

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології  
Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ  
Зав. кафедрою екології  
доц. \_\_\_\_\_ Вікторія КАЦЕВИЧ  
« \_\_\_\_\_ » грудня 2025р.

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «магістр»  
на тему: «Управління відходами в аграрному підприємстві  
«Придніпровське» Житомирської області»

Виконала: здобувачка вищої освіти 2 курсу,  
групи МгЕ-1-24 спеціальності  
101 «Екологія»  
\_\_\_\_\_ Анна СКОРОБАГАТЬКО

Керівник \_\_\_\_\_ доц. Вікторія КАЦЕВИЧ

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет:** Водогосподарської інженерії та екології

**Кафедра:** Екології

**Освітньо-професійна програма:** «Екологія»

**Спеціальність:** 101 «Екологія»

**Ступінь вищої освіти:** Магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою екології

\_\_\_\_\_ Вікторія КАЦЕВИЧ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на підготовку кваліфікаційної роботи

Скоробагатько Анні Іванівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Управління відходами в аграрному підприємстві «Придніпровське» Житомирської області

**Науковий керівник:** к.с.-г.н., доц. Вікторія КАЦЕВИЧ

затверджена наказом по ДДАЕУ від «15» жовтня 2025 р. № 3074

**2. Термін подання здобувачем роботи:** 16.12.2025 р.

**3. Вихідні дані до роботи:** дані аграрного підприємства «Придніпровське», наукова література, статистичні звіти

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):** Вступ, РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ, РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНО-РЕСУРСНІ УМОВИ ТА ВИРОБНИЧА ДІЯЛЬНІСТЬ ТОВ «АП «ПРИДНІПРОВСЬКЕ», РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ОБСЯГІВ УТВОРЕННЯ ТА ВПЛИВУ ВІДХОДІВ НА ДОВКІЛЛЯ, РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОМПОСТУВАННЯ, РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ, ЛІТЕРАТУРА

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):** 4 рисунки та 8 таблиць

**6. Дата видачі завдання:** «15» жовтня 2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	жовтень	виконано
2	ПРИРОДНО-РЕСУРСНІ УМОВИ ТА ВИРОБНИЧА ДІЯЛЬНІСТЬ ТОВ «АП «ПРИДНІПРОВСЬКЕ»	жовтень	виконано
3	ОЦІНКА ОБСЯГІВ УТВОРЕННЯ ТА ВПЛИВУ ВІДХОДІВ НА ДОВКІЛЛЯ	листопад	виконано
4	ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОМПОСТУВАННЯ	листопад	виконано
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	грудень	виконано
6	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	грудень	виконано
7	ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ	грудень	виконано

Здобувач

\_\_\_\_\_

(підпис)

Анна СКОРОБАГАТЬКО

(Ім'я та прізвище)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Вікторія КАЦЕВИЧ

(Ім'я та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається зі вступу, п'яти розділів основної частини, висновків і переліку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 58 сторінок друкованого тексту. У змісті подано 4 ілюстрації і 8 таблиць. Список використаної літератури включає 46 найменування.

Метою роботи є еколого-економічне обґрунтування системи управління відходами ТОВ «АП «Придніпровське» з акцентом на впровадження технологій біологічної конверсії органічних відходів (компостування/ферментації) для підвищення екологічної безпеки території та ефективності використання ресурсів.

Об'єкт дослідження — система природокористування та поводження з відходами в ТОВ «АП «Придніпровське». Предмет дослідження — процеси утворення, накопичення, обліку та утилізації відходів рослинництва і тваринництва в умовах Житомирського Полісся.

Для досягнення мети поставлено такі завдання: провести аналіз природно-кліматичних умов розміщення підприємства та чутливості території до техногенного навантаження; виконати інвентаризацію джерел утворення відходів відповідно до видів діяльності підприємства та розрахувати річні обсяги утворення основних потоків; обґрунтувати проектні рішення щодо впровадження технології аеробного компостування суміші гною і рослинної біомаси як інструменту відновлення родючості ґрунтів; визначити екологічний і економічний ефект від запропонованих заходів. Методи дослідження: аналіз літературних джерел, порівняльна оцінка, розрахункові методи, моделювання, експертна оцінка, використання інформації з аналогічних господарств.

Ключові слова: Управління відходами; аграрне підприємство; компостування; органічні відходи; екологічна безпека.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1. Проблематика поводження з відходами в аграрному секторі	9
1.2. Класифікація відходів аграрного підприємства та критерії їх екологічної небезпеки	14
1.3. Сучасні підходи та технологічні рішення з управління відходами в аграрному виробництві	21
РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНО-РЕСУРСНІ УМОВИ ТА ВИРОБНИЧА ДІЯЛЬНІСТЬ ТОВ «АП «ПРИДНІПРОВСЬКЕ»	29
2.1. Загальна характеристика підприємства (виправлена нумерація посилань)	29
2.2. Природно-ресурсний потенціал території розташування підприємства: ґрунти, гідрологічні та інші природно-кліматичні умови (район розташування с. Оліївка, Житомирська область)	31
2.3. Аналіз виробничої діяльності: структура посівів і поголів'я ВРХ	37
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ОБСЯГІВ УТВОРЕННЯ ТА ВПЛИВУ ВІДХОДІВ НА ДОВКІЛЛЯ	43
3.1. Розрахунок потенціалу рослинних залишків	43
3.2. Розрахунок обсягів відходів тваринництва	47
РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОМПОСТУВАННЯ	52
4.1. Вибір технології утилізації	52
4.2. Розрахунок матеріального балансу компостування	57
4.3. Економічна цінність продукту	63
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	69
5.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів	69
5.2. Заходи безпеки, охорони праці та дії у надзвичайних ситуаціях	72
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	77
ЛІТЕРАТУРА	81

## ВСТУП

Сучасне аграрне виробництво в Україні одночасно формує значні потоки органічних відходів і відчуває дефіцит органічної речовини у ґрунтах, що особливо помітно для поліських і лісостепових територій. Для Житомирської області це питання є практично значущим через поєднання інтенсивного землекористування, близького залягання ґрунтових вод і ризиків потрапляння поживних речовин зі стоками у водні об'єкти басейну Тетерева. У межах цієї роботи об'єктом дослідження обрано ТОВ «АП «Придніпровське», виробничі потужності якого локалізовані в с. Оліївка Житомирської області, а структура діяльності поєднує рослинництво і тваринництво, що формує змішану сировинну базу органічних відходів та відкриває можливості для замкненого циклу використання ресурсів.

Додаткової актуальності темі надає реформування сфери поводження з відходами в Україні. Закон України №2320-IX «Про управління відходами» набув чинності 9 липня 2023 року й орієнтований на зближення підходів до управління відходами з європейськими принципами.

У праві ЄС базовою рамкою є Директива 2008/98/ЕС, яка закріплює ієрархію поводження з відходами (пріоритет запобігання утворенню, підготовки до повторного використання/перероблення, інших видів відновлення і лише потім видалення).

Для аграрного сектору важливим орієнтиром також є підхід, за якого органічні потоки (гній, підстилка, рослинні рештки) розглядаються не як «проблема», а як ресурс для відновлення ґрунтової родючості та/або отримання енергії за умови дотримання екологічних обмежень, зокрема щодо

азотного навантаження на землі (у ЄС для вразливих зон у контексті Нітратної директиви широко використовується орієнтир 170 кг N/га на рік із гною).

Метою роботи є еколого-економічне обґрунтування системи управління відходами ТОВ «АП «Придніпровське» з акцентом на впровадження технологій біологічної конверсії органічних відходів (компостування/ферментації) для підвищення екологічної безпеки території та ефективності використання ресурсів.

Об'єкт дослідження — система природокористування та поводження з відходами в ТОВ «АП «Придніпровське». Предмет дослідження — процеси утворення, накопичення, обліку та утилізації відходів рослинництва і тваринництва в умовах Житомирського Полісся.

Для досягнення мети поставлено такі завдання: провести аналіз природно-кліматичних умов розміщення підприємства та чутливості території до техногенного навантаження; виконати інвентаризацію джерел утворення відходів відповідно до видів діяльності підприємства та розрахувати річні обсяги утворення основних потоків; обґрунтувати проєктні рішення щодо впровадження технології аеробного компостування суміші гною і рослинної біомаси як інструменту відновлення родючості ґрунтів; визначити екологічний і економічний ефект від запропонованих заходів.

Методи дослідження. У роботі використано системний підхід до аналізу природно-ресурсних умов і виробничих процесів; методи інвентаризації та розрахунку масообігу органічних потоків (за нормативними коефіцієнтами та технологічними показниками господарювання); порівняльний аналіз вимог українського законодавства та європейських підходів у сфері управління відходами; еколого-економічні методи оцінювання ефективності проєктних рішень (розрахунок витрат, очікуваної економії ресурсів, екологічного ефекту). Набір вхідних параметрів і розрахункових припущень для моделювання господарства (земельний банк, структура посівів, наявність ферми ВРХ) прийнято відповідно до наявних у вихідних матеріалах даних/легенди для роботи.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованої схеми управління органічними відходами для підвищення рівня утилізації відходів, зменшення ризиків забруднення ґрунтів і вод, а також зниження витрат на мінеральні добрива та вуглецевого сліду продукції.

Робота складається зі вступу, розділів, у яких послідовно розглянуто теоретичні підходи до управління аграрними відходами, природно-ресурсні умови та виробничу діяльність підприємства, оцінку обсягів утворення й екологічного впливу відходів, обґрунтування технології компостування, еколого-економічну ефективність проєктних рішень, а також питання охорони праці та безпеки, і завершується загальними висновками та списком використаних джерел.

## РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Проблематика поводження з відходами в аграрному секторі

Аграрний сектор одночасно виступає ключовим постачальником продовольства і одним із найбільших генераторів потоків органічної речовини, які в управлінському та правовому сенсі дедалі частіше трактуються як відходи або побічні продукти, що потребують належного поводження. Особливість аграрних відходів полягає в тому, що значна їх частка має біогенне походження, містить поживні елементи та органічний вуглець, а отже потенційно може бути ресурсом для відновлення ґрунтової родючості або виробництва енергії; водночас за відсутності технологічно правильної організації вони стають джерелом деградації ґрунтів, забруднення вод, погіршення якості повітря та зростання парникових викидів. Така подвійність зумовлює необхідність розглядати аграрні відходи не лише як «залишки» виробництва, а як елемент екологічної безпеки, ресурсної ефективності та відповідності нормативним вимогам.

Складність проблематики починається з різноманітності джерел утворення і властивостей аграрних відходів. У структурі потоків органічної маси поєднуються рослинні залишки (післяжнивні рештки, солома, стебла, відходи первинної доробки) та відходи тваринництва (гній, гноївка, підстилка), які суттєво відрізняються за вологістю, співвідношенням вуглецю й азоту, швидкістю біохімічного розкладання та санітарними характеристиками. Саме ці відмінності визначають екологічні ризики та вибір технологій оброблення. Якщо, наприклад, рідка фракція гною або стоки з

майданчиків зберігання потрапляють у ґрунт чи поверхневі води без бар'єрів і контролю, зростає ризик переносу розчинних форм азоту та фосфору, органічних сполук і патогенів, що у водних екосистемах може спричиняти евтрофікацію, погіршення санітарного стану та зниження якості води. Ці механізми добре описані у матеріалах FAO, де наголошено на ролі змиву, інфільтрації та втрат поживних речовин під час неналежного зберігання й використання гною [17; 18]. У регіонах із гідрологічною чутливістю та розвинутою водною мережею ризики посилюються, адже дифузне забруднення формується як сукупний ефект багатьох «малих» джерел, які складно контролювати традиційними підходами до екологічного нагляду.

Важливою рамкою розуміння проблеми є сучасні регуляторні підходи до управління відходами. В Україні реформування сфери відходів закріплено Законом України «Про управління відходами», який визначає основні принципи державної політики та поступово наближає підходи до європейських [1]. Стратегічний горизонт і пріоритети розвитку системи управління відходами задаються Національною стратегією управління відходами до 2030 року та Національним планом управління відходами до 2030 року, що формують інституційну рамку для запровадження ієрархії поводження з відходами, планування інфраструктури й підвищення рівня утилізації [3; 4]. На практичному рівні для підприємств істотне значення має також унормування обліку і звітності, оскільки без інвентаризації потоків відходів неможливо ні коректно оцінити екологічні ризики, ні обґрунтувати технологічні рішення, ні довести відповідність встановленим вимогам [5]. У цьому контексті управління відходами в агросекторі дедалі більше виступає не «додатковою» функцією, а складовою системи екологічного менеджменту підприємства та його комплаєнсу з чинним законодавством [1; 5].

Європейська правова логіка, що впливає на українські реформи, закріплена у Рамковій директиві про відходи 2008/98/ЕС, яка визначає базові поняття, принципи та ієрархію поводження з відходами. Центральною ідеєю є пріоритет запобігання утворенню відходів, далі — підготовка до повторного

використання, перероблення, інші операції відновлення і лише в останню чергу — видалення [6]. Для аграрного сектору ця ієрархія означає, що практики на кшталт спалювання рослинних решток або неконтрольованого складування органіки суперечать сучасній ресурсній парадигмі, тоді як технології біологічної конверсії (компостування, анаеробне зброджування) за певних умов узгоджуються з підходом відновлення ресурсів. Узгодженість із принципами циркулярної економіки посилюється політикою ЄС у межах Плану дій з циркулярної економіки, який спрямований на зменшення утворення відходів і повернення матеріалів у господарський обіг, включно з біогенними потоками [8].

Окремим і дуже практичним виміром проблематики для аграрних підприємств є водоохоронний аспект управління органічними потоками. У праві ЄС він значною мірою пов'язаний із Нітратною директивою, спрямованою на захист вод від забруднення нітратами з аграрних джерел. Директива задає рамку для визначення вразливих зон, запровадження програм дій і обмежень на внесення азоту з гною на землі, зокрема широко відомий орієнтир 170 кг N/га на рік у відповідних умовах [7]. Навіть поза межами формального застосування цих механізмів, сама логіка «балансування поживних речовин» є фундаментальною для екологічно безпечної агропрактики: надлишок азотвмісної органіки без адекватного плану її використання створює ризики вимивання нітратів, тоді як дефіцит органічної речовини у ґрунті та зниження його структурності підсилює вразливість до ерозії, посух і деградаційних процесів. Отже, управління відходами в агросекторі неможливо звести до питання утилізації; воно повинно охоплювати узгодження обсягів органічних добрив з агрохімічним станом ґрунтів та водоохоронними обмеженнями території.

Проблематика агровідходів має і яскраво виражений кліматичний вимір. Тваринництво та управління гноєм є джерелами викидів метану ( $\text{CH}_4$ ) і закису азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ), а кількісні оцінки таких викидів у міжнародній практиці ґрунтуються на методологіях ІРСС, де управління гноєм розглядається як

окрема категорія джерел парникових газів [14; 15]. Питання метану є особливо актуальним, адже глобальні оцінки UNEP/CCAC підкреслюють значущість скорочення метанових викидів як одного з найбільш «швидких» шляхів впливу на темпи потепління, а сільське господарство називається серед ключових секторів, де такі скорочення можливі [13; 16]. На рівні господарства це означає, що вибір технології поводження з гноєм (відкрите зберігання без накриття, компостування, анаеробне зброджування тощо) впливає не лише на локальні екологічні ризики, а й на профіль кліматичних викидів, що стає все більш важливим для доступу до «зелених» ринків і фінансових інструментів.

Не менш значущим є вплив аграрного сектору на якість атмосферного повітря через викиди аміаку ( $\text{NH}_3$ ), що пов'язані з утриманням тварин, зберіганням і внесенням гною, а також із застосуванням азотних добрив. За даними Європейського агентства з довкілля, сільське господарство є домінуючим джерелом аміаку в Європі, а наявні тенденції скорочення таких викидів залишаються недостатніми для екологічних цілей [10; 11]. Аналітичні матеріали Європейських тематичних центрів також акцентують на тісному зв'язку між інтенсивністю тваринництва, практиками управління гноєм і рівнями викидів  $\text{NH}_3$ , а також на необхідності технологічних заходів для їх зменшення [12]. У практичному вимірі це означає, що для агропідприємств належне поводження з органічними відходами має включати мінімізацію втрат азоту в атмосферу (зменшення запахів, накриття, оптимізація внесення), адже такі втрати одночасно є і екологічним тиском, і прямою втратою поживних елементів, які могли б бути використані як ресурс.

Ґрунтовий вимір проблеми полягає у тому, що органічні залишки та гній можуть бути як фактором відновлення ґрунтової родючості, так і фактором деградації — залежно від форми внесення і технологічної підготовки. У європейській політиці охорони ґрунтів наголошується на тому, що деградаційні процеси та зниження вмісту органічної речовини є системною загрозою для продуктивності, біорізноманіття та кліматичної стійкості агроландшафтів. Це відображено, зокрема, в Європейській ґрунтовій стратегії

до 2030 року, де підкреслюється важливість здорових ґрунтів для продовольчої безпеки, природи та клімату [9]. У цьому контексті керована біологічна конверсія органічних відходів (наприклад, компостування) розглядається як спосіб повернення стабілізованої органічної речовини в ґрунт, що може підтримувати гумусоутворення, покращувати структуру і водоутримувальну здатність, а також зменшувати ризики втрат азоту порівняно з неконтрольованим розкладанням. Таким чином, аграрні відходи виступають не лише «об'єктом утилізації», а потенційним інструментом ґрунтоохоронної політики на рівні господарства.

Окремого розгляду потребує проблема спалювання рослинних решток, що історично використовувалася як «швидке» управлінське рішення, але має суттєві екологічні наслідки. Спалювання формує викиди парникових газів і забруднювачів повітря та супроводжується втратою органічної речовини, яка могла б бути повернена в ґрунт або використана як сировина для біоконверсії. Методичні матеріали FAO щодо спалювання рослинних решток підкреслюють, що така практика пов'язана з емісіями, які можуть бути істотними у сукупному балансі аграрного сектору [19]. Отже, відмова від спалювання та перехід до технологій, що зберігають ресурсний потенціал біомаси, є важливою складовою сучасної екологічно орієнтованої моделі управління відходами [6; 8].

Економічна площина проблеми полягає у тому, що неефективне поводження з відходами означає втрату матеріального потенціалу біомаси та поживних елементів, а також зростання витрат на ліквідацію наслідків забруднення або на дотримання екологічних вимог «постфактум». Органічні відходи здатні замінювати частину мінеральних добрив або створювати додану вартість у вигляді компосту та інших продуктів біоконверсії, але лише за умов технологічної керованості та контролю якості. Саме тому в сучасних підходах управління відходами, закладених у рамкових актах ЄС, наголос робиться на пріоритеті запобігання утворенню відходів і максимальному поверненні ресурсів у цикл [6; 8]. Паралельно міжнародні методології

оцінювання впливів у сільському господарстві, зокрема інвентаризаційні підходи ІРСС, формують підґрунтя для кількісного обґрунтування ефекту від змін у поводженні з гноєм і органічними потоками [14; 15]. Це дає можливість підприємству переходити від описового рівня до розрахункового — обґрунтовувати проєктні рішення не лише «екологічною доцільністю», а й вимірюваними показниками ресурсної економії та скорочення викидів.

Проблематика поводження з відходами в аграрному секторі є комплексною і включає одночасно дифузні ризики для водних ресурсів (через перенесення азоту та фосфору) [17; 18], впливи на якість повітря (через викиди аміаку та супутні аерозольні процеси) [10–12], кліматичні ефекти (через  $\text{CH}_4$  і  $\text{N}_2\text{O}$ ) [13–16], ґрунтову деградацію та необхідність підтримання органічної речовини [9], а також правові й управлінські вимоги, що посилюються в межах реформи управління відходами в Україні та євроінтеграційного зближення [1; 3–6; 8]. На рівні конкретного аграрного підприємства це означає потребу у системному підході: інвентаризувати потоки відходів, мінімізувати їх утворення та втрати поживних елементів, обирати технології біоконверсії відповідно до властивостей сировини, а також забезпечувати документування й контроль, які роблять систему екологічно безпечною та економічно виправданою [1; 5; 6].

## 1.2. Класифікація відходів аграрного підприємства та критерії їх екологічної безпеки

Класифікація відходів є базовою процедурою в системі управління відходами аграрного підприємства, оскільки саме від правильного визначення статусу матеріалу (відхід чи продукція/побічний продукт), встановлення коду, ідентифікації небезпечних властивостей та прогнозування екологічних ризиків залежать законність подальших операцій, вибір технологій

оброблення, вимоги до тимчасового зберігання, порядок передачі операторам та повнота державного обліку і звітності. У сучасній правовій архітектурі України ці питання регулюються рамковим Законом України «Про управління відходами» [1], тоді як практичні механізми класифікації та застосування Національного переліку відходів конкретизовані постановою Кабінету Міністрів України № 1102 від 20.10.2023, якою затверджено і Порядок класифікації, і Національний перелік [21]. Відповідно, коректна класифікація для підприємства є не формальністю, а умовою керованості системи: без неї неможливо ані довести відповідність законодавству, ані обґрунтувати технологічні рішення, ані побудувати простежуваність потоків від місця утворення до кінцевої операції відновлення чи видалення [1; 5].

З позицій екологічної науки і практики управління, класифікація виконує дві взаємопов'язані функції. По-перше, вона забезпечує інвентаризацію потоків матеріалів, що виходять за межі виробничого циклу (залишки сировини, побічні фракції, забруднені матеріали, пакування, відпрацьовані реагенти, непридатна продукція тощо), та дозволяє кількісно описати «профіль відходів» підприємства, що є основою планування інфраструктури (місця тимчасового зберігання, накопичувачі, контейнери, знаки, бар'єрні споруди). По-друге, класифікація є інструментом екологічної безпеки, адже через встановлення небезпечних властивостей дає можливість прогнозувати механізми впливу на довкілля (міграцію у ґрунт і воду, емісії в атмосферу, ризики токсичності для біоти), а отже — обґрунтувати запобіжні заходи, моніторинг і технологічні рішення, що мінімізують шкоду. Такий підхід узгоджується з європейською логікою «ієрархії поводження з відходами» та принципом недопущення шкоди здоров'ю людей і довкіллю, закріпленими у Директиві 2008/98/ЕС [6], а також із загальною ресурсною орієнтацією політики циркулярної економіки [8].

Для аграрного сектору принципово важливою є межа між «відходом» і «ресурсом», оскільки значна частина матеріальних потоків має потенціал повторного використання: гній і гнойові стоки, післязбиральні рештки,

солома, відходи кормів, деревина від догляду за насадженнями. У правозастосуванні ключовим є не сама «природність» матеріалу, а намір і спосіб поводження: якщо матеріал утворюється як небажаний залишок і від нього позбуваються, він набуває статусу відходу; якщо ж матеріал відповідає критеріям побічного продукту або «втрачає статус відходу» після операцій відновлення, він може розглядатися як ресурс у господарському обігу. У праві ЄС це врегульовано через критерії побічних продуктів та «end-of-waste» у Директиві 2008/98/ЄС [6], а також через тлумачні документи Європейської Комісії, які пояснюють межі понять «відходи» і «побічні продукти» та умови правомірного розмежування [29; 30]. Для українських підприємств така логіка є корисною як методична рамка для внутрішніх регламентів: вона дає змогу мінімізувати утворення відходів шляхом законного повернення матеріалів у виробничий цикл або передачі на відновлення, не знижуючи рівень екологічної безпеки та простежуваності [6; 21].

Нормативна класифікація в Україні спирається на уніфікований підхід: застосування Порядку класифікації відходів і Національного переліку відходів [21]. Національний перелік відходів структуровано за кодовою логікою і на практиці використовується підприємствами для встановлення коду відходу за походженням та видом матеріалу; доступ до переліку забезпечено, зокрема, через державні екосервіси на платформі «ЕкоСистема» [22]. Водночас історично в Україні застосовувався ДК 005-96 «Класифікатор відходів» [23], який і нині зустрічається в довідкових та облікових процедурах; отже, в реальній роботі підприємство може мати потребу зіставляти термінологію й коди різних систем, фіксуючи прийняте рішення в облікових документах та внутрішніх інструкціях [21; 23]. Для забезпечення сумісності з європейськими практиками корисним є також розуміння структури європейського «списку відходів» (List of Waste), сформованого рішенням/рішеннями Комісії ЄС, зокрема 2000/532/ЄС та змінами 2014/955/EU [24; 25], адже саме за цією логікою в багатьох випадках побудовано підходи до кодів і груп відходів, які відображають походження та процес утворення.

Алгоритм класифікації на рівні підприємства доцільно будувати як послідовність взаємопов'язаних кроків, що забезпечують доказовість і відтворюваність прийнятого рішення. Спершу проводять інвентаризацію джерел утворення відходів у розрізі виробничих операцій (рослинництво, тваринництво, ремонтна дільниця, склади ПММ, вузли зберігання агрохімікатів, зерноочисні комплекси, пакувальні операції, адміністративно-побутовий сектор). Далі встановлюють ключові ознаки: агрегатний стан, вологість, наявність домішок, можливість пиління, біорозкладність, потенційні небезпечні компоненти. Після цього здійснюють добір коду за Національним переліком [21; 22] та фіксують його в обліку. Якщо позиція має «дзеркальний» характер (коли одна й та сама група може бути як небезпечною, так і не небезпечною залежно від складу), тоді потрібна додаткова оцінка складу або лабораторне підтвердження наявності небезпечних компонентів і порогових концентрацій; саме цю логіку детально пояснює технічне керівництво Європейської Комісії з класифікації відходів (2018/C 124/01) [28], що практично корисно для підприємств як зразок доказового підходу до «складних» і змішаних відходів.

Критерії екологічної безпеки відходів у сучасних системах управління базуються на понятті небезпечних властивостей. У ЄС небезпечні властивості (HP1–HP15) закріплені шляхом заміни Додатку III до Директиви 2008/98/ЄС регламентом (ЄС) № 1357/2014 [26], а їх практичне визначення узгоджується з класифікацією хімічних речовин і сумішей за Регламентом CLP № 1272/2008 [27]. Для аграрних підприємств це має пряме значення, адже частина відходів є «хімічно чутливою» за природою: залишки та промивні води від засобів захисту рослин, тара, забруднена пестицидами, відпрацьовані мастила та фільтри, акумулятори, електрообладнання, сорбенти після ліквідації розливів ПММ. Навіть при невеликих обсягах такі фракції можуть створювати непропорційно високий екологічний ризик через токсичність, екотоксичність, кумулятивність або пожежонебезпечність, тому потребують відокремленої класифікації, спеціальних умов зберігання та передачі на оброблення [26–28].

У сільському господарстві найбільш об'ємними є органічні та біогенні потоки, які одночасно є потенційним ресурсом і джерелом суттєвих ризиків. Гній і гнойові стоки, відходи кормів, підстилка мають високий вміст азоту та фосфору, здатні формувати емісії аміаку та парникових газів, а у разі порушень зберігання — спричиняти забруднення ґрунтів та евтрофікацію поверхневих вод. Ризикові механізми, пов'язані з інфільтрацією, поверхневим зливом та втратами поживних речовин під час неналежного зберігання і використання гною, детально відображені у матеріалах FAO [17; 18], і вони є важливими для екологічного обґрунтування вимог до гноєсховищ, майданчиків компостування та режимів внесення органічних добрив. У класифікаційному сенсі вирішальним є контекст поводження: за наявності системного обліку, технологічної підготовки (наприклад, компостування) і агрономічно обґрунтованого застосування гній може функціонувати як корисний матеріал у внутрішньому циклі господарства; натомість неконтрольоване накопичення, відсутність визначеного використання або утворення стоків без бар'єрів підсилює ознаки «відходу» та потребу в управлінні як потенційно небезпечним потоком [1; 21].

Післязбиральні рештки (солома, стебла кукурудзи, лущиння, відходи очищення зерна) в багатьох господарствах становлять основу ресурсоефективних рішень: мульчування, компостування, використання як підстилки, застосування в біоенергетиці. Водночас вони можуть набувати статусу відходу при забрудненні сторонніми домішками, при псуванні внаслідок неправильного зберігання або при змішуванні з іншими фракціями, що унеможлиблює безпечне використання. Європейський підхід наголошує, що певні природні матеріали сільськогосподарського походження можуть опинитися поза режимом «відходів» за умови їх використання без шкоди довкіллю, що впливає з положень Директиви 2008/98/ЕС щодо сфери застосування та тлумачення [6; 29; 30]. Для українських підприємств це доцільно розглядати як методичний орієнтир при розмежуванні

«внутрішнього обігу біомаси» та «утворення відходів», але за умови доказовості екологічної безпеки й документування.

Окремий, підвищено ризиковий блок — відходи, пов'язані з використанням пестицидів і агрохімікатів. До нього належать непридатні або заборонені препарати, залишки робочих розчинів, промивні води, засоби індивідуального захисту після забруднення, а також тара, що контактувала з небезпечними речовинами. В Україні спеціальний порядок вилучення, утилізації, знищення та знешкодження непридатних пестицидів і агрохімікатів та тари від них визначено постановою КМУ № 354 [32], а загальні вимоги до безпечного поводження — Законом України «Про пестициди і агрохімікати» [33]. У методичному плані підприємству доцільно орієнтуватися й на міжнародні підходи до управління порожньою тарою з-під пестицидів, де акцент робиться на мінімізації залишкової небезпеки, недопущенні повторного використання тари у побуті та організації систем збору/повернення; це узагальнено у настановах FAO/WHO [34]. Усі ці вимоги зумовлюють потребу суворого роздільного збирання, маркованих місць тимчасового зберігання та передачі виключно ліцензованим операторам із підтверджувальними актами [32–34].

Пластикові та комбіновані матеріали агровиробництва (агроплівка, шпагат, мішки, біг-беги, каністри, пакування насіння і добрив) формують ще один значущий потік. Екологічна проблемність цієї групи пов'язана з утворенням змішаних і забруднених фракцій, що ускладнюють перероблення, та ризиками неконтрольованого спалювання. Тому в системі класифікації важливо розмежовувати «чисті» пакувальні матеріали, потенційно придатні до рециклінгу, і забруднені фракції, які потребують попереднього очищення або можуть набувати характеристик небезпечності залежно від контамінації. У методологіях ЄС саме коректний вибір позиції у списку відходів та доказовий підхід до оцінки складу визначають подальші вимоги до оброблення, що докладно описано в технічному керівництві ЄК [28] та реалізовано через логіку європейського переліку відходів [24; 25].

Технічні та сервісні відходи (відпрацьовані оливи, мастила, фільтри, сорбенти після прибирання розливів ПММ, акумулятори, електрообладнання) у структурі агропідприємства часто є менш масовими, але екологічно «концентрованими» за небезпекою. Вони здатні викликати локальне токсичне забруднення ґрунтів і підземних вод, створювати пожежні ризики та небезпеку для персоналу. Ризик-орієнтована класифікація таких потоків має бути доказовою й узгодженою з концепцією небезпечних властивостей [26–28], а також із загальними міжнародними підходами до небезпечних відходів, закріпленими у Базельській конвенції [31]. Це формує практичний висновок для підприємства: навіть при малих обсягах такі відходи мають бути відокремлені, належним чином упаковані, промарковані, зберігатися з бар'єрним захистом (піддони, герметичність, сорбенти) та передаватися оператору з підтвердженням повного ланцюга відповідальності [1; 31].

Класифікація відходів тісно пов'язана з державним обліком і звітністю, адже саме через систему обліку формується прозорість управлінських рішень та можливість контролю. Порядок ведення державного обліку відходів і подання звітності та типову форму обліку встановлено наказом Міндовкілля № 1534 від 26.11.2024 [5]. Для аграрного підприємства це означає необхідність внутрішньої організації даних: реєстру утворення відходів із прив'язкою до місця, часу, відповідальної особи, коду за Національним переліком, обсягу, способу тимчасового зберігання та напрямку подальшого оброблення/передачі. У контексті практичних рекомендацій для підприємства саме цей блок забезпечує «керованість» системи: коли класифікація стає основою планування інфраструктури, договірних відносин з операторами та екологічного контролю, а не лише формальною вимогою [5; 21; 22].

### 1.3. Сучасні підходи та технологічні рішення з управління відходами в аграрному виробництві

Сучасна модель управління відходами в аграрному виробництві формується на перетині трьох взаємопов'язаних вимірів: нормативно-правового (дотримання вимог законодавства та регуляторних процедур), екологічного (мінімізація впливів на ґрунти, водні ресурси, атмосферне повітря та клімат) і ресурсного (максимальне повернення матеріалів у господарський обіг у межах циркулярної економіки). Для аграрного підприємства це означає перехід від фрагментарних рішень типу «вивезти/спалити/складувати» до системного управління потоками матеріалів, де відходи розглядаються як керований об'єкт із визначеним походженням, складом, потенційною небезпечністю, інфраструктурою тимчасового зберігання, маршрутом передачі та кінцевою операцією відновлення чи видалення [1; 5; 21]. Основним методологічним орієнтиром такої трансформації є ієрархія поводження з відходами, закріплена у праві ЄС, де пріоритетом виступає запобігання утворенню, далі — підготовка до повторного використання, перероблення, інші операції відновлення і лише в останню чергу — видалення [6]. Ця логіка узгоджується з політикою циркулярної економіки, що стимулює зменшення відходоутворення і повернення ресурсів у виробничі цикли, включаючи біогенну сировину [8].

На практичному рівні сучасні підходи до управління аграрними відходами починаються з організації «внутрішнього контуру керованості», який включає аудит потоків відходів, їх класифікацію і кодування, визначення небезпечних властивостей, регламенти роздільного збирання, облік і простежуваність, а також систему відповідальності персоналу. В Україні ці елементи прямо пов'язані з вимогами Закону України «Про управління

відходами» [1] та інструментами класифікації, затвердженими постановою КМУ № 1102 (Порядок класифікації та Національний перелік відходів) [21; 22]. Власне класифікація не є самоціллю: вона забезпечує доказовість обраних рішень щодо маршруту відходу й підстави для встановлення технології оброблення, умов тимчасового зберігання, вимог безпеки та параметрів екологічного контролю [21; 28]. Облік і звітність у сфері управління відходами, що регламентуються наказом Міндовкілля № 1534 [5], у сучасній моделі мають виконувати управлінську функцію: формувати масо-баланс потоків, дозволяти оцінювати ефективність заходів зі зменшення утворення відходів, виявляти «проблемні вузли» (місця втрат, змішування фракцій, утворення забруднених потоків), а також підтверджувати прозорість передачі відходів операторам [5; 1].

Важливою ознакою сучасного підходу є розмежування потоків, які можуть бути повернуті у виробничий цикл як побічні продукти або вторинна сировина, і потоків, що мають бути оформлені та керовані як відходи із встановленими режимами безпеки. У європейській системі цю межу забезпечують критерії побічних продуктів та «end-of-waste» (втрата статусу відходу після відновлення), що випливають з Директиви 2008/98/ЕС і роз'яснювальних документів Європейської Комісії [6; 29; 30]. Для аграрного підприємства практичний сенс такого розмежування полягає в можливості законно підвищити ресурсну ефективність без зниження екологічної безпеки: біогенну сировину спрямовувати на компостування або анаеробне зброджування, побічні фракції очищення зерна — на кормові або ґрунтополіпшувальні рішення (за відповідності вимогам), придатні пакувальні матеріали — на підготовку до рециклінгу, а небезпечні фракції (відпрацьовані мастила, пестицидна тара, непридатні агрохімікати) — на спеціалізоване поводження з підвищеними вимогами до зберігання та передачі [26–28; 31–34].

Наймасовішими потоками в аграрному виробництві є органічні відходи та побічні біогенні матеріали. Саме вони визначають ключову «точку

напруги» між ресурсним потенціалом і ризиками для довкілля. Гній, гноївка, підстилка, відходи кормів і рослинні рештки містять азот і фосфор, органічний вуглець і мікроелементи, тому можуть бути джерелом відновлення родючості ґрунтів і зменшення залежності від мінеральних добрив. Водночас неналежне зберігання або внесення цих матеріалів формує дифузне забруднення вод через змив і інфільтрацію, підвищує ризики евтрофікації, спричиняє емісії аміаку (погіршення якості повітря та вторинне утворення дрібнодисперсних частинок) і генерує викиди парникових газів (метан та закис азоту) [17; 18; 10–12; 14; 15]. Тому сучасна модель управління органічними потоками ґрунтується на інтегрованому підході «управління поживними речовинами»: кількісна оцінка утворення гною/стоків, їх технологічна підготовка, контроль умов зберігання, агрономічно обґрунтоване внесення та моніторинг ризиків для ґрунтів і вод [17; 18; 7]. Нітратна директива ЄС як один із найвідоміших прикладів водоохоронного регулювання у сільському господарстві демонструє, що саме перевищення «поглинальної здатності» агроландшафту до азотних навантажень є системним фактором забруднення вод і вимагає програм дій, обмежень і планування внесення органічних добрив [7].

У цьому контексті компостування виступає одним з найпоширеніших сучасних методів біологічного відновлення органічних потоків, який переводить нестабільну органічну масу у більш стабілізований продукт із нижчими санітарними ризиками та кращими властивостями для ґрунту. З технологічної точки зору компостування є керованим аеробним процесом, де контроль співвідношення вуглецю і азоту, вологості, аерації та температурного режиму визначає швидкість розкладання, зниження запахів, інактивацію збудників та формування гумусоподібних сполук. Для аграрних господарств компостування особливо ефективно при поєднанні різних фракцій, наприклад, гною та рослинних решток, що дозволяє збалансувати структуру суміші й оптимізувати процес [44; 45]. У сучасних практиках компостування важливо, що технологія виконує не лише «утилізаційну», а й екологічно-захисну функцію: за умови правильно облаштованого майданчика

з контролем фільтрату (щоб уникнути потрапляння забруднених стоків у ґрунт і воду) та дотримання режимів аерації компостування зменшує ризики забруднення, а готовий компост може бути спрямований на відновлення органічної речовини ґрунтів, що відповідає сучасним підходам до охорони ґрунтів [9; 44].

Другим ключовим напрямом сучасної переробки органічних потоків є анаеробне зброджування з отриманням біогазу та дигестату. Ця технологія має принципову перевагу: дозволяє одночасно вирішувати енергетичне завдання (відновлювана енергія) і завдання управління органічними матеріалами, знижуючи ризики неконтрольованого розкладання та емісій у процесі зберігання. Кліматичний ефект таких рішень підтверджується загальною логікою міжнародних оцінок, де скорочення метану у сільському господарстві розглядається як один із найбільш дієвих важелів швидкого зменшення кліматичного впливу [13; 16], а методологічна основа кількісного обґрунтування змін у викидах під час управління гноєм і органічними потоками формалізована у керівництвах IPCC [14; 15]. Водночас дигестат як продукт біоконверсії потребує не менш ретельного управління, ніж вихідний гній: його зберігання і внесення мають бути організовані так, щоб мінімізувати втрати азоту (емісії аміаку), уникати змиву у поверхневі води і забезпечувати відповідність агрохімічним потребам ґрунту [7; 10–12]. Саме тому сучасний підхід до анаеробного зброджування включає поєднання технології виробництва енергії з системою екологічного менеджменту поживних речовин і моніторингу ризиків для водних ресурсів [7; 17; 18].

Окрема лінія розвитку сучасного управління органічними потоками пов'язана із встановленням вимог до якості продуктів біологічної обробки та зменшенням регуляторної невизначеності щодо їх статусу. У європейській практиці значний масив роботи зосереджений на критеріях «end-of-waste» для компосту й дигестату як продуктів біологічної обробки, що відображено у дослідженнях JRC щодо критеріїв втрати статусу відходу для біорозкладних відходів після компостування або анаеробного зброджування [42]. Паралельно

Регламент (ЄС) 2019/1009 запровадив гармонізовані правила для виведення на ринок ЄС добривних продуктів, включно з компостом і дигестатом як компонентними матеріалами у складі «EU fertilising products», встановлюючи вимоги до безпеки, якості та маркування [37]. Навіть якщо українське підприємство не планує безпосередній вихід на ринки ЄС, сама поява таких регламентів змінює «стандарт очікувань» щодо якості органічних ґрунтополіпшувачів: підприємства з іноземним капіталом або з експортною орієнтацією все частіше змушені демонструвати не лише факт утилізації органіки, а й контроль якості продуктів переробки, відсутність небезпечних домішок, простежуваність походження та контроль критичних точок технологічного процесу [37; 42].

Поряд із біологічними рішеннями, сучасні підходи приділяють значну увагу зменшенню атмосферних викидів (передусім аміаку) та запобіганню потраплянню забруднювачів у ґрунти й води на етапі зберігання. Європейські документи з найкращих доступних технологій (ВАТ) у секторі інтенсивного утримання птиці або свиней містять конкретні технічні рішення щодо зниження аміачних викидів під час зберігання гною/гноївки (накриття сховищ, оптимізація конструкцій, керування вентиляцією, застосування технологій обробки), а також щодо запобігання викидам і витокам у ґрунти та води [40; 41]. У більш широкому контексті управління відходами ВАТ-підходи у сфері «waste treatment» систематизують кращі практики поводження з відходами, включно з біологічною обробкою, контролем запахів, очищенням повітря, управлінням фільтратом і загальною системою екологічного менеджменту установок [38; 39]. Для аграрних підприємств, які поєднують рослинництво і тваринництво, ці документи важливі не як формальна вимога ЄС, а як доказова база сучасних «порогових очікувань» щодо технологічної дисципліни: навіть без статусу IED-об'єкта підприємство може використовувати ВАТ-логіку як орієнтир при модернізації гноєсховищ, облаштуванні майданчиків компостування та впровадженні засобів зменшення запахів і аміачних втрат,

що одночасно покращує екологічну безпеку і знижує втрати азоту як ресурсу [11; 12; 38].

Сучасна модель управління відходами в аграрному підприємстві не обмежується органікою, оскільки значущими є також потоки пакування, полімерів і технічних відходів. Агроплівка, шпагат, мішки, біг-беги, каністри й пакування від добрив і засобів захисту рослин формують фракції, де ключовим чинником екологічної ефективності є роздільний збір і запобігання забрудненню. Змішування полімерів з ґрунтом, рослинними рештками або залишками хімічних речовин переводить потенційно придатні до рециклінгу матеріали у складні змішані відходи з дорожчим та менш доступним обробленням, що фактично підвищує частку «кінцевого видалення» у структурі поводження. Тому сучасні підходи акцентують на створенні всередині підприємства логістики чистих потоків: окремі контейнери, марковані місця накопичення, правила приймання на склад, обмеження на змішування фракцій, а також договори з операторами, які мають спроможність підготувати полімери до перероблення. Методична рамка таких рішень узгоджується як з ієрархією управління відходами [6], так і з технічними рекомендаціями щодо класифікації та доказового віднесення відходів до відповідних категорій залежно від забруднення і складу [28; 24; 25]. У цьому сенсі управління пакуванням і полімерними матеріалами є не «другорядним» завданням, а індикатором зрілості системи управління відходами, оскільки демонструє спроможність підприємства контролювати дрібні, але масові потоки і зменшувати загальну частку змішаних відходів, що найчастіше ведуть до видалення [6; 8].

Найвищі вимоги до технологічної дисципліни і доказовості стосуються небезпечних відходів, які в аграрному секторі часто пов'язані з використанням пестицидів, агрохімікатів та експлуатацією техніки. Непридатні або заборонені пестициди, залишки робочих розчинів, промивні води, забруднені матеріали, а також тара від пестицидів підпадають під спеціальні правила поводження, визначені постановою КМУ № 354 [32] та Законом України «Про

пестициди і агрохімікати» [33]. Міжнародні рекомендації підкреслюють необхідність недопущення повторного використання такої тари у побуті, організації систем її збирання та управління залишковою небезпекою [34]. Технічні відходи (відпрацьовані мастила, фільтри, акумулятори, сорбенти після ліквідації розливів ПММ) є «малими за обсягом, але великими за ризиком»; їх сучасне управління спирається на ідентифікацію небезпечних властивостей (HP1–HP15) [26] та застосування доказового підходу до класифікації за правилами, узгодженими з CLP [27] і загальними міжнародними принципами поводження з небезпечними відходами, закріпленими, зокрема, в Базельській конвенції [31]. Системність у цьому сегменті виявляється через наявність паспортів безпеки, внутрішніх інструкцій, спеціально облаштованих місць накопичення, протиаварійного комплексу (сорбенти, піддони, інструменти), навчання персоналу та підтверджувальних документів передачі відходів оператору [5; 31–34].

Окремої уваги у сучасних підходах заслуговує інструментарій екологічного менеджменту й оцінювання ефективності рішень у сфері відходів. Практика показує, що навіть технологічно правильні рішення не забезпечують сталого ефекту без управлінського «каркасу», який інтегрує цілі, процедури, контроль і постійне вдосконалення. Саме таку рамку задає стандарт ISO 14001, який описує вимоги до системи екологічного менеджменту організації та орієнтує на планування, виконання, перевірку і поліпшення екологічної результативності, включаючи дотримання правових вимог і управління ризиками [35]. Для тематики відходів це означає формалізацію таких елементів, як визначення екологічних аспектів (у т.ч. відходоутворення), постановка вимірюваних цілей (зменшення змішаних відходів, збільшення частки відновлення, скорочення втрат азоту, зменшення випадків розливів ПММ), внутрішні аудити, аналіз інцидентів і коригувальні дії. Додатковим інструментом оцінювання є методологія оцінки життєвого циклу (LCA), принципи якої визначені стандартом ISO 14040 [36]. У контексті аграрного підприємства LCA дозволяє порівнювати сценарії поводження з

відходами (наприклад, компостування проти спалювання решток, анаеробне зброджування проти відкритого зберігання гною) з позицій впливу на клімат, евтрофікацію, кислотність та інші категорії впливу; при цьому результати можуть бути використані як доказова база для інвестиційних рішень і екологічної звітності. Важливо, що методологічна база IPCC щодо парникових інвентаризацій [14; 15] та глобальні оцінки метану [13; 16] підсилюють необхідність кількісного підходу: сучасна система управління відходами має демонструвати не лише «наявність процесів», а й вимірюваний екологічний ефект у вигляді скорочення втрат та емісій.

Нарешті, сучасні підходи до управління відходами в аграрному виробництві все частіше розглядаються в ширшій рамці сталих харчових систем, де відходи та побічні продукти оцінюються як потенційний ресурс для біоекономіки та ґрунтового відновлення. Європейська стратегія «від лану до столу» формує загальну політичну рамку трансформації продовольчих систем у бік більшої екологічності, ресурсної ефективності та зменшення втрат [43]. У цій логіці аграрне підприємство, яке впроваджує роздільний збір відходів, переходить від спалювання решток до компостування, впроваджує біоконверсію органіки та контролює ризики для водних ресурсів, фактично посилює власну стійкість: зменшує залежність від зовнішніх ресурсів (мінеральних добрив, енергії), знижує екологічні ризики, покращує відповідність регуляторним вимогам і формує кращі передумови для партнерств, фінансування та доступу до вимогливих ринків. З огляду на те, що значна частина екологічних ризиків у сільському господарстві має дифузний характер і проявляється як сумарний ефект багатьох дрібних джерел, саме системні рішення на рівні підприємства — інвентаризація, технологічна дисципліна, контроль якості продуктів біоконверсії та екологічний менеджмент — виступають найрезультативнішим шляхом переходу від «реактивного» до «профілактичного» управління відходами [1; 5; 6; 8; 17; 18].

## РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНО-РЕСУРСНІ УМОВИ ТА ВИРОБНИЧА ДІЯЛЬНІСТЬ ТОВ «АП «ПРИДНІПРОВСЬКЕ»

2.1. Загальна характеристика підприємства (виправлена нумерація посилань)

ТОВ «АГРАРНЕ ПІДПРИЄМСТВО “ПРИДНІПРОВСЬКЕ”» (далі — ТОВ «АП “Придніпровське”») є суб’єктом господарювання аграрного сектору, що здійснює діяльність у сфері рослинництва та тваринництва, формуючи відповідні потоки сільськогосподарських відходів і побічних продуктів, які надалі визначають пріоритети системи управління ними. Відповідно до відкритих реєстраційних даних підприємство функціонує в організаційно-правовій формі товариства з обмеженою відповідальністю; дата заснування — 26.01.2017 р., статутний капітал — 10 000 грн; основний вид діяльності за КВЕД — 01.11 (вирощування зернових культур, бобових культур і насіння олійних культур) [48; 49].

Станом на 2025 року місцезнаходження (адреса в ЄДР) підприємства зафіксована у Житомирській області, Житомирському районі, с. Оліївка, вул. Звягельська, буд. 19А [48].

Важливою організаційно-управлінською особливістю ТОВ «АП “Придніпровське”» є наявність іноземного капіталу, що в сучасній практиці нерідко виступає чинником підвищення вимог до прозорості та внутрішніх екологічних стандартів.

З позицій виробничого профілю підприємства, реєстраційні дані фіксують широкий перелік додаткових видів діяльності, що охоплює

тваринництво (розведення ВРХ), змішане сільське господарство, післяурожайні операції, оброблення насіння, оптової торгівлі зерном і продукцією тваринництва, складське господарство та вантажні перевезення [48; 49]. Така структура діяльності є типовою для агровиробників із розгалуженим виробничо-логістичним циклом і одночасно означає наявність кількох технологічних вузлів утворення відходів: польовий блок (рослинні рештки, тара від агрохімікатів), тваринницький блок (гній, підстилка, відходи кормів), ремонтно-технічний блок (відпрацьовані мастила, фільтри, АКБ), складсько-логістичний блок (упаковка, допоміжні матеріали) [1; 6; 48].

Модель господарства наступна - земельний банк близько 1500 га, структура посівів із домінуванням кукурудзи та пшениці та наявністю тваринницького напрямку (ВРХ) як джерела органічних відходів і поживних речовин для ґрунту [53].

Організаційно система управління відходами на підприємстві такого типу має спиратися не лише на договори з операторами, а й на внутрішню керованість: інвентаризацію потоків, класифікацію, операційний контроль місць тимчасового зберігання, простежуваність передачі та внутрішні аудити. В українських умовах це напряму пов'язано з вимогами Закону України «Про управління відходами» та підзаконними правилами класифікації/обліку [1; 5; 21; 22], а як управлінська рамка може бути підсилена підходами системи екологічного менеджменту ISO 14001 [35]. У разі інтеграції в міжнародні ланцюги постачання або взаємодії з фінансовими інституціями додаткового значення набувають принципи відповідального ведення бізнесу та вимоги до управління екологічними й соціальними ризиками [50; 51], а також тенденції до розширення корпоративної звітності зі сталого розвитку в ЄС (CSRD) як «еталона очікувань» щодо якості екологічних даних і політик [52].

## 2.2. Природно-ресурсний потенціал території розташування підприємства: ґрунти, гідрологічні та інші природно-кліматичні умови (район розташування с. Оліївка, Житомирська область)

Територія розміщення ТОВ «АП «Придніпровське» (район розташування с. Оліївка поблизу м. Житомир) належить до центральної частини Житомирської області й характеризується поєднанням рис двох великих природно-географічних зон України — Полісся та Лісостепу. Саме «перехідність» ландшафтів є визначальною для оцінки природно-ресурсного потенціалу: з одного боку, вона формує відносно сприятливі передумови для розвитку інтенсивного рослинництва та тваринництва за умови раціонального землекористування, а з іншого — підвищує чутливість території до антропогенного навантаження, насамперед до забруднення ґрунтів і водних об'єктів внаслідок поводження з органічними відходами та стоками [27, 48].

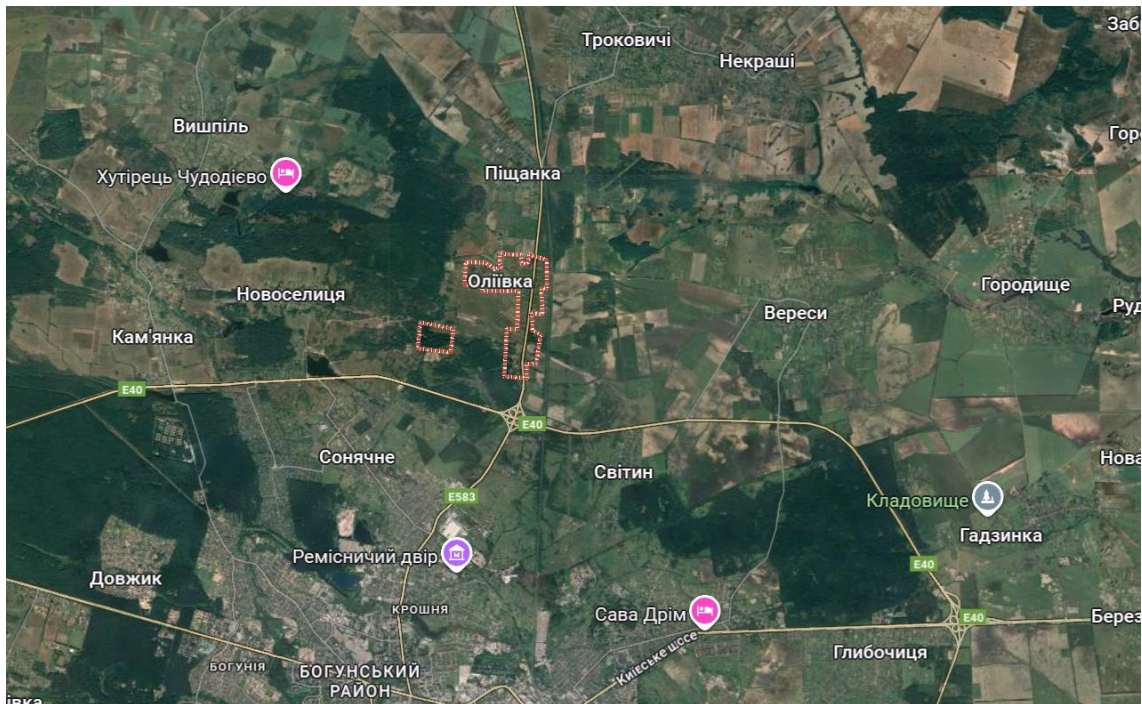


Рисунок 2.1 – Географічне розташування с. Оліївка

У геоморфологічному відношенні район розташування підприємства знаходиться в межах хвилясто-рівнинних та слабогорбистих форм рельєфу, притаманних центральній частині області, із закономірним зниженням абсолютних відміток у північному напрямку. Для Житомирщини загалом характерне поєднання поліських низовинних ландшафтів із моренно-зандровими рівнинами, а на півдні та в центральних районах — прояви височинних рис, що зумовлює строкатість ґрунтового покриву й різну водопроникність підстилаючих порід [49]. Ця обставина має безпосередній прикладний сенс для екологічного обґрунтування управління відходами: там, де переважають легкі за гранулометричним складом піщані та супіщані відклади, зростає ризик вертикальної міграції розчинених форм азоту й калію, а на ділянках із важчими суглинками або зниженими елементами рельєфу — посилюються умови поверхневого змиву та тимчасового перезволоження, що впливає на формування стоку з агроландшафтів у напрямку малих водотоків [51, 52].

Кліматичні умови району розміщення підприємства є помірно континентальними з теплим відносно вологим літом і м'якою, часто хмарною зимою, що загалом відповідає характеристикам вологої помірно теплої агрокліматичної зони. За багаторічними узагальненнями для області середня температура найхолоднішого місяця (січня) становить близько  $-5,7$  °С, а найтеплішого (липня) — близько  $+18,9$  °С; абсолютні мінімуми можуть досягати  $-35\dots-40$  °С, а абсолютні максимуми —  $+35\dots+40$  °С [48]. Річна кількість атмосферних опадів у межах області коливається орієнтовно в інтервалі 570–600 мм із літнім максимумом, що є суттєвим чинником формування водного режиму ґрунтів, умов вирощування культур та інтенсивності поверхневого стоку під час злив [48]. Для агровиробничих систем такі характеристики означають, що впродовж вегетаційного періоду існує одночасно два типи природних обмежень: у першій половині літа — ризики інтенсивних опадів і ерозійного змиву (особливо на розораних схилах і за відсутності ґрунтозахисних технологій), а в другій — ймовірність

локальних посух та хвиль спеки, що посилюють мінералізацію органічної речовини і можуть провокувати дефіцит вологи в орному шарі [48, 53].

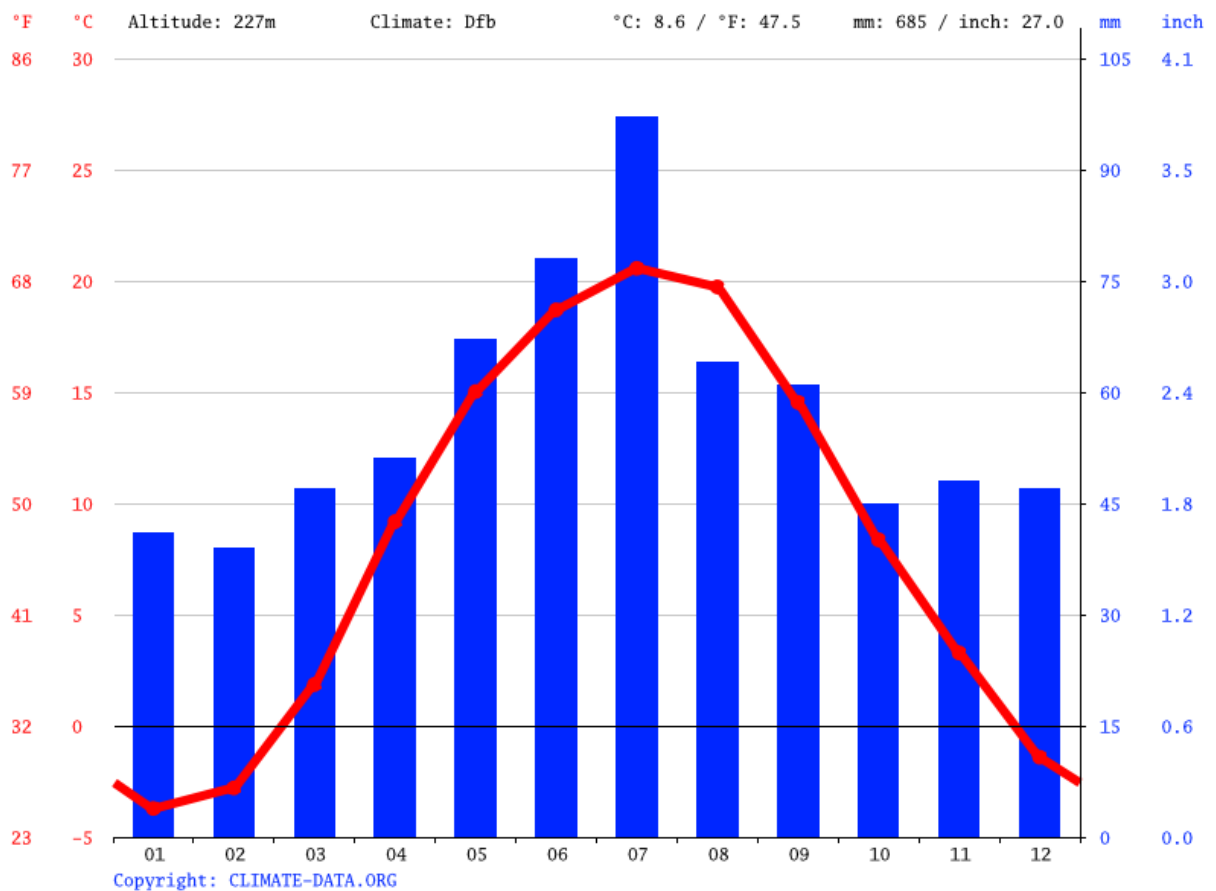


Рисунок 2.2 – Середньорічні показники температури та опадів по м. Житомир

У контексті поводження з органічними відходами це важливо з двох причин: по-перше, сезонність опадів визначає «критичні вікна», коли внесення органіки або зберігання гною/компостної сировини без належного інженерного облаштування підвищує ризик виносу поживних речовин у водні об'єкти; по-друге, температурні режими та тривалість періоду з температурами понад +10 °C визначають швидкість біологічної трансформації органічної маси (компостування, мінералізація, нітрифікація) і, відповідно, вимоги до технологічних параметрів перероблення відходів [30, 48].

Ґрунтовий покрив території розміщення підприємства формується в умовах перехідної смуги між поліськими та лісостеповими ландшафтами, що

зумовлює поєднання дерново-підзолистих і сірих лісових ґрунтів, а також наявність лучних, лучно-болотних і торфово-болотних різновидів у заплавах і пониженнях. Для Житомирщини як регіону, де значні площі віднесено до Полісся, типовими є дерново-підзолисті ґрунти різного механічного складу (піщані, супіщані, глинисто-піщані), часто з оглеєнням, що відображає надлишкове або нестійке зволоження та промивний тип водного режиму [49].

У лісостеповій частині області та на «лесових островах» поширюються сірі лісові й темно-сірі опідзолені ґрунти, а також опідзолені чорноземи, які загалом мають кращі агропромислові властивості, проте теж потребують підтримання гумусного стану [49]. На рівні агроекологічної оцінки принципово важливо, що дерново-підзолисті та частина сірих лісових ґрунтів характеризуються відносно низьким вмістом гумусу і підвищеною кислотністю, а легкий гранулометричний склад (особливо на піщаних і супіщаних відкладах) посилює ризик вимивання нітратів у ґрунтові води за надлишкового внесення азоту [48, 49]. Водночас саме дефіцит органічної речовини робить органічні добрива й компост ключовим ресурсом для відновлення родючості, підвищення вологомісткості та стабілізації структурного стану орного шару, що узгоджується з логікою циркулярного використання відходів у межах господарства [32, 33].



Рисунок 2.3 – Ґрунти Житомирської області



#### Дерново-підзолисті ґрунти

Дерново-підзолисті ґрунти на давньоалювіальних та воднольодовикових відкладах, морені та лесовидних породах

■ Дерново-прихованопідзолисті піщані та глинисто-піщані ґрунти (борові піски)

■ Дерново-слабо-і середньопідзолисті піщані та глинисто-піщані ґрунти

■ Дерново-середньо-і слабопідзолисті супіщані і суглинкові ґрунти

Дерново-підзолисті оглеєні ґрунти на давньоалювіальних та воднольодовикових відкладах, морені та лесовидних породах

■ Дерново-слабопідзолисті глейові піщані та глинисто-піщані ґрунти

■ Дерново-середньо- і сильнопідзолисті глейові супіщані та суглинкові ґрунти

■ Дерново-середньо-і сильнопідзолисті поверхнево-оглеєні переважно суглинкові ґрунти

Рисунок 2.3 – Ґрунти Житомирської області

Гідрологічні умови району розташування підприємства визначаються належністю території до басейну річки Тетерів — однієї з найбільших водних артерій Житомирщини в системі Середнього Дніпра. За довідковими узагальненнями, Тетерів має довжину порядку 365–385 км, а площа басейну оцінюється приблизно у 15,1–15,3 тис. км<sup>2</sup>; розбіжності у числових значеннях пов'язані з різними підходами до підрахунку протяжності та водозбору в окремих джерелах [50, 51]. Басейн охоплює значну частину Житомирської області й має розгалужену мережу приток, які разом формують високу «щільність гідромережі» та, відповідно, чутливість території до дифузного забруднення з сільськогосподарських угідь [51, 52]. З позицій екологічного менеджменту аграрного підприємства ця характеристика є визначальною: органічні стоки та поживні речовини (передусім азот і фосфор), що

потрапляють із гною, гноївки або змивом із компостних майданчиків, здатні спричиняти евтрофікаційні процеси у малих водотоках і далі — в основному руслі, погіршуючи екологічний стан водних масивів і підвищуючи витрати на водопідготовку для господарсько-питних потреб [51, 52]. Для Тетерева та водотоків Житомирського Полісся в наукових дослідженнях підкреслюється значення сезонних коливань стоку, а також зростання ролі антропогенних чинників у формуванні гідрохімічного режиму (мінералізація, сполуки азоту, органічні речовини), що загалом узгоджується з сучасною логікою планів управління річковими басейнами, де дифузне сільськогосподарське навантаження розглядається як один із пріоритетних тисків на водні об'єкти [51, 52].

Окремого розгляду потребують умови ґрунтових вод і водно-фізичні властивості ґрунтів, адже саме вони визначають «маршрути» перенесення забруднювачів із майданчиків зберігання органіки в навколишнє середовище. Для значної частини поліських і перехідних територій області характерне відносно неглибоке залягання ґрунтових вод у пониженнях і заплавах, наявність оглеєних горизонтів та періодичне перезволоження, що сприяє як поверхневому стоку під час опадів, так і розвитку відновних умов у ґрунтовому профілі [48, 49]. У практичному вимірі це означає, що для аграрного підприємства в районі розташування с. Оліївка екологічно безпечне поводження з гноєм, компостною сировиною та іншими органічними відходами має спиратися на інженерну ізоляцію місць накопичення, організацію водовідведення та запобігання інфільтрації фільтрату, особливо в періоди інтенсивних опадів або танення снігу [52]. Водночас потенціал території не можна зводити лише до «обмежень»: достатнє зволоження, тривалість теплового періоду та наявність ґрунтів, що реагують на органічне удобрення приростом гумусу й покращенням структури, створюють реальні передумови для ефективної біологічної конверсії відходів (компостування) та повернення продукту перероблення в агроєкосистему як елемента відновлювального землеробства [32, 33, 48].

Біотичні та ландшафтні особливості району розміщення підприємства також мають значення для екологічної оцінки. Для Житомирської області загалом типовими є значні площі лісових масивів із домінуванням сосни, дуба, берези та вільхи, а також мозаїка агроландшафтів, лісів і водно-болотних угідь, що формує природні «буфери» для затримання частини стоку й речовинного винесення, але водночас потребує більшої обережності під час розміщення потенційно небезпечних об'єктів (місця складування відходів, компостні майданчики, гноєсховища) поблизу природних екосистем [49, 52]. У таких умовах будь-які порушення технологічної дисципліни поводження з органікою можуть мати непропорційно високий екологічний «резонанс»: запахові навантаження й біоаерозолі впливають на якість життя населення, а водно-хімічні наслідки (вимивання нітратів, фосфатів, підвищення БСК/ХСК у поверхневих водах) здатні проявлятися не тільки локально, а й у межах усього суббасейну [51, 52]. Саме тому сучасні підходи до управління водними ресурсами через плани управління річковими басейнами фактично задають рамку екологічної відповідальності для аграрних підприємств: зменшення дифузного навантаження, належні практики зберігання й внесення органічних добрив, моніторинг якості вод і ґрунтів, а також облік «критичних періодів» клімату [52].

### 2.3. Аналіз виробничої діяльності: структура посівів і поголів'я ВРХ

Виробнича діяльність ТОВ «АП «Придніпровське» має змішаний характер і поєднує товарне рослинництво із тваринництвом (ВРХ), що формує типову для аграрних підприємств Полісся–Лісостепу модель матеріальних потоків «поле → продукція → побічна біомаса → органічні добрива → поле». Така організація виробництва є принципово важливою для подальшого обґрунтування системи управління відходами: саме структура посівів

визначає обсяг рослинних решток і потребу в елементах живлення, тоді як тваринницький напрямок є джерелом органічних відходів і одночасно – «ядром» їх перетворення на ресурс (гній/компост) за умови належного технологічного супроводу [32, 33, 54]. (

У межах земельного банку 1500 га сформована спеціалізація рослинництва із домінуванням кукурудзи на зерно, що узгоджується з агрокліматичними передумовами центральної частини Житомирщини та можливістю забезпечення тваринництва концентрованими кормами і побічною біомасою [54]. Частка кукурудзи в структурі посівних площ становить 600 га (40,0%), що робить її системоутворювальною культурою технологічного циклу підприємства; озима пшениця займає 500 га (33,3%) як базова зернова культура, а соя (або суміжний білковий компонент у межах цієї групи культур) – 400 га (26,7%), що забезпечує технологічну та економічну диверсифікацію, покращує азотний режим ґрунтів і стабілізує сівозміну [27, 33, 54].

Зазначена структура посівів формує виражену сезонність польових робіт і відповідно – сезонність утворення відходів та побічної продукції. Для озимої пшениці ключовими технологічними «вузлами» є осіння сівба та ранньолітнє збирання, після якого утворюються значні обсяги соломи як побічної продукції. Для кукурудзи домінує весняний посів і пізньоосіннє збирання, після якого залишається найбільший за масою обсяг стеблових решток. Для сої характерне відносно «м'яке» навантаження на ґрунт і формування пожнивних решток із підвищеною часткою азотовмісних сполук, що має значення для компостування та балансу C:N у сумішах [54, 56]. (

Середні показники врожайності відповідають типовому рівню для району у 2025 році: для кукурудзи – 8,5 т/га, для озимої пшениці – 5,2 т/га, для сої – 2,8 т/га [54]. У результаті валовий збір основної продукції за рік становить 5 100 т зерна кукурудзи, 2 600 т зерна пшениці та 1 120 т зерна сої, тобто загалом 8 820 т товарної продукції рослинництва [54].

Паралельно з товарною продукцією підприємство щороку формує значний обсяг побічної біомаси (рослинних решток), яка в системі управління відходами розглядається як ресурс із високим потенціалом повернення у виробництво. За методикою співвідношення основної та побічної продукції, прийнятою в розрахунках, коефіцієнт виходу побічної біомаси становить 1,3 для кукурудзи, 1,0 для пшениці та 1,5 для сої [54]. Це означає, що за рік на підприємстві утворюється близько 6630 т кукурудзяних решток (стебла, листя, стрижні), 2600 т соломи пшениці та 1680 т соєвих пожнивних решток, разом – 10 910 т рослинної біомаси, що є потенційною сировиною для компостування, мульчування, часткового повернення в ґрунт як джерела органічного вуглецю або використання в тваринництві як підстилка [54, 56].

Таблиця 2.3 – Структура посівних площ та основні показники виробництва рослинницької продукції ТОВ «АП «Придніпровське»

Культура	Площа, га	Частка площі, %	Середня врожайність, т/га	Валовий збір основної продукції, т	Коефіцієнт побічної продукції	Обсяг рослинних решток, т
Кукурудза на зерно	600	40,0	8,5	5 100	1,3	6 630
Пшениця озима	500	33,3	5,2	2 600	1,0	2 600
Соя	400	26,7	2,8	1 120	1,5	1 680
Разом	1 500	100,0	—	8 820	—	10 910

У технологічній логіці підприємства кукурудза виконує подвійну роль. По-перше, це найбільш капіталомістка й водночас найбільш «масова» культура, що формує головний фінансовий потік рослинництва. По-друге, вона створює значну масу стеблової біомаси, яка, за відсутності організованого повернення в ґрунт або перероблення, часто стає джерелом локальних екологічних проблем (пожежна небезпека, неконтрольоване спалювання, накопичення на краях полів). У разі раціонального менеджменту ця біомаса перетворюється на ключовий структуроутворювальний компонент компостних сумішей, що підвищує співвідношення С:N і стабілізує процес аеробного розкладання органіки [54, 56].

Озима пшениця в структурі посівів забезпечує ранній збір зерна й стабільний ринок збуту, але екологічно значущим є насамперед поводження із соломою. У виробничих системах із ВРХ солома є базовою підстилковою сировиною, а її частка, що не використана як підстилка, може бути спрямована на компостування або подрібнення й заробку в ґрунт. При цьому необхідно враховувати, що солома характеризується високим вмістом вуглецю і низьким вмістом азоту, тому її включення у компостні суміші разом із гноєм є технологічно обґрунтованим способом уникнення надлишкових аміачних втрат і запахових навантажень [54, 56].

Соя, як компонент структури посівів, виконує роль білкової культури і елемента біологізації землеробства. Вона пов'язана з азотфіксацією і формуванням поживних решток, що, з одного боку, є цінним ресурсом органічної речовини, а з іншого – потребує коректного технологічного підходу через інтенсивну мінералізацію і потенціал вимивання нітратів у разі порушення строків і норм внесення додаткових азотних ресурсів [33, 52]. Для підприємства змішаний напрямок виробництва дозволяє частково «замикати» азот у системі: азот, винесений із поля зерном і кормами, частково повертається через органічні добрива тваринницького походження після компостування або зберігання [32, 52].

Тваринницький блок підприємства представлений фермою ВРХ на 200 голів м'ясного напрямку [54]. На відміну від молочного виробництва, де визначальною є інтенсивність годівлі та водоспоживання для лактації, м'ясний напрямок має інший профіль впливу: нижча потреба в частотних доїннях і відповідному технологічному обладнанні, але стабільне (цілорічне) утворення значної маси гною та гнойових стоків, що формує «ядро» екологічного ризику й одночасно потенціал для виробництва органічних добрив [54, 55]. У прийнятих виробничих умовах використовується безприв'язне утримання, що зумовлює безперервне накопичення екскрементів протягом року [54]. Нормативна база технологічного проектування систем гноєвидалення в Україні прямо підкреслює залежність виходу гною від типу утримання, віку

тварин, раціону та підстилкового режиму, а також необхідність врахування дощових і талих вод на відкритих майданчиках [55]. (

За прийнятими виробничими параметрами одна голова дорослої худоби продукує в середньому 45 кг екскрементів на добу, а річний вихід гною при поголів'ї 200 голів становить 3 285 т/рік [54]. Для екологічної характеристики цей показник є ключовим, оскільки саме він визначає мінімально необхідні потужності інфраструктури зберігання й перероблення, потребу в площах для компостування та потенціал утворення викидів аміаку і парникових газів у разі неналежного поводження [14, 54, 55]. Відкритий спосіб зберігання органіки (без твердого водонепроникного покриття та організованого водовідведення) об'єктивно посилює втрати азоту у формі аміаку, сприяє вимиванню розчинних сполук у ґрунт і підземні води та підвищує ризик поверхневого змиву в напрямку елементів гідромережі басейну Тетерева в періоди інтенсивних опадів або сніготанення [52, 55]. (

Таблиця 2.4 – Ключові параметри тваринницького виробництва та органічних потоків у ТОВ «АП «Придніпровське»

Показник	Значення
Поголів'я ВРХ, голів	200
Середній добовий вихід екскрементів, т/гол/добу	0,045
Річний вихід гною, т/рік	3285
Орієнтовна маса компостної сировини (гній + структурний матеріал), т/рік	6300
Вихід готового компосту, т/рік	3780

Органічні потоки підприємства формуються не лише кількісно, а й якісно – через співвідношення вуглецю і азоту в сировині. Гній ВРХ є азотонасиченим субстратом із відносно низьким співвідношенням С:N, тоді як солома та стеблова біомаса мають високий вміст вуглецю. У технології підприємства органічні потоки поєднуються шляхом змішування гною з соломою/стеблами у пропорції, що забезпечує оптимальний перебіг аеробного компостування і стабілізацію органічної маси [54, 56]. Такий підхід є екологічно доцільним, оскільки компостування знижує санітарно-біологічні ризики (патогенна мікрофлора, насіння бур'янів), зменшує запахове

навантаження порівняно зі свіжим гноєм і перетворює відходи у стандартизований продукт, придатний для внесення на поля з контрольованою нормою [56]. (

Окремий аспект аналізу виробничої діяльності – формування супутніх потоків відходів, які є типовими для сучасного агровиробництва і в сукупності визначають екологічний профіль підприємства. До таких потоків належать відходи тари і пакування від засобів захисту рослин та мінеральних добрив, полімерні матеріали (мішки, плівка), відпрацьовані мастила та фільтри від сільськогосподарської техніки, зношені шини й акумулятори, металобрухт від ремонтних робіт, а також тверді побутові відходи, що утворюються в адміністративно-побутовому секторі. Хоча їхня маса зазвичай суттєво менша за масу органічних потоків, саме ці відходи часто визначають відповідність підприємства регуляторним вимогам у сфері поводження з небезпечними відходами та простежуваності передачі на ліцензовану утилізацію [12, 13, 33]. В умовах інтенсифікації виробництва збільшується частота застосування агрохімікатів і технічного обслуговування машинно-тракторного парку, що зумовлює необхідність формалізованих процедур обліку таких відходів і організації місць тимчасового зберігання з протифільтраційним захистом [33, 52].

## РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ОБСЯГІВ УТВОРЕННЯ ТА ВПЛИВУ ВІДХОДІВ НА ДОВКІЛЛЯ

### 3.1. Розрахунок потенціалу рослинних залишків

Виробнича структура ТОВ «АП «Придніпровське» з домінуванням зернових і зернобобових культур зумовлює формування значних потоків органічних відходів рослинництва, які у сучасній парадигмі ресурсоефективного агровиробництва розглядаються як вторинна сировина та ключовий чинник відновлення родючості ґрунтів. Рослинні залишки є основною масовою складовою аграрних відходів, а їх технологічно обґрунтоване вилучення, перероблення або повернення на поля безпосередньо впливає на баланс органічного вуглецю, гумусний стан, структурність орного шару, водопроникність, ризики ерозії та масштаби дифузного забруднення водних об'єктів сполуками азоту й фосфору [54, 57]. З огляду на природно-кліматичні умови Житомирського району з вираженою сезонністю опадів і потенціалом поверхневого стоку, питання керуваності органічних потоків рослинного походження набуває додаткової екологічної ваги, оскільки саме у періоди післязбирального оголення ґрунту та за наявності значних мас поживних решток формуються передумови для винесення з агроландшафту твердих часток і розчинних форм поживних речовин [54].

Для кількісної оцінки потенціалу рослинних залишків використано методику коефіцієнтів співвідношення основної та побічної продукції, що є загально визнаним підходом у розрахунках утворення сільськогосподарських біоресурсів і відповідає міжнародним рекомендаціям щодо інвентаризації

біомаси [57]. Розрахунок ґрунтується на визначенні валового збору основної продукції (зерна) для кожної культури та множенні цього показника на коефіцієнт виходу побічної біомаси (рослинних відходів). Загальна формула розрахунку має вигляд:

$$M_{pz} = S \times Y \times k, \quad (3.1)$$

де  $M_{pz}$  – маса рослинних залишків, т/рік;  $S$  – площа посіву, га;  $Y$  – середня врожайність основної продукції, т/га;  $k$  – коефіцієнт виходу побічної продукції (відходів), частка [54, 57].

Вихідні виробничі дані підприємства включають посівні площі 1500 га зі структурою: кукурудза на зерно – 600 га, пшениця озима – 500 га, соя – 400 га; середні показники врожайності для Житомирського району за 2024 рік: 8,5 т/га для кукурудзи, 5,2 т/га для пшениці, 2,8 т/га для сої [54]. Застосовані коефіцієнти виходу побічної біомаси становлять 1,3 для кукурудзи, 1,0 для пшениці та 1,5 для сої [54]. Результати розрахунків зведено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Річний потенціал утворення рослинних залишків у ТОВ «АП «Придніпровське»

Культура	Площа, га	Врожайність, т/га	Валовий збір зерна, т	Коефіцієнт виходу відходів	Обсяг рослинних залишків, т/рік
Кукурудза на зерно	600	8,5	5 100	1,3	6 630
Пшениця озима	500	5,2	2 600	1,0	2 600
Соя	400	2,8	1 120	1,5	1 680
Разом	1 500	—	8 820	—	10 910

Таким чином, загальний потенціал рослинних залишків у межах одного виробничого року становить 10910 т, що є надзвичайно значним ресурсом органічної речовини для ґрунтового покриття та одночасно – джерелом екологічних ризиків у разі неконтрольованого поводження [54]. Структурно домінують стеблові рештки кукурудзи (6630 т), які формують понад 60% від загального обсягу побічної біомаси. З екологічної точки зору ця група залишків є найбільш проблемною, оскільки кукурудзяні рештки мають

підвищений вміст лігніну та інших важкорозкладних компонентів, що істотно уповільнює мінералізацію і змінює динаміку вивільнення поживних речовин у ґрунті; біохімічні властивості рослинних решток, зокрема частка лігніну, є одним із ключових детермінантів темпів їх розкладання і впливу на кругообіг вуглецю та азоту [54, 61]. У виробничих умовах підприємства кукурудзяні рештки повільно розкладаються і можуть створювати технологічні перешкоди для сівби наступних культур, що підвищує значущість пошуку керованих способів їх перероблення (подрібнення, компостування, організоване повернення в ґрунт) [54].

Другу за масою групу становить солома озимої пшениці (2600 т), яка, на відміну від стеблових решток кукурудзи, має високий потенціал використання як підстилковий матеріал у тваринництві або як структурний компонент для аеробного компостування, що забезпечує оптимізацію фізичних властивостей компостної суміші і зменшення втрат азоту в процесі перероблення гною [54, 56]. На підприємстві солома частково використовується на підстилку худобі у кількості близько 300 т на рік, що формує змішаний органічний потік «гній + підстилка», який є технологічно більш придатним до компостування порівняно з безпідстилковими гнойовими масами [54, 55]. Поживні рештки сої (1680 т) у загальному балансі мають значення як джерело органічного матеріалу з відносно іншим біохімічним профілем, який впливає на мікробіологічні процеси в ґрунті та може змінювати інтенсивність мінералізації й тимчасову іммобілізацію азоту залежно від умов зволоження та температури [61].

Оцінюючи потенціал рослинних залишків, доцільно розглядати його у двох взаємопов'язаних площинах: як ресурс (матеріальний потенціал для повернення органічної речовини й поживних елементів у агроєкосистему) та як джерело впливів (ризик забруднення, деградації ґрунтів і атмосферного навантаження). Ресурсна функція рослинних решток проявляється передусім через їх участь у формуванні ґрунтової органічної речовини та гумусу. Повернення біомаси на поле підвищує вміст органічного вуглецю, сприяє

стабілізації агрегатної структури, покращує інфільтраційні властивості й водоутримувальну здатність, що особливо важливо для ґрунтів із тенденцією до дегуміфікації та ущільнення [54]. Водночас екологічні ризики зростають у разі накопичення значних мас пожнивних решток на поверхні без належного агротехнічного супроводу або при їх видаленні шляхом термічного знищення. Міжнародні методичні документи з інвентаризації викидів розглядають спалювання рослинних залишків як джерело утворення  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  та  $\text{NO}_x$ , причому розрахунок викидів базується на оцінці маси сухої речовини, вуглецевої частки та коефіцієнтів емісії/співвідношень, наведених у довідкових таблицях [57]. Для підприємства з потенціалом рослинних залишків понад 10,9 тис. т/рік обґрунтування технологій запобігання неконтрольованому спалюванню та перетворення біомаси на корисний продукт є одним із ключових напрямів мінімізації негативного впливу [54, 56].

Потенціал рослинних залишків як сировини для компостування має особливе прикладне значення саме в умовах наявності тваринницького напрямку. На підприємстві сформовані два зустрічні потоки органічної сировини: вуглецевмісні матеріали (солома, стебла, пожнивні рештки) та азотовмісна фракція (гній ВРХ). За наявності таких потоків аеробне компостування виступає технологією, що забезпечує керований біологічний розклад, зниження санітарно-біологічних ризиків, стабілізацію органічної речовини та отримання стандартизованого ґрунтополіпшувача [56]. Для ефективного перебігу процесу компостування критичним параметром є співвідношення C:N, що на практиці досягається саме завдяки додаванню структурного вуглецевого матеріалу (соломи/стебел) до гною [54, 56]. Таким чином, розрахований потенціал рослинних залишків слугує базою для подальших техніко-екологічних рішень, пов'язаних із вибором рецептури компостної суміші, визначенням потреб у площах для буртування та оптимізації логістики внутрішньогосподарських переміщень органічної сировини [54].

У підсумку, рослинні залишки в ТОВ «АП «Придніпровське» формуються в обсязі 10 910 т/рік і є визначальним масовим компонентом відходів агровиробництва. Їх найбільша частка припадає на кукурудзяні рештки, що характеризуються уповільненим розкладом через біохімічні властивості, зокрема вміст лігніну, і потребують керованого технологічного рішення для запобігання екологічно небажаним практикам поводження [54, 61]. Потенціал соломи пшениці та решток сої посилює можливості замикання органічного циклу на підприємстві, насамперед через використання як підстилки та структурного компонента компостування [54, 56].

### 3.2. Розрахунок обсягів відходів тваринництва

Тваринницький напрямок ТОВ «АП «Придніпровське» представлений фермою великої рогатої худоби м'ясного напрямку на 200 голів, що формує стабільний протягом року потік органічних відходів у вигляді гною та супутніх гнойових стоків [54]. У системі управління відходами аграрного підприємства відходи тваринництва мають подвійний статус: з одного боку, вони є потенційно небезпечним для довкілля джерелом мікробіологічного забруднення, біогенних елементів і газових викидів; з іншого боку, це цінний ресурс органічної речовини й поживних елементів для ґрунту за умови належного зберігання, перероблення та внесення [58, 60]. Саме тому кількісна оцінка обсягів утворення гною та пов'язаних із ним потоків є необхідною передумовою екологічного обґрунтування технологій компостування, визначення потреб у сховищах, розрахунку ризиків втрат азоту та прогнозування впливу на атмосферне повітря і водні ресурси [55, 58].

Для розрахунку річного виходу гною використано нормативний підхід, що відповідає вимогам технологічного проектування систем гноєвидалення та враховує добовий вихід екскрементів на одну голову худоби й тривалість

періоду утримання [54, 55]. Згідно з застосованими виробничими параметрами, одна голова дорослої ВРХ продукує в середньому 45 кг екскрементів на добу, а утримання має цілорічний характер (365 днів) [54, 55]. Розрахунок здійснено за формулою:

$$M_{\text{ГН}}=N \times m \times D, \quad (3.2)$$

де  $M_{\text{ГН}}$  – річний вихід гною, т/рік;

$N$  – кількість голів, од.;

$m$  – добовий вихід гною, т/добу·гол;

$D$  – тривалість періоду утримання, діб [54, 55].

Підставивши значення  $N=200$ ,  $m=0,045$  т та  $D=365$ , отримано:

$$M_{\text{ГН}}=200 \times 0,045 \times 365=3\,285 \text{ т/рік.}$$

Отже, тваринницький підрозділ підприємства щороку формує 3285 т гною, що визначає масштаб екологічного навантаження та мінімально необхідні параметри інфраструктури зберігання і перероблення [54, 55]. З екологічної точки зору свіжий гній ВРХ характеризується наявністю патогенної мікрофлори, яєць гельмінтів і насіння бур'янів, а також значною часткою азоту у формах, здатних до втрат у процесі зберігання (газові втрати аміаку та утворення летких сполук азоту) [54, 58]. Міжнародні керівництва з оцінювання викидів у секторі тваринництва та управління гноєм підкреслюють, що процеси зберігання і поводження з гноєм супроводжуються емісією  $\text{NH}_3$  та утворенням парникових газів  $\text{CH}_4$  і  $\text{N}_2\text{O}$ , причому інтенсивність цих процесів визначається типом системи утримання, способом зберігання, вологістю, температурою та тривалістю накопичення [58, 60].

Особливим компонентом екологічної оцінки є втрати азоту під час зберігання. Для умов відкритого зберігання у купах характерні значні втрати азоту внаслідок аміачної волатилізації; у виробничій практиці підприємства втрати азоту під час відкритого зберігання досягають 30–40%, що одночасно означає втрату агрономічної цінності органічного добрива та формування атмосферного навантаження аміаком [54]. У методологіях ІРСС також акцентується, що азот гною може втрачатися у формах  $\text{NH}_3$  та  $\text{NO}_x$  під час

управління гноєм на майданчиках і в сховищах, а ці втрати мають значення як для непрямих викидів  $N_2O$ , так і для регіонального забруднення внаслідок атмосферного перенесення та депозиції азоту [58]. Європейські керівництва з інвентаризації викидів у сільському господарстві додатково систематизують емісійні процеси для різних типів сховищ і підкреслюють роль відкритих майданчиків та гнойових куп як джерела  $NH_3$  у загальній структурі аграрних викидів [60].

Для поглиблення екологічної інтерпретації річного виходу гною доцільно оцінити його поживний потенціал як вторинного ресурсу. Орієнтовний вміст макроелементів у тваринницьких відходах залежить від виду тварини, типу гною та режиму утримання; для гною ВРХ м'ясного напрямку прийняті усереднені значення становлять близько 6,3 кг N/т, 4,0 кг  $P_2O_5$ /т і 5,0 кг  $K_2O$ /т у перерахунку на свіжу масу [59]. За таких показників річний потік поживних речовин у складі 3 285 т гною становить близько 20,7 т загального азоту, 13,1 т фосфатів ( $P_2O_5$ ) та 16,4 т калію ( $K_2O$ ), що характеризує високий агрохімічний потенціал органічної сировини та водночас пояснює екологічні ризики при її неконтрольованому накопиченні [59]. Поєднання цих даних із втратами азоту 30–40% під час відкритого зберігання означає, що в атмосферу у формі летких сполук може переходити 6,2–8,3 т азоту на рік, формуючи одночасно економічні втрати підприємства та потенціал вторинного забруднення через депозицію реактивного азоту [54, 58, 60].

Таблиця 3.2 – Обсяги утворення відходів тваринництва та поживний потенціал гною ВРХ у ТОВ «АП «Придніпровське»

Показник	Значення
Поголів'я ВРХ, голів	200
Добовий вихід екскрементів, т/гол·добу	0,045
Річний вихід гною, т/рік	3 285
Вміст N, кг/т	6,3
Вміст $P_2O_5$ , кг/т	4,0
Вміст $K_2O$ , кг/т	5,0
Річний потік N у гної, т/рік	20,7

Річний потік $P_2O_5$ у гної, т/рік	13,1
Річний потік $K_2O$ у гної, т/рік	16,4
Втрати N при відкритому зберіганні (30–40%), т/рік	6,2–8,3

Екологічний вплив відходів тваринництва проявляється через кілька ключових каналів, які формують як локальні, так і територіально розосереджені наслідки. Першим каналом є вплив на атмосферне повітря, що пов'язаний із емісією аміаку та парникових газів. Аміак, що виділяється під час зберігання і первинного розкладання гною, є не лише чинником запахового дискомфорту, але й прекурсором утворення вторинних аерозолів, які погіршують якість повітря, а також джерелом реактивного азоту, який після депозиції може сприяти евтрофікації природних екосистем і зміні видового складу рослинності [58, 60]. Парникові гази з відходів тваринництва формуються переважно внаслідок анаеробних процесів ( $CH_4$ ) та перетворень азоту ( $N_2O$ ) у залежності від умов зберігання, вологісного режиму та доступності кисню; методологія IPCC розглядає ці процеси як складову сектору «Livestock and Manure Management» і формалізує їх розрахунок через облік азоту, типів систем управління та емісійних факторів [58].

Другим каналом є вплив на водні ресурси, який проявляється через ризики поверхневого змиву та інфільтрації розчинних форм азоту й органічних речовин із майданчиків накопичення гною, особливо за умов відсутності протифільтраційного екранування та організованого водовідведення [55]. Для району діяльності підприємства, що належить до басейну Тетерева, ці ризики мають практичне значення в періоди інтенсивних опадів і сніготанення, коли гнойові фільтрати можуть потрапляти в ґрунтовий профіль і далі – у поверхневі водотоки. Третім каналом виступає вплив на ґрунти, де некероване внесення гною або його тривале накопичення на одному майданчику здатне призводити до локального надлишку фосфору, засолення, порушення співвідношення поживних елементів і накопичення патогенів, тоді як кероване внесення переробленого гною (компосту) забезпечує стабільніше

повернення органічної речовини, покращення структури ґрунту й підвищення агрофізичних властивостей [56, 59].

Важливо, що тваринницькі відходи на підприємстві не існують як ізольований потік: вони інтегруються з рослинними залишками через підстилковий матеріал та потенційне компостування. Наявність близько 10,9 тис. т рослинних залишків на рік створює достатню базу структурного матеріалу для організації перероблення 3285 т гною із досягненням технологічно обґрунтованих співвідношень органічних компонентів у суміші [54, 56]. Для підприємства сформовано технологічний підхід, за яким змішування гною з соломою/стеблами у близьких масових частках дозволяє отримати близько 6300 т компостної сировини на рік і близько 3780 т готового компосту, що є кількісним вираженням потенціалу перетворення відходів у продукт [54].

## РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОМПОСТУВАННЯ

### 4.1. Вибір технології утилізації

Вибір технології утилізації органічних відходів у ТОВ «АП «Придніпровське» здійснюється з урахуванням виробничої спеціалізації підприємства, структури утворення відходів, природно-кліматичних умов району розташування, наявної матеріально-технічної бази та вимог екологічної безпеки. Базовою передумовою є те, що в межах одного виробничого циклу підприємство формує два взаємодоповнювальні за складом потоки органічної сировини: вуглецевмісні матеріали рослинного походження (солома і стеблова біомаса) та азотовмісний потік тваринництва (гній ВРХ) [54].

У сучасній моделі управління аграрними відходами, яка розвивається в руслі принципів циркулярної економіки, пріоритетом є перетворення органічних відходів на корисний продукт із подальшим поверненням поживних речовин і органічного вуглецю в агроєкосистему, що знижує залежність від мінеральних добрив, підвищує стійкість ґрунтів до деградації та зменшує дифузний тиск на водні об'єкти [6; 8; 32; 33]. У практичному вимірі для підприємства це означає, що технологія утилізації має забезпечувати одночасно ресурсний ефект (одержання добрива/ґрунтополіпшувача) і контроль екологічних ризиків (зниження емісій  $\text{NH}_3$  і  $\text{CH}_4$ , попередження інфільтрації та змиву біогенів, санітарну безпеку продукту) [55; 58; 60].

Порівняльний аналіз доступних технологічних рішень для органічних потоків підприємства охоплює декілька класів підходів. Перший підхід — безпосереднє повернення рослинних решток у ґрунт шляхом подрібнення та

заробки в орний шар. Він технологічно можливий і часто застосовується в системах рослинництва, однак у структурі підприємства з високою часткою кукурудзи така схема не завжди забезпечує бажаний екологічний та агрономічний результат, оскільки значна маса кукурудзяних решток із підвищеною часткою структурних полімерів розкладається повільно, що підсилює тимчасову іммобілізацію азоту, ускладнює підготовку посівного ложа та може збільшувати потребу в додаткових технологічних операціях [61]. Одночасно цей підхід не розв'язує ключового питання підприємства — утилізації гною ВРХ, який потребує стабілізації, знезараження і мінімізації втрат азоту при зберіганні [55; 58].

Другий підхід — термічне використання біомаси (виробництво пелет/брикетів із соломи або решток) та енергетична утилізація. Перевага таких рішень полягає у можливості отримання енергії, але вони придатні переважно для сухої сировини зі стабільними параметрами вологості та зольності. Для підприємства, де критичним є потік вологого гною та потреба в утилізації азотовмісної органіки, енергетичний сценарій не є системоутворювальним: гній у нативному стані непридатний для прямого спалювання, а перехід до енергетичних технологій потребує зневоднення, складнішої інфраструктури та окремих рішень щодо золи і викидів [58]. Додатково, практика відкритого спалювання рослинних решток у полі як «спрощений» варіант термічного видалення розглядається в методологіях інвентаризації як джерело значущих атмосферних викидів і втрат органічної речовини [57], тому як технологія управління відходами вона не відповідає екологічним цілям підприємства.

Третій підхід — анаеробне зброджування з отриманням біогазу та дигестату. Така технологія є ефективною для перероблення вологих органічних відходів (зокрема гною та гноївки) і дозволяє отримати енергетичний продукт та стабілізоване добриво, а також скоротити запахові навантаження й патогенну контамінацію порівняно зі свіжим гноєм [58]. Водночас для підприємства масштабу 200 голів ВРХ ключовою

обмежувальною умовою стає потреба у відносно високих капітальних інвестиціях і постійному технологічному контролі процесу (температурні режими, гідравлічний час утримання, стабільність завантаження, потреба в змішуванні субстратів), що істотно підвищує бар'єр впровадження й операційні ризики [58]. Крім того, дигестат залишається азотовмісним продуктом і, попри стабілізацію, потребує чітко нормованого внесення на поля та інфраструктури зберігання, щоб уникнути вимивання нітратів і дифузного забруднення водних об'єктів басейну Тетерева [52; 58]. З огляду на те, що підприємство вже має значний обсяг структурної сухої біомаси (солома/стебла), біологічно доцільним є вибір технології, яка максимально використовує синергію «вуглець + азот» без складних енергетичних контурів.

Четвертий підхід — аеробне компостування, яке передбачає контрольований біологічний розклад суміші органічної сировини за доступу кисню з формуванням стабілізованого продукту, придатного для внесення в ґрунт як компост/ґрунтополіпшувач [56]. У межах підприємства саме аеробне компостування є системно обґрунтованим рішенням, оскільки повністю відповідає наявній конфігурації потоків: гній ВРХ як азотовмісний компонент та солома/стеблові рештки як структурний вуглецевий компонент, що дозволяє сформувати суміш із оптимальним співвідношенням С:N, необхідним для стабільного перебігу процесу [54; 56].

У виробничій схемі підприємства визначальним критерієм вибору технології є здатність забезпечити санітарну безпеку продукту та знизити біологічні ризики. Свіжий гній ВРХ може містити патогенну мікрофлору та насіння бур'янів, а його зберігання у відкритих купах супроводжується емісією аміаку й метану та втратами азоту на рівні до 30–40% [54].

Аеробне компостування у термофільній фазі забезпечує досягнення температурних режимів, за яких відбувається інактивація більшості патогенів і значне зниження життєздатності насіння бур'янів, за умови дотримання технологічних параметрів вологості, аерації та тривалості активної фази [56]. У практичних довідниках і нормативних підходах до зниження патогенів у

компостуванні, зокрема для технології буртів (windrow), використовуються режими, де температура підтримується на рівні 55 °C протягом визначеного періоду із забезпеченням багаторазового перемішування, що гарантує прогрів усієї маси [63; 65].

Екологічний критерій вибору технології для підприємства пов'язаний, передусім, із мінімізацією атмосферних і водних впливів. При відкритому зберіганні гною без організованого контролю вологості та доступу кисню посилюються анаеробні процеси, що збільшує потенціал утворення  $\text{CH}_4$ , а також втрати азоту у формі  $\text{NH}_3$ , які є одночасно економічними втратами та чинником забруднення повітря і непрямих впливів через депозицію реактивного азоту [54; 58; 60]. У разі правильно організованого компостування, де підтримується аеробний режим, забезпечується регулярне перемішування і контроль вологості, домінують процеси окиснювального розкладу органіки, що підвищує керованість газообміну та, в підсумку, зменшує неконтрольовані втрати й ризики утворення фільтрату [56]. В умовах району із зливовим характером опадів у теплий період року це має особливу вагу: компостування на спеціально підготовленому майданчику з ущільненою основою та організованим водовідведенням істотно знижує ризики поверхневого змиву біогенів і органічних речовин у водотоки басейну Дніпра [52; 55].

Технологічні критерії вибору пов'язані із доступністю й простотою впровадження. Буртове компостування (компостування у буртах/валках) належить до технологій з відносно низьким рівнем капіталоємності порівняно з in-vessel системами та біогазовими комплексами, а також добре адаптується до аграрних підприємств, які мають тракторний парк та можливість виконувати операції завантаження, формування буртів і перемішування за допомогою причіпного обладнання [54; 56].

Це суттєво знижує бар'єр впровадження й робить технологію реалістичною для підприємства без суттєвого збільшення операційних витрат на спеціалізований персонал.

Окремий блок критеріїв вибору технології пов'язаний із якістю кінцевого продукту та можливістю його використання на землях підприємства. Компост є стабілізованим органічним матеріалом, який застосовується як ґрунтополіпшувач і джерело поживних речовин; він сприяє підвищенню вмісту органічної речовини, покращенню структури ґрунту та підвищенню водоутримувальної здатності, що є особливо важливим для ґрунтів перехідної полісько-лісостепової смуги, де актуальним викликом є дефіцит гумусу й потреба в біологізації землеробства [48; 49; 56]. При цьому компостування забезпечує більш прогнозований ефект порівняно зі свіжим гноєм: зменшується частка легкорозчинних форм азоту, знижується ризик «пікових» втрат та вимивання, а агрономічна дія стає більш пролонгованою [56]. Для підприємства, що має 1500 га ріллі та генерує 3 285 т гною на рік, саме перетворення гною на компост є рішенням, яке дозволяє поєднати екологічні вимоги з інтересом виробництва, оскільки продукт органічно вбудовується в систему живлення культур і частково заміщує мінеральні добрива [54].

Сукупність наведених критеріїв дозволяє формалізувати вибір технології утилізації у вигляді порівняльної матриці рішень, де буртове компостування демонструє найкращу відповідність умовам підприємства за критеріями сумісності із потоками відходів, екологічної керованості та реалістичності впровадження (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Порівняльна оцінка технологій утилізації органічних відходів для умов ТОВ «АП «Придніпровське»

Технологія	Сумісність із потоками підприємства (гній + солома/стебла)	Екологічна керованість (повітря/вода/санітарія)	Капіталоємність та складність експлуатації	Продукт і його використання
Заробка решток у ґрунт	часткова (лише рослинні рештки)	середня; не вирішує проблеми гною	низька	ефект через ґрунт, без окремого продукту
Енергетичне використання біомаси	часткова (лише суха біомаса)	залежить від технології; гній не охоплює	середня/висока	енергія, зола; потребує окремого менеджменту
Анаеробне зброджування (біогаз)	висока для гною; солома потребує підготовки	висока за умови інфраструктури; потрібне управління дигестатом	висока	біогаз + дигестат
Аеробне компостування в буртах	висока (поєднання гною та соломи/стебел)	висока за умови контролю параметрів і майданчика	помірна; можлива механізація наявною технікою	компост для полів підприємства

У підсумку технологія аеробного компостування в буртах для ТОВ «АП «Придніпровське» є оптимальною, оскільки забезпечує повне охоплення основних масових потоків органічних відходів підприємства, формує керований санітарно-безпечний продукт, інтегрується в агротехнології підприємства як елемент відновлення ґрунтової родючості та реалізується на базі наявного технічного забезпечення при помірній капіталоємності [54; 55; 56].

#### 4.2. Розрахунок матеріального балансу компостування

Матеріальний баланс компостування в ТОВ «АП «Придніпровське» розроблено як інструмент кількісного обґрунтування прийнятої технології утилізації органічних відходів і як підстава для подальших інженерних та економічних розрахунків. Його побудова ґрунтується на принципі збереження

маси з урахуванням неминучих втрат у процесі біологічного розкладання органічної речовини та регульованого видалення вологи з компостної маси. У практиці аеробного компостування маса та об'єм суміші закономірно зменшуються внаслідок «дихання» мікроорганізмів (перетворення частини органічного вуглецю на  $\text{CO}_2$ ), випаровування води та структурної усадки матеріалу; типові величини зниження маси під час компостування становлять близько 40–50% залежно від складу сировини та режимів процесу [66; 69; 71]. Водночас у виробничих умовах підприємства матеріальний баланс сформовано таким чином, щоб забезпечити отримання стабілізованого продукту з прогнозованим виходом, який може бути планово використаний у системі удобрення на власних полях.

Початковою позицією балансу є річні потоки органічної сировини. Тваринницький підрозділ підприємства формує 3285 т гною ВРХ на рік, що є базовим азотовмісним компонентом компостної суміші [54]. Рослинницький блок забезпечує наявність достатнього обсягу структурних матеріалів (солома пшениці, стеблові рештки кукурудзи та інша подрібнена біомаса), з яких для компостування виділяється близько 3000 т на рік, що технологічно необхідно для вирівнювання співвідношення C:N та забезпечення пористості й аерації буртів [54; 56]. Таким чином, загальна маса сировини, що надходить на компостування протягом року, становить близько 6300 т [54]. Вибір саме цього обсягу структурного матеріалу є технологічно обґрунтованим: процес компостування потребує наближення співвідношення вуглецю до азоту до 25–30:1, що досягається завдяки поєднанню гною ВРХ із соломою/стеблами за рецептурою 1:1 за масою з додаванням біодеструктора, яка прийнята для підприємства [54; 56]. Одночасно така рецептура забезпечує формування стабільної структури бурту, яка підтримує доступ кисню та запобігає переходу процесу в анаеробні умови, що критично важливо для зменшення запахового навантаження і керованості процесу [56].

Крім співвідношення C:N, ключовим технологічним параметром матеріального балансу є вологість суміші. Для більшості компостних систем

оптимальна вологість становить 50–60% за масою, що забезпечує високу мікробіологічну активність без дефіциту кисню в порах матеріалу [64; 68]. У виробничій схемі підприємства досягнення цільової вологості забезпечується саме комбінуванням вологого азотовмісного субстрату (гною) з сухішим структурним матеріалом (солома/подрібнені стебла), унаслідок чого суміш набуває як оптимальної вологості, так і необхідної «скелетної» структури для аерації бурту [54; 56]. Дотримання вологості в межах оптимуму безпосередньо впливає на матеріальний баланс, оскільки відхилення в бік надлишку води збільшує ризик утворення фільтрату та втрат розчинних форм азоту, а дефіцит води уповільнює біодеструкцію та знижує температуру процесу [56; 68]. У проєктній схемі підприємства компостування відбувається за умов, коли температура в бурті досягає 60–70 °С, що забезпечує ефект знезараження та інтенсивний перебіг термофільної стадії [54], а отже — і прогнозований перехід маси сировини в стабілізований компостний продукт.

Масовий баланс у межах підприємства формалізується співвідношенням:

$$M_{вх} = M_{гній} + M_{структ} + M_{добавки}, \quad (4.1)$$

де  $M_{вх}$  — загальна маса завантаження на компостування, т/рік;

$M_{гній}$  — маса гною ВРХ, т/рік;

$M_{структ}$  — маса структурного матеріалу (солома/стебла), т/рік;

$M_{добавки}$  — маса біодеструктора та допоміжних компонентів (у масштабі балансу не змінює результуючі показники виходу) [54].

З урахуванням даних підприємства загальна маса входу становить:

$$M_{вх} = 3285 + 3000 = 6300 \text{ т/рік}$$

Вихід готового компосту є результатом перетворення частини органічної речовини на газоподібні продукти (насамперед  $\text{CO}_2$ ) та видалення

надлишкової вологи у вигляді водяної пари. У фахових джерелах підкреслюється, що втрата маси та об'єму при компостуванні є закономірною і може становити близько 40–50% у залежності від складу сировини, інтенсивності аерації й умов сушіння/визрівання [66; 69; 71]. Для ТОВ «АП «Придніпровське» прийнятий фактичний показник виходу становить 60% від початкової маси сировини, що узгоджується з типовими закономірностями масових втрат при компостуванні органічних сумішей на основі гною і соломи [54; 66]. Тоді річний вихід готового продукту визначається:

$$M_{\text{комп}} = M_{\text{вх}} \times \eta, \quad (4.2)$$

де  $M_{\text{комп}}$  — маса готового компосту, т/рік;

$\eta$  — коефіцієнт виходу продукту (частка) [54].

$$M_{\text{комп}} = 6300 \times 0.6 = 3780 \text{ т/рік}$$

Відповідно сумарні втрати маси (випаровування води та втрати органічної речовини у вигляді  $\text{CO}_2$ , а також незначні втрати у вигляді дрібнодисперсних фракцій при перемішуванні) становлять:

$$M_{\text{втрати}} = M_{\text{вх}} - M_{\text{комп}} = 6300 - 3780 = 2520 \text{ т/рік}$$

У матеріальному балансі ці 2 520 т/рік інтерпретуються як технологічно неминучий результат стабілізації органічної маси та доведення компосту до кондицій, придатних для внесення в ґрунт. У джерелах прямо зазначається, що зменшення маси та об'єму компостної купи пов'язане з виділенням тепла,  $\text{CO}_2$  і водяної пари, а також зі структурною перебудовою матеріалу, який із пухкого та об'ємного переходить у дрібнозернистий і щільніший компост [66; 69]. Саме тому масовий вихід 60% для підприємства є не «втратою ресурсу», а показником ступеня стабілізації продукту, який визначає його якість та безпечність.

Для наочності масовий матеріальний баланс підприємства доцільно подати у табличній формі (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Річний масовий матеріальний баланс компостування в ТОВ «АП «Придніпровське»

Показник	Позначення	Значення, т/рік
Вхід гною ВРХ	М <sub>гній</sub>	3 285
Вхід структурного матеріалу (солома/стебла)	М <sub>структ</sub>	3 000
Загальна маса завантаження	М <sub>вх</sub>	6 300
Коефіцієнт виходу готового продукту	$\eta$	0,60
Вихід готового компосту	М <sub>комп</sub>	3 780
Масові втрати (СО <sub>2</sub> + водяна пара + усадка)	М <sub>втрати</sub>	2 520

Окрім річного підсумку, для організації виробничого процесу принципово важливим є покроковий (циклічний) баланс, оскільки компостування в буртах є процесом із тривалістю активної стадії 3–4 місяці, після чого компост переходить у стадію дозрівання [54; 66]. У виробничій схемі підприємства активна фаза компостування триває в межах одного циклу 90–120 діб, що дозволяє виконувати чотири закладки протягом року і підтримувати рівномірне завантаження майданчика без надмірного накопичення сировини [54]. За такого режиму маса однієї закладки становить:

$$M_{\text{закл}} = M_{\text{вх}} \cdot 4 = 6300 \cdot 4 = 1575 \text{ т}$$

Вихід компосту з однієї закладки відповідно становить:  $M_{\text{комп,закл}} = 1575 \cdot 0.6 = 945 \text{ т}$ , а масові втрати на цикл — 630 т. Циклічний баланс є практично значущим з точки зору логістики: він дозволяє планувати подачу структурного матеріалу (соломи/подрібнених стебел) та організувати переміщення гною з місць утворення до майданчика компостування з урахуванням виробничих піків та сезонності польових робіт.

Матеріальний баланс у тоннах має бути узгоджений із об'ємним балансом, оскільки саме об'єм визначає інженерні параметри буртів і площу компостного майданчика. Перехід від маси до об'єму здійснюється через

насипну (об'ємну) щільність компостної маси. У практиці компостування насипна щільність змінюється впродовж циклу: на старті після подрібнення вона є нижчою, а в процесі компостування та усадки зростає. У дослідженнях та інженерних оцінках для вітрового (буртового) компостування фіксуються значення щільності, які збільшуються до приблизно  $650 \text{ кг/м}^3$  упродовж циклу [67], а для розрахунків площі майданчика також застосовуються реперні значення  $400 \text{ кг/м}^3$  як практично зручні для консервативного оцінювання площі [70]. З урахуванням прийнятого для підприємства робочого значення щільності компостної маси  $650 \text{ кг/м}^3$ , об'єм однієї закладки становить:

$$V_{\text{закл}} = M_{\text{закл}} / \rho = 1575 / 0.65 = 2423 \text{ м}^3,$$

де  $\rho$  — насипна щільність,  $\text{т/м}^3$  [67].

Геометрія буртів підбирається так, щоб забезпечити достатній тепловий режим і одночасно підтримувати аерацію. Практичні довідники з буртового компостування вказують на доцільність висоти бурту порядку  $2,5\text{--}3,0$  м при відповідному підборі структурного матеріалу та режимів перемішування [70], що дозволяє формувати термофільну фазу та уникати переохолодження взимку і пересушування влітку. Для умов підприємства застосовуються бурти висотою  $2,5$  м із робочою шириною близько  $4,0$  м, що відповідає можливостям механізованого перемішування та забезпечує необхідний тепловий об'єм у поперечнику [70]. Для оцінювання довжини бурту поперечний переріз доцільно приймати наближеним до трапецієподібного, а його площа у виробничому режимі становить близько  $5,0 \text{ м}^2$ , що є типовим для буртів таких розмірів у технології відкритого компостування [70]. Тоді сумарна довжина буртів, необхідна для розміщення однієї закладки, визначається:

$$L_{\text{закл}} = V_{\text{закл}} / A_{\text{пер}} = 2423 / 5.0 = 485 \text{ м},$$

де  $A_{\text{пер}}$  — площа поперечного перерізу бурту,  $\text{м}^2$  [70].

### 4.3. Економічна цінність продукту

Економічна цінність компосту, отриманого внаслідок аеробного перероблення органічних відходів у ТОВ «АП «Придніпровське», формується як сукупність прямих і опосередкованих ефектів, що відображають перехід підприємства від витратної моделі поводження з відходами до ресурсної моделі замкненого біогенетичного циклу в межах агроєкосистеми. У прикладному вимірі компост виступає не лише як продукт утилізації, а як повноцінний ґрунтополіпшувач і носій поживних елементів, здатний частково замінювати мінеральні добрива та підвищувати ефективність землекористування за рахунок поліпшення фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунту [54; 56]. В умовах підприємства, яке щорічно отримує 3 780 т готового компосту з виходом 60% від 6 300 т сировини (гній ВРХ і структурні рослинні матеріали), питання економічної цінності продукту має оцінюватися комплексно: як «вартість заміщення» мінеральних добрив за діючою речовиною, як приріст економічної віддачі від землі через стабілізацію родючості та врожайності, а також як уникнення втрат і ризиків, пов'язаних із некерованим зберіганням гною та рослинних решток [54; 58; 60].

Перший, найбільш вимірюваний компонент економічної цінності компосту — це його агрохімічний потенціал, тобто наявність у складі продукту макроелементів (N, P, K) у формах, що поступово мінералізуються та залучаються в живлення культур. У матеріалах підприємства зазначено, що 1 тонна якісного компосту містить у середньому 5–7 кг азоту, 3–4 кг фосфору та 5–7 кг калію, а внесення 3 780 т компосту еквівалентне близько 20 т чистого азоту і 15 т фосфору та дозволяє відмовитися від закупівлі приблизно 60 т аміачної селітри щорічно [54].

З позицій економіки агровиробництва така характеристика означає, що компост має пряму «замісну» вартість, яка дорівнює вартості тієї кількості мінеральних добрив, що була б придбана для внесення еквівалентної маси діючої речовини за традиційною схемою мінерального живлення.

Для формалізації цього підходу використано метод перерахунку поживного потенціалу компосту у «мінеральні еквіваленти» з урахуванням стандартного вмісту діючої речовини у відповідних добривах. Для азоту базовим добривом-еталоном обрано аміачну селітру, що є одним із найпоширеніших азотних добрив у практиці зернового і кормового землеробства, а її типовий вміст азоту становить близько 34,4% (N 34,4) [75].

Тоді еквівалентна маса аміачної селітри, яку заміщує компост, визначається як:

$$M_{AN}=M_N/w_N, \quad (4.3)$$

де  $M_{AN}$  — еквівалентна маса аміачної селітри, т;

$M_N$  — маса азоту в компості, т;

$w_N$  — масова частка азоту в аміачній селітрі (0,344) [75].

За прийнятим у виробничому балансі підприємства значенням  $M_N=20$  т, маємо:  $M_{AN}=20/0.344=60$  т

Таким чином, уже лише азотний компонент компосту формує суттєву економічну цінність продукту, оскільки дозволяє скоротити залежність від закупівель добрив і знизити виробничі витрати в умовах волатильності ринку мінеральних ресурсів.

Другий блок економічної цінності пов'язаний з фосфорним і калійним потенціалом компосту. На відміну від азоту, який у мінеральній системі живлення часто забезпечується річними закупівлями, фосфор і калій мають виражений «капітальний» характер у ґрунті, а їх дефіцит у багатьох агроландшафтах призводить до довгострокового зниження продуктивності та погіршення агрофізичних властивостей. Компост, сформований із гною ВРХ та рослинних структурних матеріалів, переносить у ґрунт не лише NPK, а й

органічну матрицю, яка підвищує ємність катіонного обміну, активізує ґрунтову біоту й сприяє накопиченню органічного вуглецю, тобто забезпечує одночасно поживний і ґрунтополіпшувальний ефект [56; 77].

Врахування фосфору і калію в оцінці економічної цінності компосту є принципово важливим, оскільки ігнорування цих компонентів занижує реальну «замісну» вартість продукту.

Для узгодження розрахунків із типовою практикою обліку мінеральних добрив застосовано перерахунок фосфору в еквівалент  $P_2O_5$ , а калію — в еквівалент  $K_2O$ , оскільки саме в такій формі подаються агрохімічні характеристики фосфорних і калійних добрив [56]. Подальше зіставлення проводиться з поширеними мінеральними формами: для фосфору — із суперфосфатом (як фосфорне добриво з нормованим вмістом  $P_2O_5$ ), для калію — із хлористим калієм (калійною сіллю), для якого типовий вміст  $K_2O$  становить близько 60% у перерахунку на діючу речовину, що широко використовується в агрономічній практиці [56]. За даними підприємства, загальна маса фосфору в компості становить близько 15 т, а калію — близько 20–21 т на рік [54].

Це означає, що компост забезпечує не лише азотне заміщення, а й формує помітний фосфорно-калійний ресурс, який у мінеральній системі живлення потребував би окремих закупівель.

Вартісна оцінка «заміщення» потребує використання ринкових цін на добрива. В українському сегменті ринку у 2025 році фіксувалися рекомендовані ціни на аміачну селітру близько 20 800–23 000 грн/т у період оновлення прайсів виробниками та дистриб'юторами, а в умовах пікової кон'юнктури ціни могли сягати орієнтовно 27 000 грн/т у логістичних вузлах [72; 73; 74].

Для оцінки економічної цінності компосту в межах підприємства використано середньорічну ринкову вартість аміачної селітри 25 000 грн/т, що відповідає фактичним розрахункам підприємства та узгоджується з вищенаведеним діапазоном цін [54; 72–74].

За цієї ціни прямий економічний ефект від азотного заміщення становить:

$$E_N = M_{AN} \times C_{AN} = 60 \times 25000 = 1500000 \text{ грн/рік,}$$

де

$E_N$  — економія коштів на азотних добривах;

$C_{AN}$  — ціна аміачної селітри, грн/т [54; 72–74].

Однак економічна цінність компосту не обмежується азотом. Фосфорні добрива у 2025 році в Україні, за галузевими оглядами, перебували в діапазоні близько 17 500–18 000 грн/т, а калійні — близько 19 000–19 500 грн/т, що відображає суттєву частку імпортової складової та загальну цінову напругу на ринку [76].

Це означає, що фосфорно-калійний ресурс компосту має суттєву потенційну вартість у перерахунку на мінеральні аналоги, навіть якщо підприємство не здійснює повного заміщення цих компонентів у перший рік внесення, а використовує компост як елемент системи підтримання фосфорно-калійного фонду ґрунтів.

З урахуванням поживного складу продукту, річний потік 3 780 т компосту відповідає орієнтовно 20,0 т N, 15,1 т P і 20,8 т K (у перерахунку на елементну форму) [54]. У перерахунку на «мінеральні еквіваленти» це становить близько 58–60 т аміачної селітри (N 34,4), близько 75 т суперфосфатного продукту в перерахунку на  $P_2O_5$  (за типовою часткою  $P_2O_5$  у фосфорних добривах) і близько 42 т калійної солі (KCl 60%  $K_2O$ ) як калійного аналога [56; 75].

Зведений розрахунок економічної цінності компосту за методом заміщення подано в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Економічна цінність компосту ТОВ «АП «Придніпровське» за методом заміщення мінеральних добрив

Показник	Значення
Річний вихід компосту, т/рік	3 780
Еквівалент азоту (N), т/рік	20
Еквівалент аміачної селітри (N 34,4), т/рік	60
Середня ціна аміачної селітри у 2025 р., грн/т	25 000
Економія на азотних добривах, грн/рік	1 500 000
Еквівалент фосфору (P), т/рік	15
Орієнтовна ціна фосфорних добрив у 2025 р., грн/т	17 500–18 000
Еквівалент калію (K), т/рік	20–21
Орієнтовна ціна калійних добрив у 2025 р., грн/т	19 000–19 500

Представлений баланс демонструє, що компост має чітко виражену економічну цінність як ресурс заміщення добрив у частині азоту, а також формує фосфорно-калійний «капітал», який стабілізує систему живлення культур і зменшує потребу в дорогих закупівлях фосфорних і калійних продуктів у середньостроковому горизонті [54; 56; 76].

Також важливо врахувати, що органічні добрива це не тільки заміщення мінеральних, а й підвищення врожайності за рахунок поліпшення агрофізичних властивостей ґрунтів та відновлення вмісту гумусу. Тому у виробничих розрахунках підприємства додатковий ефект від підвищення врожайності на 10% завдяки відновленню гумусного стану й поліпшенню агрофізичних властивостей ґрунту на площі 1 500 га оцінено на рівні близько 500 000 грн на рік [54].

Економічна цінність продукту також має бути зіставлена з витратами на його виробництво. За річного випуску 3 780 т компосту операційні витрати (паливо, біопрепарати, оплата праці, амортизація) становлять 355 000 грн/рік [54].

Відповідно питомі витрати на виробництво 1 т компосту дорівнюють:

$$C_{1t} = C_{year} / M_{\text{комп}} = 355000 / 3780 = 94 \text{ грн/т.}$$

Це означає, що компост як продукт має надзвичайно низьку собівартість у порівнянні з мінеральними добривами у перерахунку на одиницю діючої речовини, а його виробництво забезпечує реальний фінансовий результат уже за рахунок одного лише азотного заміщення [54; 72–74].

З урахуванням оцінки підприємства щодо річної економії (1 500 000 грн на добривах і 500 000 грн від підвищення врожайності), сумарний ефект становить 2 000 000 грн/рік, а чистий річний результат після покриття ОПЕХ — 1 645 000 грн/рік [54].

У системному розумінні це означає, що компостування переводить органічні потоки підприємства в категорію економічно доцільного виробничого процесу, який одночасно виконує функцію екологічного захисту та підвищення ресурсної ефективності агровиробництва.

Узагальнюючи, економічна цінність компосту ТОВ «АП «Придніпровське» визначається, по-перше, прямою економією від заміщення мінеральних добрив (насамперед аміачної селітри) на рівні близько 1,5 млн грн/рік при поточних цінах ринку добрив у 2025 році [54; 72–75]. По-друге, продукт формує додану вартість через підвищення врожайності й стабільність ґрунтової продуктивності, що у виробничій оцінці підприємства становить близько 0,5 млн грн/рік і узгоджується з науковими узагальненнями щодо позитивного впливу органічних матеріалів на врожайність і показники ґрунтової якості [54; 77–79]. По-третє, компостування знижує втрати поживних речовин і екологічні ризики, характерні для некерованого зберігання гною, що підсилює економічну ефективність підприємства через мінімізацію прихованих витрат і втрат ресурсів [54; 58; 60]. Сукупно ці ефекти підтверджують, що компост у даному проектному рішенні є не «побічним продуктом утилізації», а стратегічним ресурсом аграрного підприємства, який інтегрує екологічну доцільність і фінансову результативність у межах однієї технологічної системи [56].

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Організація компостного майданчика у ТОВ «АП «Придніпровське» передбачає виконання комплексу робіт, пов'язаних із прийманням і тимчасовим складуванням органічної сировини (гній ВРХ, солома та інші рослинні рештки), формуванням буртів, їх механізованим перетрушуванням (аерацією), контролем вологості та температури, дозріванням компосту, навантаженням і вивезенням готового продукту на поля. Технологічна специфіка таких робіт обумовлює поєднання біологічних, хімічних і фізичних факторів ризику, а також підвищує ймовірність аварійних ситуацій, що потребує системного управління охороною праці відповідно до чинного законодавства України та принципів ризик-орієнтованого підходу [39; 46].

Провідне місце серед факторів небезпеки на компостувальному майданчику займають біологічні чинники. Свіжий гній великої рогатої худоби є біологічно активним субстратом, який може містити умовно-патогенні та патогенні мікроорганізми і формувати біоаерозолі під час механічного перемішування буртів. Саме періоди завантаження сировини та аерації є критичними з точки зору інгаляційного впливу біогенних частинок (бактеріальних клітин, грибкових спор, ендотоксинів), що здатні провокувати подразнення слизових, алергічні реакції та респіраторні порушення у працівників за тривалої або інтенсивної експозиції [77; 78]. У контексті європейського підходу до біологічних ризиків у виробничому середовищі

важливо враховувати класифікацію біологічних агентів за групами ризику, де агенти групи 2 потенційно можуть спричиняти захворювання людини і становити небезпеку для працівника, проте є низька ймовірність поширення у спільноті та зазвичай існують ефективні профілактика або лікування [82]. Цей підхід є корисним для структурування оцінки ризиків та визначення комплексу профілактичних заходів, зокрема гігієнічних і організаційних [46; 82].

Хімічні фактори на компостному майданчику формуються насамперед внаслідок мікробіологічного розкладу азотовмісної органіки та порушень режиму аерації. За дефіциту кисню й надмірної вологості можливе посилення анаеробних процесів із накопиченням аміаку, сірководню та метану, що має як токсикологічне, так і вибухо- та пожежонебезпечне значення [33; 41].

Для аміаку та сірководню характерна виражена подразнювальна дія на органи дихання та очі, а за підвищених концентрацій — ризик гострих отруєнь, що вимагає контролю повітря робочої зони та застосування засобів захисту [83; 84].

Метан, своєю чергою, є горючим газом, і його небезпека у виробничих умовах пов'язана насамперед із формуванням вибухонебезпечних сумішей у повітрі за досягнення нижньої концентраційної межі вибуховості (для метану широко наводиться значення 5% об'ємної частки в повітрі), що актуалізує вимоги до вентиляції, недопущення іскроутворення та контролю джерел запалювання [41].

Особливого розгляду потребують роботи у потенційно замкнених або слабо вентильованих просторах, пов'язані з накопиченням гнойових мас, стоків або технологічним обслуговуванням ємностей (за їх наявності в інфраструктурі підприємства). Такі простори у міжнародній практиці відносять до категорії робіт підвищеної небезпеки, де ключовим ризиком є небезпечна атмосфера через токсичні гази та дефіцит кисню; відповідно обов'язковими є газоаналіз, вентиляція та формалізований порядок допуску працівників [81].

Фізичні фактори ризику обумовлені насамперед механізованим характером виробничого процесу. Перетрушування буртів агрегованим із трактором аератором створює інтенсивні шумові та вібраційні навантаження, а також ризики травмування рухомими частинами обладнання (зони захоплення, обертові елементи, карданні вали, механізми приводу) [43; 46].

Шумовий фактор при тривалій експозиції пов'язується із професійним зниженням слуху та підвищенням втомлюваності; у межах європейських вимог з охорони праці застосовується підхід із визначенням граничних та попереджувальних рівнів шуму (зокрема, у директиві щодо шуму на робочому місці) і відповідним застосуванням технічних та організаційних заходів, включно з використанням протишумних ЗІЗ [86].

До фізичних факторів також належать запиленість (пил рослинного походження при роботі з соломою, сухими компонентами, готовим компостом), мікрокліматичні впливи (робота на відкритому повітрі в умовах сезонної контрастності температур), небезпеки падіння та травмування через слизькі або нерівні покриття майданчика, а також ергономічні ризики при ручних операціях завантаження, підготовки тари, дрібних ремонтів чи відбору проб [41; 43].

Окремий блок небезпек формує пожежна та вибухова складова, яка для органічних матеріалів є об'єктивно значущою. Компостування є екзотермічним процесом: у буртах відбувається саморозігрів органіки (у технологічно коректному режимі температура може підвищуватися до рівнів, достатніх для знезараження та деструкції насіння бур'янів), а за неправильного режиму зволоження та аерації підвищується ризик локального перегрівання і розвитку тління чи займання у масиві матеріалу [16; 42].

Практика управління пожежними ризиками для об'єктів поводження з органічними відходами підкреслює роль біологічного розкладу та окиснення як джерел тепла, а також значущість вологості матеріалу та просторового розділення штабелів/буртів для стримування можливого поширення вогню [87; 88].

В українському регуляторному полі пожежна безпека забезпечується виконанням вимог Правил пожежної безпеки в Україні, що задають загальні вимоги до утримання територій, обладнання засобами пожежогасіння, режимних обмежень, навчання персоналу тощо [42].

Для узагальнення структури небезпек і управлінських відповідей доцільно виділити ключові “вузли ризику” компостного майданчика (табл. 5.1), де технічні, організаційні та гігієнічні заходи мають діяти як єдина система відповідно до принципів ISO 45001 [46].

Таблиця 5.1. Основні фактори ризику на компостному майданчику та пріоритетні заходи управління

Група факторів	Джерело утворення	Потенційні наслідки	Пріоритетні заходи управління
Біологічні	свіжа органіка, біоаерозолі при перетрушуванні	респіраторні та алергічні реакції, інфекційні ризики	гігієна, локалізація пилу, ЗІЗ органів дихання, санітарні пропускники
Хімічні	NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S при порушенні аерації; гази у слабо вентильованих зонах	подрознення, токсичні ефекти; ризик асфіксії у замкнених просторах	вентиляція, газоаналіз, регламенти допуску, ЗІЗ
Фізичні	шум/вібрація, рухомі частини, пил, мікроклімат	травматизм, втрата слуху, втома	огороження, блокування, техогляди, протишумні ЗІЗ, регламенти робіт
Пожежо- та вибухонебезпека	саморозігрів буртів, суха солома; горючі гази	займання, поширення пожежі	контроль вологості, температурний моніторинг, розриви між буртами, засоби пожежогасіння, протипожежний режим

## 5.2. Заходи безпеки, охорони праці та дії у надзвичайних ситуаціях

Система охорони праці на підприємстві має будуватися на вимогах Закону України «Про охорону праці» з визначенням відповідальних осіб, функціонуванням служби охорони праці (або уповноважених осіб за

чисельністю персоналу), плануванням профілактичних заходів, документуванням інструктажів і контролем виконання вимог безпеки [39; 40].

Умови компостування як процесу з поєднанням біологічних, хімічних і механічних ризиків зумовлюють доцільність впровадження елементів системного управління за ДСТУ ISO 45001:2019, зокрема ідентифікації небезпек, оцінювання ризиків, визначення контрольних заходів, проведення внутрішніх аудитів і аналізу з боку керівництва [46].

Першочерговим організаційним елементом є навчання та перевірка знань працівників. Порядок навчання, стажування, інструктажів і допуску до робіт підвищеної небезпеки регламентується Типовим положенням (НПАОП 0.00-4.12-05), що дозволяє формалізувати періодичність інструктажів, вимоги до програм навчання, комісійної перевірки знань та ведення відповідної документації [81].

Для персоналу компостного майданчика ключовими є первинний інструктаж на робочому місці з акцентом на безпечну роботу з тракторним агрегатом і навісним/причіпним обладнанням, періодичний повторний інструктаж, а також спеціальне навчання з надання домедичної допомоги та дій при пожежі, розливі біомаси, аварії техніки [42; 81].

Технічні заходи безпеки мають бути інтегровані у планувальні рішення майданчика. Покриття робочої зони виконується з урахуванням протиковзких властивостей, організації водовідведення та недопущення застою стічних вод і фільтрату, а рух техніки організовується за принципом розділення потоків (транспорт сировини, зона формування буртів, зона дозрівання компосту, зона відвантаження). Для зменшення пиління та запобігання надмірному висиханню буртів підтримується технологічно необхідна вологість, а параметри процесу (температура, вологість) контролюються за графіком, що одночасно виконує функцію охорони праці, знижуючи ризик перегрівання масиву та пожежної небезпеки [16; 42].

Ключовим елементом профілактики травматизму є безпечна експлуатація техніки та обладнання. Вимоги щодо робіт з технічними

засобами в аграрному секторі деталізуються профільними правилами охорони праці, які передбачають справність захисних кожухів, огорожень рухомих частин, відсутність доступу до обертових елементів під час роботи, виконання регламентних техоглядів та заборону проведення ремонтів/очищення механізмів при працюючому приводі [43]. Особливо критичною є зона карданного валу і приводів аератора, тому огороження, інструкції та візуальні попереджувальні знаки мають бути постійними елементами робочого середовища [43; 46].

Заходи гігієни праці на компостному майданчику мають подвійний сенс: зниження інфекційних/алергенних ризиків та запобігання перенесенню біологічного матеріалу у побутові приміщення. У структурі санітарно-побутового забезпечення доцільним є облаштування місць для миття рук, душових, організація зберігання спецодягу окремо від повсякденного одягу, а також дезінфекція спецвзуття після робіт із біомасою [39; 41].

З погляду засобів індивідуального захисту, пріоритетним є захист органів дихання від біоаерозолів та пилу при перетрушуванні буртів (використання респіраторів або напівмасок зі змінними фільтрами відповідного класу), захист очей (окуляри), шкіри рук (рукавиці), а також слуху при тривалій роботі з тракторною технікою [45; 46; 86].

Для керування хімічними ризиками ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) доцільне поєднання технологічних і контрольних дій. Технологічна профілактика полягає у підтриманні аеробного режиму (регулярне перетрушування, контроль вологості, запобігання анаеробним “кишенням”), тоді як контрольна — у застосуванні портативних газоаналізаторів під час робіт у зонах потенційного накопичення газів та у разі появи стійкого запаху чи ознак погіршення якості повітря [83; 84].

Для робіт у замкнених просторах (за потреби обслуговування ємностей чи ям) використовується процедура допуску з попереднім аналізом повітря, вентиляцією, страхувальним постом та наявністю плану порятунку, що відповідає міжнародній практиці безпечної роботи біля сховищ гною [81; 85].

Протипожежні заходи на компостувальному майданчику включають як режимні обмеження (заборона відкритого вогню і куріння у виробничих зонах, контроль вогневих робіт), так і матеріально-технічне забезпечення (пожежні щити, первинні засоби пожежогасіння, доступ до води, організація під'їздів для пожежної техніки) відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні [42].

Оскільки органічні масиви здатні до саморозігрівання, суттєвими є технологічні дії з профілактики тління: підтримання вологості буртів не нижче технологічно обґрунтованих значень, уникнення надмірного ущільнення, контроль температури, а також просторове розділення буртів і обмеження їх геометричних параметрів, що зменшує ризик поширення вогню та забезпечує можливість активного гасіння [42; 87; 88].

Безпека в надзвичайних ситуаціях на підприємстві повинна відповідати вимогам Кодексу цивільного захисту України, який визначає загальні принципи запобігання НС, реагування та захисту працівників [80].

У виробничому контексті компостування найбільш релевантними сценаріями НС є пожежа/займання буртів, дорожньо-транспортні події за участю техніки, травмування при роботі з механізмами, аварійний розлив органічної маси або фільтрату з ризиком потрапляння у дренажну мережу, а також випадки небезпечної атмосфери (наприклад, при роботах у зонах можливого накопичення газів). Для кожного сценарію формується алгоритм реагування: оперативне повідомлення керівника робіт і відповідальних осіб, виклик екстрених служб за потреби, організація евакуації із небезпечної зони, відключення/зупинка обладнання, локалізація джерела небезпеки та надання домедичної допомоги [80; 81].

Практично важливо, щоб план реагування не залишався декларативним документом: він має бути інтегрований у систему навчання персоналу, періодично відпрацьовуватися у вигляді тренувань і містити зрозумілі для працівників інструкції щодо маршрутів евакуації, місць збору, розташування засобів пожежогасіння та аптечок, відповідальних осіб і каналів комунікації. У межах пожежного сценарію критичною є рання ідентифікація тління або

перегрівання: температурний моніторинг буртів, оперативне переформування/розпушування проблемної ділянки, зволоження та розділення масиву на менші об'єми, а також виключення джерел запалювання на території [42; 87].

У випадку небезпечної атмосфери першочерговими є припинення робіт, виведення персоналу у безпечну зону, провітрювання та контроль газового складу повітря; допуск до відновлення робіт здійснюється лише після стабілізації показників і з урахуванням використання відповідних ЗІЗ [83; 84; 85].

Таким чином, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях у ТОВ «АП «Придніпровське» в межах проєктованого компостного майданчика формуються як взаємопов'язаний комплекс технічних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів, де критичним є управління біологічними та хімічними ризиками, безпечна експлуатація механізмів, дотримання пожежного режиму та підготовленість персоналу до реагування на аварійні події [39; 42; 46; 80; 81].

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Під час проведення досліджень було всебічно проаналізовано сучасний стан системи управління відходами в ТОВ «АП «Придніпровське» (Житомирська область), а також було розроблено рекомендації щодо її оптимізації.

1. Встановлено, що для ТОВ «АП «Придніпровське» (Житомирська область) найбільш екологічно та виробничо доцільною є ресурсна модель поводження з органічними відходами, за якої потоки рослинних решток і відходів тваринництва розглядаються як вторинна сировина з поверненням поживних речовин і органічного вуглецю в ґрунт, що відповідає принципам циркулярності та зниження антропогенного навантаження на довкілля.

2. Встановлено, що виробнича структура підприємства (1 500 га ріллі) з домінуванням кукурудзи на зерно (600 га), озимої пшениці (500 га) та сої (400 га) формує значний сезонний потік рослинних залишків, який визначає матеріальну базу для органічної переробки та водночас є потенційним джерелом ризиків у разі некерованого поводження (зокрема, втрат органічної речовини і біогенів, підвищення пожежної небезпеки, посилення дифузного забруднення).

3. Розраховано річний потенціал утворення рослинних залишків у межах підприємства на рівні 10 910 т/рік, у тому числі: кукурудзяні рештки – 6 630 т/рік, солома пшениці – 2 600 т/рік, пожнивні рештки сої – 1 680 т/рік. Отримані значення підтверджують, що саме рослинна побічна біомаса становить основну масову частку органічних відходів агровиробництва та є ключовим елементом формування компостних сумішей.

4. Визначено обсяг утворення відходів тваринництва: за наявності 200 голів ВРХ річний вихід гною становить 3 285 т/рік. Показано, що саме цей потік є центральним джерелом екологічних ризиків для повітря та вод (амоніак, запахи, формування фільтрату, ризики змиву та інфільтрації біогенів) за відсутності керованого зберігання й переробки.

5. Обґрунтовано вибір технології утилізації органіки шляхом аеробного компостування у буртах як оптимальної для умов підприємства за сукупністю критеріїв: повне охоплення основних органічних потоків (гній + солома/стебла), технологічна реалізованість із використанням наявного тракторного парку, керованість процесу, санітарно-стабілізаційний ефект та формування корисного продукту для власних земель.

6. Складено матеріальний баланс компостування. За річного завантаження 6 300 т компостної сировини (3 285 т гною ВРХ і близько 3 000 т структурного матеріалу) отримується 3 780 т готового компосту з виходом 60%, а масові втрати в процесі біологічної стабілізації та видалення вологи становлять 2 520 т/рік. Баланс підтверджує достатність сировинної бази та прогнозованість отримання кінцевого продукту.

7. Доведено економічну доцільність виробництва компосту як елементу управління відходами й одночасно інструменту оптимізації системи удобрення. Річний вихід компосту забезпечує заміщення приблизно 60 т аміачної селітри, а сукупний економічний ефект (економія на мінеральних добривах та ефект від підвищення врожайності) становить близько 2,0 млн грн/рік. За річних операційних витрат на компостування 355 тис. грн чистий результат складає близько 1,645 млн грн/рік, а собівартість 1 т компосту становить близько 94 грн/т.

8. Показано, що впровадження компостування знижує екологічні ризики, притаманні відкритому накопиченню гною та некерованому поводженню з рослинною біомасою: скорочуються втрати азоту, зменшуються запахові та газові викиди, знижується ймовірність утворення

фільтрату та його потрапляння у ґрунтово-водне середовище, а також зменшується пожежна небезпека, пов'язана з накопиченням сухої біомаси.

Виходячи з вищезазначених висновків можна надати наступні пропозиції:

1. Рекомендується закріпити на підприємстві ресурсну модель поводження з органічними відходами як постійний елемент виробничої політики та екологічного менеджменту, передбачивши внутрішній регламент управління потоками «гній ВРХ – структурні рослинні матеріали – компост – внесення на поля» з відповідальними особами, календарем операцій і показниками результативності.

2. Доцільно впровадити буртове аеробне компостування як базову технологію утилізації органіки із рецептурою суміші «гній ВРХ : солома/подрібнені стебла» у масовому співвідношенні 1:1, забезпечуючи цільове співвідношення C:N та технологічні параметри вологості 50–60%, регулярність перетрушування і контроль температурного режиму термофільної фази.

3. Рекомендується організувати компостний майданчик за функціональним зонуванням (приймання сировини, формування буртів, активна фаза, дозрівання, відвантаження продукту) з твердим покриттям і організованим водовідведенням, що зменшує ризики утворення фільтрату, поверхневого змиву біогенів та локального забруднення ґрунтів і вод.

4. Доцільно використовувати циклічну схему закладок (кілька циклів на рік) з оптимізацією логістики підвезення гною та структурного матеріалу, що дозволяє уникати сезонного накопичення сировини, знижує непродуктивні втрати азоту та підвищує керованість режиму аерації та вологості.

5. Рекомендується інтегрувати компост у систему удобрення диференційовано: пріоритетно на полях із ознаками зниження вмісту органічної речовини та погіршення структури, а також під культури з високою чутливістю до агрофізичного стану ґрунту, поєднуючи внесення компосту з

протиерозійними та ґрунтозахисними заходами для зменшення дифузного стоку й ризиків потрапляння біогенів у водні об'єкти.

6. Доцільно посилити протипожежний блок управління майданчиком: контроль вологості та температури буртів, дотримання протипожежних розривів, заборона відкритого вогню, забезпечення первинними засобами пожежогасіння та відпрацювання дій персоналу у разі виявлення тління або займання відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні.

7. Доцільно розглядати компостування як довгостроковий інструмент підвищення стійкості землекористування підприємства, поєднуючи технологічні рішення з екологічним моніторингом (контроль параметрів процесу, стану майданчика та ефектів внесення на ґрунти), що забезпечує одночасно екологічну безпеку та стабільний економічний результат.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Мельничук М.Д. Екологічні проблеми утилізації відходів у сільському господарстві України / М.Д. Мельничук // Агроекологічний журнал. – 2022. – №1. – С. 22–28.
2. Бондар В.С. Управління органічними відходами в аграрному секторі / В.С. Бондар // Вісник аграрної науки. – 2021. – №7. – С. 15–20.
3. Дніпропетровська обласна державна адміністрація. Стан аграрного сектору області у 2023 році [Електронний ресурс]. – URL: <https://adm.dp.gov.ua/>
4. Закон України «Про відходи» від 05.03.1998 № 187/98-ВР [Електронний ресурс]. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр>
5. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Щодо управління відходами в сільському господарстві [Електронний ресурс]. – URL: <https://mepr.gov.ua>
6. Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Звіт про дослідження поводження з аграрними відходами (2023). – URL: <https://issar.com.ua>
7. European Environment Agency. Agricultural waste management in the EU [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.eea.europa.eu>
8. Коваленко О.П. Екологічна оцінка поводження з тваринницькими відходами в Україні / О.П. Коваленко // Екологія та природокористування. – 2021. – №2. – С. 47–53.

9. Сидоренко Н.М. Управління відходами на сільськогосподарських підприємствах / Н.М. Сидоренко // Екологічні перспективи. – 2022. – №4. – С. 34–40.
10. Швець Л.В. Організація систем поводження з аграрними відходами / Л.В. Швець // Екологічний вісник. – 2020. – №5. – С. 29–35.
11. Державний класифікатор продукції та послуг ДК 021:2015 [Електронний ресурс]. – URL: <https://me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=9458fc3b-fcac-40f3-a1df-bebed264bdfb>
12. Деркач І.М. Сучасні підходи до класифікації сільськогосподарських відходів / І.М. Деркач // Вісник агроєкології. – 2018. – №2. – С. 14–20.
13. Білоус Ю.С. Відходи тваринництва: класифікація, безпека, методи утилізації / Ю.С. Білоус // Сільське господарство України. – 2022. – №4. – С. 33–39.
14. FAO. The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/publications>
15. Müller R., Schmidt K. Biogas production from livestock waste: prospects in Eastern Europe // Agricultural Engineering International. – 2021. – Vol. 23(2). – P. 45–58.
16. Чорна К.І. Компостування аграрних відходів як метод управління ресурсами / К.І. Чорна // Екологія та ресурси. – 2020. – №3. – С. 12–18.
17. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. Green practices in farming. – 2023 [Електронний ресурс]. – URL: <https://minagro.gov.ua>
18. European Commission. Best practices in agricultural waste management [Електронний ресурс]. – URL: <https://ec.europa.eu/environment>
19. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Biogas and composting demonstration sites in Ukraine. – 2022 [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.giz.de/en/downloads.html> für Internationale

- Zusammenarbeit (GIZ). Biogas and composting demonstration sites in Ukraine. – 2022 [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.giz.de/en/downloads.html>
20. Commission. Waste Framework Directive 2008/98/EC [Електронний ресурс]. – URL: <https://ec.europa.eu/environment>
21. Bioenergy Europe. Biogas production and use in EU agriculture – 2022 report [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.bioenergyeurope.org>
22. Ministry of Agriculture of the Netherlands. Circular agriculture strategy [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.government.nl/topics/agriculture>
23. U.S. Environmental Protection Agency. Sustainable Management of Food [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.epa.gov/sustainable-management-food>
24. Закон України «Про управління відходами» № 2320-IX від 20.06.2022 р. [Електронний ресурс]. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20>
25. GIZ Ukraine. Green solutions for small farms. – 2023 [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.giz.de/en/worldwide/ukraine.html>
26. Проєкт ПРООН в Україні. Демонстраційні екоплатформи для агровиробників. – 2022 [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.ua.undp.org>
27. Географічна енциклопедія України. — Т. 1–3. — К.: УРЕ, 1989–1993.
28. Дніпропетровська обласна військова адміністрація. Паспорт Дніпровського району [Електронний ресурс]. — URL: <https://adm.dp.gov.ua>
29. Мішуріс Ю.О., Ковальчук І.П. Геоекологічна характеристика Дніпровського району. // Вісник ДНУ. Серія: Географія. — 2022. — № 30. — С. 18–26.
30. УкрГідрометцентр. Кліматичні характеристики України [Електронний ресурс]. — URL: <https://meteo.gov.ua>

31. Державна служба геології та надр України. Геологічна карта Дніпропетровської області. — 2021 [Електронний ресурс]. — URL: <https://www.geo.gov.ua>
32. Методика розрахунку утворення, утилізації та знешкодження відходів у сільському господарстві / Міністерство аграрної політики України. — К., 2021. — 35 с.
33. FAO. Livestock waste management. Technical report. — Rome, 2022. — [Електронний ресурс]. — URL: <https://www.fao.org/3/cb6651en/cb6651en.pdf>
34. Яцюк І.В., Бойко Т.С. Екологічні аспекти поводження з відходами сільськогосподарського виробництва. // Агроекологічний вісник. — 2020. — № 3. — С. 48–56.
35. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Інструкція з екологічного аудиту підприємств. — К., 2022. — 42 с.
36. АгроГІС України — геоінформаційна система аграрного потенціалу. [Електронний ресурс]. — URL: <https://agrogis.gov.ua>
37. Методика визначення утворення, утилізації та знешкодження відходів у тваринництві / Мінагрополітики України. — К., 2021. — 38 с.
38. Гелета О.О., Литвинова М.В. Біоенергетичний потенціал відходів сільського господарства в Україні // Енергетика та екологія. — 2021. — № 4. — С. 15–22.
39. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ. — [Електронний ресурс]. — URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
40. Типове положення про службу охорони праці. — Наказ Держнагляддохоронпраці №255 від 15.11.2004 р. — [Електронний ресурс]. — URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0255504-04>
41. Гончаренко С.І. Екологія праці в аграрному секторі. — К.: НУБіП, 2020. — 198 с.
42. Правила пожежної безпеки в Україні. — Наказ МВС №1417 від 30.12.2014. — [Електронний ресурс]. — URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0258-15>

43. Наказ Мінагрополітики №39 від 07.12.2009 р. «Правила охорони праці під час роботи з технічними засобами». — [Електронний ресурс]. — URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0012-10>
44. Дуброва О.М. Оцінка ризиків у тваринництві. — Харків: ХНАУ, 2021. — 120 с.
45. ДСТУ 2272:2006. Засоби захисту для роботи з пестицидами.
46. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління гігієною та безпекою праці. — [Електронний ресурс]. — URL: <https://online.budstandart.com>
47. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
48. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 08.11.2017 № 820-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80>
49. Про затвердження Національного плану управління відходами до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.02.2019 № 117-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/117-2019-%D1%80>
50. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 № 1264-ХІІ // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
51. Водний кодекс України: Закон України від 06.06.1995 № 213/95-ВР // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>

52. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources (Nitrates Directive) // EUR-Lex. [Електронний ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:31991L0676>

53. European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: Agriculture (emissions from livestock and manure management). [Електронний ресурс]. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>

54. IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: AFOLU. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. [Електронний ресурс]. URL: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch10_Livestock.pdf)

55. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування. [Електронний ресурс]. URL: <https://vfs.vn.ua/site/learning/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%20ISO%2014001%202015.pdf>

56. ISO 14040:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/37456.html>

57. ДСТУ ISO 14044:2013. Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Вимоги та настанови. [Електронний ресурс]. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=71016](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71016)

58. ISO 19011:2018. Guidelines for auditing management systems. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/70017.html>

59. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>

60. Про охорону земель: Закон України від 19.06.2003 № 962-IV // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/962-15>
61. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів (ДСП 173-96): Наказ МОЗ України від 19.06.1996 № 173 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0379-96>
62. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products // EUR-Lex. [Електронний ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj/eng>
63. U.S. Environmental Protection Agency. Sustainable Management of Food: Benefits of Using Compost. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/benefits-using-compost>
64. U.S. Environmental Protection Agency. Sustainable Management of Food: Composting. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/composting>
65. FAO. Farmer's compost handbook. [Електронний ресурс]. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0658b4e0-53e3-4ed7-89d0-ff351bec1dff/content>
66. Misra R.V., Roy R.N., Hiraoka H. On-farm composting methods. Rome: FAO, 2003. [Електронний ресурс]. URL: <https://openknowledge.fao.org/items/b147c3ca-59bf-451a-af9e-154a738e2a5f>
67. NSW Environment Protection Authority. Environmental guidelines: Composting and related organics processing facilities. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.epa.nsw.gov.au/sites/default/files/040061-composting-guidelines.pdf>
68. U.S. Environmental Protection Agency. Environmental Value of Applying Compost. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.epa.gov/land-research/environmental-value-applying-compost>

69. Environmental Resilience Institute (Indiana University). At-home composting: fact sheets. [Електронний ресурс]. URL: <https://eri.iu.edu/resources/fact-sheets/at-home-composting.html>
70. EPA South Australia. Compost Guideline. [Електронний ресурс]. URL: [https://www.epa.sa.gov.au/files/7687\\_guide\\_compost.pdf](https://www.epa.sa.gov.au/files/7687_guide_compost.pdf)
71. U.S. Environmental Protection Agency. Composting at home. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.epa.gov/recycle/composting-home>
72. SuperAgronom. Ціни на добрива в 2025 році продовжують зростати у всьому світі. [Електронний ресурс]. URL: <https://superagronom.com/news/20666-tsini-na-dobryva-v-2025-rotsi-prodovjuyut-zrostati-u-vsomu-sviti>
73. Kurkul.com. OSTCHEM змінив ціни на аміачну селітру та КАС-32. [Електронний ресурс]. URL: <https://kurkul.com/news/38843-ostchem-zminiv-tsini-na-amiachnu-selitru-ta-kas-32>
74. A-pilot.com. Ціни на аміачну селітру в липні 2025 зростають. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.a-pilot.com/news/tsni-na-amachnu-seltru-v-lipn-2025-zrostayut-tse-shche-ne-knets-podorozhchannya/>
75. RICHFIELD. Ammonium nitrate N 34,4 (опис продукту). [Електронний ресурс]. URL: <https://www.richfield.com.ua/en/product/selitra-ammiachnaya-n-34-4>
76. Agravery. OSTCHEM вдруге за місяць підняв ціни на азотні добрива. [Електронний ресурс]. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/ostchem-vdruge-za-misac-pidnav-cini-na-azotni-dobryva>
77. Edlinger A. et al. Compost application enhances soil health and maintains crop yield: insights from farmer-managed arable fields // Soil Science Society of America Journal. 2025. DOI: 10.1002/sae2.70041. [Електронний ресурс]. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sae2.70041>
78. Song Y. et al. Responses of crop yield and soil quality to organic material application: a meta-analysis // Agriculture, Ecosystems & Environment.

2025. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198725002442>
79. Gross A., Glaser B. Meta-analysis on how manure application changes soil organic carbon storage // Scientific Reports. 2021. 11:5516. DOI: 10.1038/s41598-021-82739-7. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-82739-7>
80. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>
81. НПАОП 0.00-1.75-15. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями: Наказ Мінсоцполітики України від 14.08.2015 № 829 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1147-15>
82. Directive 2000/54/EC on the protection of workers from risks related to exposure to biological agents at work // EUR-Lex. [Електронний ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0054>
83. CDC/NIOSH. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards: Hydrogen sulfide. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0337.html>
84. CDC/NIOSH. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards: Ammonia. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0028.html>
85. OSHA. Working Safely Around Manure Storage Structures. OSHA 4166. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA4166.pdf>
86. Directive 2003/10/EC on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise) // EUR-Lex. [Електронний ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32003L0010>
87. GOV.UK. Fire safety risk assessment: open air events and venues (guidance). [Електронний ресурс]. URL:

<https://www.gov.uk/government/publications/fire-safety-risk-assessment-open-air-events-and-venues>

88. CalRecycle. Composting. [Электронный ресурс]. URL: <https://calrecycle.ca.gov/organics/composting/>