон відпочинку та джерел водопостачання. Місцевість не повинна бути схильною до підтоплень, а дно майданчиків має бути водонепроникним із системою збору та відведення фільтрату до очисних споруд (як на Львівській станції). Для захисту повітря важливо передбачити системи фільтрації від неприємних запахів.

Логістична доступність та інфраструктурне забезпечення є не менш важливими. Оптимальне розташування мінімізує транспортні витрати від джерел відходів до об'єкта та витрати на транспортування готового компосту до споживачів (сільськогосподарські угіддя, зони озеленення). Наявність якісних під'їзних шляхів, доступу до електроенергії, водопостачання, каналізації, а також близькість до джерел структурних матеріалів є обов'язковими.

Таким чином, для великого міста, як Львів, оптимальним рішенням, ймовірно, буде комбінація підходів. Інтенсивне компостування в реакторах може стати основою централізованої переробки значних обсягів харчових відходів, забезпечуючи високу продуктивність та екологічну безпеку. Індивідуальне та локальне компостування, у свою чергу, може доповнювати систему, знижуючи потік відходів безпосередньо на місцях їх утворення та сприяючи формуванню екологічної культури серед мешканців.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ З ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ: КОМПЛЕКСНИЙ ОГЛЯД

Безпека праці — це набір правил і практик, що створюють належні умови роботи з обладнанням, запобігаючи нещасним випадкам та травмам персоналу. Приміщення та обладнання мають відповідати нормам безпеки, виробничої санітарії та гігієни.

Аналіз стану охорони праці показує, що працівники, які взаємодіють із побутовими відходами (ПВ) та вторинною сировиною, стикаються з різними небезпечними та шкідливими факторами. До хімічних факторів належить підвищена концентрація шкідливих газів, таких як сірчистий газ, у повітрі робочої зони та зоні дихання. Серед фізичних факторів виділяють високу запиленість повітря, викиди речовин з неприємним запахом (сірководень, аміак, меркаптани) на сортувальних лініях та компостних складах, а також шум від транспорту й обладнання для подрібнення ТПВ. Для робітників, що контактують з електромагнітними сепараторами, є вплив магнітного поля. Крім того, спостерігається загалом підвищений рівень шуму від обладнання та недостатнє освітлення робочих місць. До психофізіологічних факторів відносять фізичне перенавантаження (статична та динамічна перенапруга) та нервово-психічне перенавантаження (напруження зорових аналізаторів, нервово-емоційне напруження).

Технологія переробки ПВ передбачає використання обладнання, яке потребує безпосередньої участі людини. Весь персонал повинен пройти попереднє навчання та чітко дотримуватись вимог техніки безпеки. Територію компостувальної станції, де розміщена техніка, обладнують плакатами, застережними написами та витягами з інструкцій з техніки та пожежної безпеки. Електричні проводи та труби для подачі повітря/води

прокладають так, щоб виключити їх механічні пошкодження та не створювати перешкод для пересування працівників. Пересувне обладнання комплектується справним інструментом, засобами пожежогасіння, захистом від електростатичної напруги та аптечкою першої допомоги. До роботи допускаються лише досвідчені та кваліфіковані працівники, які досконало знають будову обладнання, засвоїли правила безпеки та пройшли інструктаж. Відповідальність за безпечну експлуатацію обладнання та пересувних установок несе інженер з охорони праці. У цій роботі зосереджено увагу на процесі компостування, який включає, зокрема, ручне сортування. Відходи рухаються стрічковим транспортером, а по його боках розташовані робочі місця сортувальників, які відбирають зайві фракції ТПВ і перекладають їх у спеціальні контейнери. Кожне робоче місце оснащено витяжною вентиляцією, лампами денного світла та обігрівачами для холодної пори року.

Небезпечні зони обладнання мають огорожі, щоб запобігти контакту людей та непередбачуваним випадкам. Експлуатація обладнання виконується слюсарями та електриками станції згідно з інструкціями, які детально регламентують повсякденну експлуатацію, дрібний ремонт, змащування механізмів та вимоги безпеки. Перед запуском обладнання обов'язково перевіряється його чистота, справність, відсутність сторонніх предметів на рухомих частинах, а також цілісність захисних елементів, завантажувальних пристроїв, кріплень вузлів, редукторів, гальмівних пристроїв та муфт. Обов'язково перевіряють справність контрольно-вимірювальних пристроїв. Протягом всього процесу контакт робітників зі шкідливими речовинами має бути виключений.

Особливу увагу приділяють герметичності з'єднань трубопроводів та арматури. Потенційно небезпечні ділянки виробництва герметизуються та забезпечуються вентиляційними установками. Експлуатація обладнання здійснюється виключно кваліфікованими фахівцями згідно з інструкціями.

На сортувальній лінії мають бути забезпечені комфортні та безпечні умови праці [9].

Покращення охорони праці, техніки безпеки та пожежної безпеки є ключовим завданням. Комплексна переробка ПВ на технологічному обладнанні вимагає суворого дотримання техніки безпеки, тому кожен співробітник має обов'язково проходити навчання, вступний та первинні інструктажі. Роботодавець зобов'язаний забезпечити відповідні умови для максимально безпечного сортування та переробки ПВ. Заборонено чистити або ремонтувати установки, коли вони працюють. Кожна одиниця обладнання має свої індивідуальні норми та правила безпеки. Експлуатація технологічного обладнання проводиться згідно з інструкціями з експлуатації (розробляються службою головного механіка) та заводською технічною документацією. Ці інструкції містять правила підготовки, роботи, зупинки, догляду, змащування, інформацію про можливі несправності та ключові вимоги безпеки. Щоденну експлуатацію здійснюють слюсарі-налагоджувальники та електрики. Огляди та планово-попереджувальні ремонти виконує служба головного механіка.

Для забезпечення працездатної, безпечної, безаварійної та економічної роботи обладнання необхідно: ретельно вивчити технічну документацію, принцип роботи, конструктивні особливості, правила монтажу, демонтажу та налагодження; швидко та точно виконувати всі дії для безаварійного пуску, експлуатації та зупинки машини; належно доглядати за обладнанням, підтримувати його у справному стані, проводити регулювання згідно з вимогами виробника та усувати типові несправності.

Перед запуском обладнання обов'язково готують робоче місце та оглядають його, перевіряючи чистоту та справність, відсутність сторонніх предметів на рухомих частинах; наявність та справність захисних елементів на обертових/рухомих частинах, завантажувальних/розвантажувальних пристроїв, надійність кріплення вузлів, справність муфт, гальмівних

пристроїв; справність ланцюгових, ремінних та інших передач, при необхідності – регулювання їх натягу; наявність та справність перевірених контрольно-вимірювальних приладів, світлової та звукової сигналізації; наявність та справність заземлюючих/занулюючих пристроїв.

Вимоги вибухо- та пожежної безпеки для всіх промислових підприємств встановлюються Будівельними нормами і правилами. Пожежна небезпека визначається характером технологічного процесу та архітектурно-планувальними рішеннями. Причинами загорянь, вибухів та пожеж можуть бути: недотримання інструкцій з техніки безпеки, пожежної безпеки та промислової санітарії; несправності обладнання через несвоєчасний ремонт; погана герметизація обладнання; коротке замикання в електромережі; проведення вогневих робіт без належного контролю [9, 18].

Дотримання правил безпеки покращує умови праці. Впровадження заходів з охорони праці на підприємствах допоможе запобігти нещасним випадкам та професійним захворюванням, спричиненим незадовільними умовами.

ВИСНОВКИ

Харчові відходи становлять значну частину загального обсягу відходів у Львові. Основними джерелами утворення харчових відходів є житловий сектор, заклади громадського харчування, ринки та супермаркети, харчова промисловість. У місті переважає змішаний збір відходів, проте діють програми роздільного збору, спрямовані на виокремлення вторинної сировини. Попри спроби впровадження роздільного збору, відсутність системного окремого збору органіки призводить до її забруднення іншими фракціями, ускладнюючи подальшу переробку.

Компостування є одним із найефективніших та екологічно доцільних методів переробки органічних харчових відходів у межах міста, дозволяючи перетворити їх на цінне добриво, зменшуючи навантаження на сміттєзвалища та повертаючи поживні речовини в ґрунт. Сучасні технології варіюються від простих до складних, адаптованих до різних масштабів і вимог.

Компостування забезпечує економію енергетичних ресурсів та зменшення транспортного навантаження. Процес компостування зазвичай потребує значно менше енергії порівняно зі складними процесами стабілізації органічних відходів на великих сміттєпереробних заводах.

Інтеграція компостування в загальну систему управління органічними відходами Львова є ключовим елементом для досягнення сталого розвитку та зменшення навантаження на полігони.

Необхідна розробка стратегії комплексної стратегії збільшення обсягів органічних відходів, що підлягають переробці, яка необхідна для максимізації завантаження Львівської компостувальної станції та стимулювання роздільного збору, впровадження економічних та соціальних стимулів для мешканців. Необхідний розгляд можливості встановлення на

компостувальній станції обладнання для механічного відділення великих неорганічних включень.

Для забезпечення зростаючих обсягів органічних відходів необхідно розширювати існуючу інфраструктуру для їхнього збору. Збільшення кількості коричневих контейнерів для органічних відходів є важливим кроком для покращення системи роздільного збору та підвищення ефективності компостування.

Для міста Львів оптимальним рішенням буде комбінація підходів. Інтенсивне компостування на Львівській станції може стати основою централізованої переробки значних обсягів харчових відходів, забезпечуючи високу продуктивність та екологічну безпеку, а індивідуальне та локальне компостування, може доповнювати систему, знижуючи потік відходів безпосередньо на місцях їх утворення та сприяючи формуванню екологічної культури серед мешканців.

Місто Львів має значний потенціал для використання власного компосту в різноманітних проєктах з озеленення.

Для забезпечення довгострокової життєздатності системи компостування в місті Львові необхідно розробити економічно обґрунтовану модель її функціонування, яка включатиме аналіз витрат та доходів, визначення ціни на компост, розробка фінансового плану, залучення інвестицій. Впровадження системи компостування у Львові має не лише потенціал для фінансової окупності через реалізацію цінного продукту, а й забезпечує значні екологічні вигоди, що є ключовими для сталого розвитку міста та його внеску у боротьбу зі зміною клімату.

Оптимізація процесу компостування харчових відходів у Львові вимагає комплексного підходу від підвищення культури роздільного збору та модернізації інфраструктури до активного використання компосту як ресурсу та розвитку локальних ініціатив.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білецька Г.А., Матюшенко І.В. Компостування органічних відходів у побутових умовах. Природничий альманах. Серія «Біологічні науки». 2019. Вип. 26. С. 16–23. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pasbn_2019_26_4.
2. Бузіна І.М., Рябченко В.С. Переробка органічної складової твердих побутових відходів шляхом компостування. Сучасний стан науки в сільському господарстві та природокористуванні: теорія і практика (20 листопада 2020 р.). С. 29-30.
3. Ведмідь А. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні [Електр. ресурс] Режим доступу: [stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymyvidhodamy.pdf](#)
4. Вермикомпостування як перспективний напрям, переробки органічних відходів, журнал ЕКОBUSINESS/
<https://ecoloqua.com/articles/vermykompostuvannya-yak-perspektyvnyy-naprym-pererobkyorganichnyh-vidhodiv>
5. Дослідження впливу мікробіологічної добавки «Байкал ЕМ» на процес компостування суміші харчових відходів / В.І. Соколова, Г.В. Крусір, О.А. Сагдєєва, І.В. Коваленко, І.О. Кузнецова. *Науково-технічний журнал «Техногенноекологічна безпека»*. 2020. № 7 (1/). С. 57–63.
6. Гаценко М.В. Компостування органічної речовини. Мікробіологічні аспекти. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2014. Т. 19. № 1. С. 11-20.
7. Горобець О.В., Галіцький В.А. Перспективні напрями утилізації органічних відходів. Наука. Молодь. Екологія – 2016: зб. матеріалів XII Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених (27 травня 2016 р., Житомир) ЖНАЕУ, 2016. С. 97-102.
8. Давидова І.В., Корбут М.Б., Бондарчук В.М. Оцінка дієвості засобів пропаганди екологічних знань. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2020. № 4 (31). С. 218–224.

9. ДСТУ ISO 45001:2019 (ISO 45001:2018, IDT) Системи управління гігієною та безпекою праці. Вимоги.
10. Закон України "Про управління відходами" від 20.06.2022 № 2320-IX. Веб-сайт Верховної Ради України. Доступно за посиланням: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>
11. Касімов А.М., Семенов В.Т., Александров А.Н., Коваленко А.М. Тверді побутові відходи. Проблеми і вирішення. Технології, устаткування: навч. посібн. Харків: ХНАМГ, 2006. 301 с.
12. Корбут М.Б., Давидова І.В. Популяризація процесу компостування органічних відходів у побутових умовах. *Екологічні науки* № 7(34) с. 201-213
13. Ляшенко О.О., Мовсесов Г.Є. Технологія та устаткування прискореного компостування органічних відходів. Співпраця для вирішення проблеми відходів: матеріали III міжнародної конф. (Харків, 7-8 лютого 2006 р.) С. 88-89.
14. Матвеев Ю.Б., Пухнюк А. Ю. Полігони побутових відходів: ситуація та перспективи. Тверді побутові відходи. 2013. № 6. С. 37-42.
15. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року, затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.02.2017 № 82-р. Веб-сайт Верховної Ради України. Доступно за посиланням: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/82-2017-%D1%80#Text>
16. Кращі європейські практики управління відходами : посібник / А. Войціховська, О. Кравченко, О. Мелень-Забрамна, М. Панькевич ; за заг. ред. О. Кравченко. Львів : Компанія «Манускрипт», 2019. 64 с.
17. Організація ефективного поводження з відходами: як діяти органам місцевого самоврядування : посібник для органів місцевого самоврядування / А. Войціховська, Н. Куць, М. Панькевич, Л. Тимощук ; за заг. ред. О. Кравченко. Львів : Компанія «Манускрипт», 2018. 108 с.
18. Охорона праці / К.Н. Ткачук, К.К. Ткачук, Ю.А. Гурін та ін. Кривий Ріг: ВЦ КТУ, 2011. 325 с
19. Проблеми державного регулювання у сфері поводження з відходами та

шляхи їх вирішення. [Електр. ресурс]. Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1386/>

20. Про житлово-комунальні послуги : Закон України від 09.11.2017 № 2189-VIII (зі змінами від 30.03. 2020) / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2189-19#Text>.

21. Приходько В.Ю., Гюльяхмедова К.Р. Характеристика біоорганічної складової твердих побутових відходів. Вісник ХНУ. 2018. Вип. 19. С. 82–90.

22. Розробка ключових елементів системи ресурсо- та енергоефективності / В. Соколова, Г. Крусір, Т. Шпирко, І. Кузнєцова, І. Коваленко. *Scientific Works*. 2019. Том 83 № 1. С. 21–26.

23. Сагдєєва О. А., Крусір Г. В., Цикало Г., Лойєнбергер М. Дослідження процесів компостування харчової складової твердих побутових відходів. *Науково-технічний журнал «ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА»*, № 4(2/2018) с. 13-21

24. Сафранов Т.А., Шаніна Т.П., Губанова О.Р., Приходько В.Ю. Класифікація твердих муніципальних відходів – передумова формування ефективної системи поводження з їх потоками. Вісник Одеського державного екологічного університету. 2014. №18. С. 32-37.

25. СОУ ЖКГ 03.09-014:2010 «Побутові відходи. Технологія перероблення органічної речовини, що є у складі побутових відходів». Видання офіційне, Київ, 2010. 39 с.

26. Сталінська І.В. Особливості екологічної безпеки у системі «тверді побутові відходи – навколишнє середовище – здоров'я людини». *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. Вип. 26(7). С. 238-244.

27. Сагдєєва О.А., Крусір Г.В., Цикало А.Л. Дослідження процесів компостування харчової складової твердих побутових відходів. *Техногенно-екологічна безпека*. 2018. № 4(2). С. 13–23.

28. Тверді побутові відходи в Україні: потенціал розвитку. Сценарії розвитку галузі поводження з твердими побутовими відходами. Підсумковий звіт. ІФС,

2015. 110 с.

29. Управління відходами в Україні [Електр. ресурс]. Режим доступу: http://ekosphaera.org/wpcontent/uploads/2018/02/Ukraine_Newsletter_01_ukr.pdf

30. Шаніна Т.П., Губанова О.Р., Клименко М.О. та ін. Управління та поводження з відходами: підручник. Одеса: Вид-во ТЕС, 2012. 272 с.

31. 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. Т. 157. С. 140-146.

32. Шевченко О.А., Деркачов Е. А. Еколого-гігієнічна оцінка ступеня небезпеки території муніципальних звалищ та заходи щодо їх оздоровлення. *Проблеми збору, переробки та утилізації відходів*: зб. наук. статей IV міжнар. наук.-практ. конференції. Одеса, 2002. С. 224-227

33. Koloskov, V. Identification of significant indicators for environmental reserve criterion of territories adjoined to wastes storage places based // *Техногенно-екологічна безпека*. 2018. Випуск 3(1/2018). С. 44–51.

34. Vambol, V., Rashkevich, N. Analysis of methods of identification of ecologically danger substances in atmospheric air . *Техногенно-екологічна безпека*. 2017. Випуск 2. 73–78. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1182894>

35. Prykhodko V., Safranov T., Shanina T. Сучасний стан сфери управління та поводження з твердими побутовими відходами в Україні. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2019. № 32. С. 58–66.

36. <https://zerowastekharkiv.org.ua/wp-content/uploads/>

37. https://city.zerowaste.org.ua/wiki/kompostuvannia_orhanichnykh_vidkhodiv_lvi
[v](#)

38. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1271-23#Text>

39. <https://waste.ua/law/nakaz300310-78.doc>