

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 2024р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «магістр»
на тему: **«Використання відходів пошкодження (руйнування) будівель
і споруд внаслідок бойових дій для рекультивації техногенно -
порушених територій»**

Виконав: здобувач вищої освіти 2 курсу,

групи МгЕ-1-23 спеціальності

101 «Екологія»

_____ Олександр ДОНЧЕНКО

Керівник _____ доц. Вікторія КАЦЕВИЧ

Рецензент _____

Дніпро 2024

**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

« _____ » _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на підготовку кваліфікаційної роботи

Донченко Олександр Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Використання відходів пошкодження (руйнування) будівель і споруд внаслідок бойових дій для рекультивації техногенно-порушених територій

Науковий керівник: Кацевич В.В., к.с.-г.н., доцент

затверджена наказом по ДДАЕУ від «25» жовтня 2024 р. № 3584

2. Термін подання здобувачем роботи: 16.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Дані екологічного паспорту області, наукова література, статистичні звіти

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. Розділ 1. Аналіз проблеми утворення відходів унаслідок бойових дій. Розділ 2. Техногенно-порушені землі: характеристика та потреби в рекультивації. Розділ 3. Рекультивація порушених земель за допомогою відходів від руйнувань як елемент регіональної стратегії поводження з відходами. Розділ 4. Рекультивація балки пташина: технологічні рішення та розрахунки. Розділ 5 охорона праці та техніка безпеки при виконанні робіт у умовах воєнного стану. Висновок та пропозиції.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Кадастровий план земельної ділянки. Місце

розташування балки Пташина.

6. Дата видачі завдання: «02» вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз проблеми утворення відходів унаслідок бойових дій	Вересень 2024	Виконано
2	Техногенно-порушені землі: характеристика та потреби в рекультивациї	Вересень 2024	Виконано
3	Рекультивация порушених земель за допомогою відходів від руйнувань як елемент регіональної стратегії поводження з відходами	Жовтень 2024	Виконано
4	Рекультивация балки пташина: технологічні рішення та розрахунки	Листопад 2024	Виконано
5	Охорона праці та техніка безпеки при виконанні робіт у умовах воєнного стану	Листопад 2024	Виконано
6	Оформлення дипломної роботи	Грудень 2024	Виконано

Здобувач (ка)

(підпис)

Олександр ДОНЧЕНКО

(Ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Вікторія КАЦЕВИЧ

(Ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Склад дипломної роботи: вступ, 5 розділів, висновків та список літератури. Загальний об'єм роботи – 79 сторінок друкованого тексту, включаючи 3 рисунків та 2 таблиць. Список літератури містить 42 найменування.

Метою роботи є комплексне вивчення та розробка ефективних підходів до мінімізації екологічних ризиків, пов'язаних з відходами руйнування будівель і споруд через ефективне використання цих відходів. Об'єкт дослідження - відходи, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд, об'єктів незавершеного будівництва, об'єктів благоустрою внаслідок бойових дій. Предмет дослідження - застосування відходів від руйнувань як ресурсу для рекультивації техногенно-порушених земель (на прикладі балки Пташиної на території Новоолександрівської сільської ради Дніпропетровського району Дніпропетровської області).

Основні завдання дослідження, які допоможуть забезпечити комплексний підхід до вирішення проблем, пов'язаних з утилізацією відходів від руйнувань у воєнний та післявоєнний періоди:

- кількісний і якісний аналіз проблеми утворення відходів унаслідок бойових дій;
- надання характеристики та з'ясування потреби в рекультивації техногенно-порушених земель;
- визначення рекультивації порушених земель за допомогою відходів від руйнувань як елемента регіональної стратегії поводження з відходами;

- проведення експериментального дослідження порушених земель балки Пташиної на території Новоолександрівської сільської ради Дніпропетровського району Дніпропетровської області;
- здійснення економічної оцінки використання відходів від руйнувань як ресурсу для рекультивації техногенно-порушених земель.

Ключові слова: будівельні відходи, техногенно-порушені території, рекультивація, бойові дії, екологічна безпека, будівельне сміття, вторинні ресурси, відновлення земель.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ УНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ	10
1.1. Характеристика масштабності і значимості утворення і накопичення відходів від руйнувань в Україні з урахуванням міжнародного досвіду оцінки відходів від руйнувань	10
1.2. Характеристика складу та видів відходів від руйнувань	15
1.3. Аналіз поточного стану нормативного регулювання поводження з відходами від руйнувань в Україні	19
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОГЕННО-ПОРУШЕНІ ЗЕМЛІ: ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ПОТРЕБИ В РЕКУЛЬТИВАЦІЇ	27
2.1. Поняття та класифікація техногенно-порушених земель, їх вплив на довкілля	27
2.2. Типи техногенних ландшафтів і підбір методу рекультивації земельних ділянок	32
2.3. Використання відходів як потенційного ресурсу для рекультивації	40
РОЗДІЛ 3. РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ ЗА ДОПОМОЮ ВІДХОДІВ ВІД РУЙНУВАНЬ ЯК ЕЛЕМЕНТ РЕГІОНАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ	44
3.1. Характеристика відходів від руйнувань, придатних для рекультивації	44
3.2. Технології переробки відходів від руйнувань для рекультивації	47
3.3. Використання відновлених відходів від руйнувань як спосіб рекультивації полігонів твердих промислових відходів	49
3.4. Екологічна безпека використання відходів від руйнувань	51
РОЗДІЛ 4. РЕКУЛЬТИВАЦІЯ БАЛКИ ПТАШИНА: ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ТА РОЗРАХУНКИ	53

	7
4.1 Фізико-географічні умови розташування балки Пташина	53
4.2 Загальні положення щодо рекультивації балки Пташина	57
4.3 Використання будівельних відходів у рекультивації	59
4.4 Розрахунки технічного етапу рекультивації	61
4.5 Економічний аналіз двох варіантів рекультивації	64
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ У УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ	68
ВИСНОВОК ТА ПРОПОЗИЦІЇ	71
ЛІТЕРАТУРА	74

ВСТУП

Протягом останніх десятиліть світ стикався із численними конфліктами та війнами, що мали не лише значний вплив на людство, але й серйозно зачіпали навколишнє середовище. Одним із найважливіших аспектів цієї проблеми є екологічні ризики, пов'язані із забрудненням, руйнуванням і подальшою утилізацією будівельного сміття (відходів), яке виникає внаслідок воєнних дій. Україна, яка стала епіцентром найбільших конфліктів у Європі XXI століття, є яскравим прикладом цього явища.

Збройні протистояння на сході країни, а згодом і повномасштабне вторгнення, призвели не лише до втрат серед населення та руйнування інфраструктури, але й до серйозних екологічних викликів, що виникають через утворення та утилізацію значних обсягів будівельних відходів. Вивчення екологічних наслідків утилізації цих відходів є не лише необхідним для збереження природного середовища, але й критично важливим для визначення шляхів подолання наслідків конфліктів і відновлення екосистем, а застосування відходів руйнування будівель і споруд для рекультивації техногенно-порушених територій є не лише екологічно і соціально доцільним, але й економічно виправданим кроком, який сприяє вирішенню одразу двох важливих проблем: очищення зруйнованих територій і відновлення екосистем порушених земель. Це забезпечує гармонійне поєднання екологічних і економічних інтересів у контексті сталого розвитку.

Дослідження спрямоване на визначення екологічних наслідків військових дій у вигляді утворення відходів руйнувань і аналіз ресурсного потенціалу таких відходів з метою рекультивації техногенно-порушених

територій. Збір досвіду, аналіз найкращих практик і створення стратегій стали основою для реалізації цього дослідження.

Мета дослідження: Комплексне вивчення та розробка ефективних підходів до мінімізації екологічних ризиків, пов'язаних з відходами руйнування будівель і споруд через ефективне використання цих відходів.

Основні завдання дослідження, які допоможуть забезпечити комплексний підхід до вирішення проблем, пов'язаних з утилізацією відходів від руйнувань у воєнний та післявоєнний періоди:

- кількісний і якісний аналіз проблеми утворення відходів унаслідок бойових дій;
- надання характеристики та з'ясування потреби в рекультивації техногенно-порушених земель;
- визначення рекультивації порушених земель за допомогою відходів від руйнувань як елемента регіональної стратегії поводження з відходами;
- проведення експериментального дослідження порушених земель балки Пташиної на території Новоолександрівської сільської ради Дніпропетровського району Дніпропетровської області;
- здійснення економічної оцінки використання відходів від руйнувань як ресурсу для рекультивації техногенно-порушених земель.

Об'єкт дослідження: відходи, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд, об'єктів незавершеного будівництва, об'єктів благоустрою внаслідок бойових дій.

Предмет дослідження: застосування відходів від руйнувань як ресурсу для рекультивації техногенно-порушених земель (на прикладі балки Пташиної на території Новоолександрівської сільської ради Дніпропетровського району Дніпропетровської області).

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ УНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ

1.1. Характеристика масштабності і значимості утворення і накопичення відходів від руйнувань в Україні з урахуванням міжнародного досвіду оцінки відходів від руйнувань

Насамперед слід уточнити, що відходи, які виникають внаслідок руйнувань, включають уламки пошкоджених або знищених об'єктів, а також різні матеріали та предмети, що перебували всередині або поблизу цих об'єктів на момент їх руйнування, пошкодження чи демонтажу. Ці відходи частково або повністю втратили свої функціональні властивості й не можуть бути повторно використані за місцем їх утворення чи виявлення [1, 33-39].

Внаслідок бойових дій на території України утворилися значні обсяги відходів від руйнувань будівель та споруд. Станом на листопад 2023 року Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України повідомило про понад 670 тисяч тон таких відходів [2, 33-40].

Однак експерти зазначають, що ці цифри можуть бути заниженими. Олена Колтик, голова коаліції Ukraine Support Team, вказує, що офіційні дані враховують лише сміття, офіційно вивезене на тимчасові сховища твердих побутових відходів, без урахування пошкоджених будівель, які не підлягають відновленню. Вона припускає, що реальна кількість відходів може бути вищою на порядок [3, 41-42]

Останній звіт Світового банку під назвою «Україна: Швидка оцінка завданої шкоди та потреб на відновлення» (RDNA3) був опублікований 15

лютого 2024 року. Цей звіт підготовлено спільно Урядом України, Групою Світового банку, Європейською Комісією та Організацією Об'єднаних Націй. Він надає оновлену оцінку збитків, завданих інфраструктурі та економіці України внаслідок повномасштабного вторгнення росії, а також визначає потреби для відновлення та відбудови країни. Згідно з RDNA3, загальна вартість відновлення та відбудови України протягом наступного десятиліття оцінюється в 486 мільярдів доларів США. Ця сума охоплює витрати на відновлення житлового фонду, інфраструктури, об'єктів економіки та соціальних послуг. За даними звіту Світового банку (RDNA3), загальний обсяг збитків житловому фонду оцінюється у 55,9 мільярда доларів США. Найбільше постраждали багатоквартирні будинки, квартири в яких становлять найбільшу частку як серед пошкоджених об'єктів, так і за обсягом збитків – по 86 %. Згідно зі звітом RDNA3, станом на грудень 2023 року пошкоджено 230 315 індивідуальних житлових будинків та 67 206 кімнат у гуртожитках [4].

На основі аналізу досвіду управління відходами, що утворилися внаслідок руйнувань у громадах Чернігівської, Київської та Миколаївської областей, можна зробити висновок, що після пошкодження житлових будинків в результаті ракетних ударів або іншого озброєння, місцеві органи самоврядування зазвичай здійснювали візуальну оцінку обсягів таких відходів. Оцінювання проводилося на основі обсягу вивезеного сміття або кількості транспортних засобів, які доставляли ці відходи до місць тимчасового складування.

З огляду на досвід громад, слід враховувати, що під час оцінювання та прогнозування обсягів відходів від руйнувань може виникати проблема розкрадання цінних будівельних матеріалів. Такі матеріали нерідко використовуються місцевими жителями для власних потреб, що ускладнює точний облік відходів.

Для вивчення міжнародного досвіду щодо оцінки обсягів відходів від руйнувань було проведено аналіз літературних джерел, що стосуються управління відходами будівництва та демонтажу як найбільш подібного типу.

Додатково розглянуто відходи, що утворюються внаслідок природних катастроф, таких як землетруси, а також руйнувань, спричинених вибухами чи воєнними діями.

Аналіз літератури з управління будівельними відходами показує, що в найчастіше використовується метод розрахунку коефіцієнта генерації. Цей підхід базується на визначенні обсягів відходів на одиницю площі (наприклад, $\text{кг}/\text{м}^2$ або $\text{м}^3/\text{м}^2$). Застосування такого підходу включає використання альтернативних параметрів, таких як кількість відходів на душу населення, екстраполяція фінансової вартості або розрахунок за площею об'єкта.

У 2009 році Хайме Соліс-Гусман та його колеги опублікували дослідження під назвою «Іспанська модель кількісної оцінки та управління будівельними відходами» у журналі *Waste Management*. У цьому дослідженні представлено модель управління будівельними та знесеними відходами (C&D waste), відому як «Модель Алькорес», яка була успішно впроваджена в громаді Лос-Алькорес (Севілья, Іспанія). Модель включає детальний підхід до оцінки обсягів відходів, що генеруються на будівельних майданчиках, з метою покращення планування та контролю їх утилізації. Автори розробили коефіцієнти для оцінки обсягів знесення, уламків та пакувальних матеріалів, базуючись на аналізі 100 проектів житлових будинків. Дослідження також містить два приклади застосування моделі для нових будівництв та проектів знесення. [5]

Ця робота стала основою для національного декрету Іспанії, який з лютого 2008 року регулює виробництво та управління будівельними відходами. Модель Алькорес підкреслює важливість кількісної оцінки відходів на етапі проектування для ефективного управління ними.

Японська методологія оцінки відходів від стихійних лих орієнтована на розрахунок обсягів будівельних матеріалів через середню кількість матеріалів на 1 м^2 площі пошкоджених споруд. Вона враховує різні типи будівель і масштаби пошкоджень у регіоні.

Методологія ПРООН передбачає оцінку стану будівель у зонах руйнувань із визначенням відсотка повністю зруйнованих і непошкоджених об'єктів. Вона також враховує основні типи будівельних матеріалів (бетон, цегла, деревина, залізо) і дозволяє обчислювати обсяги відходів через множення площі будівлі на висоту.

У «Керівних принципах управління відходами від руйнувань» вказується, що обсяг утворених відходів (debris), спричинених стихійними лихами або збройними конфліктами, визначається багатьма чинниками. До них належать масштаб і характер події, тип території, на якій відбулося руйнування (міська, приміська або сільська зона), ступінь вразливості будівель, інфраструктури та місцевих громад до наслідків катастрофи або воєнних дій, а також конструктивні особливості будівель і споруд у регіоні.

Збройні конфлікти часто призводять до суттєвих руйнувань. Наприклад, під час військового конфлікту в Косово у 1999 році було зафіксовано масштабне пошкодження інфраструктури. У результаті бойових дій понад 120 000 житлових будинків у 29 муніципалітетах зазнали пошкоджень. За попередніми підрахунками, загальний обсяг відходів, що утворилися від руйнувань будівель і споруд, сягнув близько 10 мільйонів тонн [6].

Хоча будівельні конструкції в різних країнах (Україна, Японія, Європа, країни Близького Сходу, Канада) відрізняються за типологією та матеріалами, аналіз світового досвіду показує, що єдиним підходом до оцінки відходів є розрахунок норм утворення відходів залежно від типу матеріалів і площі споруд. Цей підхід може бути адаптований для України з урахуванням місцевих типів забудови та пошкоджень.

Для впровадження ефективної методики розрахунків відходів від руйнувань необхідно створити таблиці з нормами утворення відходів для житлових будинків залежно від одиниці площі.

З наведеного можна зробити висновок, що відсутність офіційної статистики щодо кількості відходів, які утворюються внаслідок руйнувань під час бойових дій, створює низку проблем, що ускладнюють планування та

реалізацію заходів з управління такими відходами. Основні аспекти проблематики такі:

- Складність об'єктивної оцінки: Без точних даних про масштаби руйнувань і обсяг будівельного сміття важко визначити ресурси, необхідні для їх утилізації, транспортування чи переробки. Це може призводити до нераціонального використання коштів і часу;
- Невизначеність у законодавчому полі: Відсутність офіційних показників ускладнює розробку відповідних нормативів і стратегій управління будівельними відходами, особливо в умовах надзвичайної ситуації, спричиненої війною;
- Неврахування тіньового використання матеріалів: Частина відходів може використовуватися місцевими мешканцями неофіційно, що ускладнює точний облік та планування утилізації чи переробки;
- Методологічні виклики: Відсутність універсальної методики для визначення обсягів сміття від руйнувань у специфічних умовах, таких як військові дії, призводить до необхідності адаптації іноземного досвіду, що не завжди враховує особливості української інфраструктури та типології забудови.

Вирішенню проблем з визначенням масштабності і значимості утворення і накопичення відходів від руйнувань має сприяти розроблення стандартизованої методології оцінки кількості відходів на основі площі пошкоджених будівель і типу матеріалів, що використовувалися в їх будівництві. Також має бути запроваджений обов'язковий збір і централізоване оброблення даних про руйнування на місцевому та національному рівнях. Доцільним визнається також використання міжнародного досвіду (Японії, ПРООН тощо) для створення ефективних підходів до оцінки обсягів відходів від руйнувань.

1.2. Характеристика складу та видів відходів від руйнувань

Аналіз складу та видів відходів від руйнувань є ключовим етапом у формуванні стратегії екологічного менеджменту, спрямованої на ефективне поводження з відходами, мінімізацію шкоди для довкілля та забезпечення сталого розвитку в процесі відновлення постраждалих територій.

Основними цілями такого аналізу є:

- визначення оптимальних методів утилізації, переробки або захоронення відходів залежно від їх складу;
- розробка планів з організації збору, сортування, транспортування та зберігання відходів;
- ідентифікація небезпечних компонентів для попередження забруднення ґрунтів, води та повітря;
- розробка заходів для утилізації небезпечних матеріалів із дотриманням екологічних норм;
- сприяння принципам циркулярної економіки через рециклінг відходів у нові будівельні матеріали тощо.

Відповідно до «Порядку управління відходами, що утворилися внаслідок пошкодження або руйнування будівель та споруд під час бойових дій, терористичних актів, диверсій чи робіт із ліквідації їх наслідків, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 27 вересня 2022 р. № 1073» [1], відходи від руйнувань класифікуються за походженням на дві основні категорії:

- відходи, спричинені пошкодженням або руйнуванням об'єктів – це відходи, що виникають унаслідок повного або часткового порушення цілісності будівель та споруд в результаті позапроектних впливів, зокрема

бойових дій, що включають потрапляння засобів ураження, вибухи або пожежі.

- відходи, утворені під час демонтажу пошкоджених (зруйнованих) об'єктів – такі відходи виникають у процесі контрольованого чи неконтрольованого розбирання об'єктів. До контрольованого демонтажу належить поступове часткове або повне розбирання будівель на окремі елементи та матеріали. Неконтрольоване знесення може відбуватися внаслідок обвалення під час використання важкої техніки, такої як бульдозери, металеві кулі на стрілі чи підрив вибуховими засобами.

Відходи від руйнувань складаються з двох основних груп компонентів:

- основні компоненти – це частини будівельних конструкцій та їх уламки, а також: залишки заповнень дверних і віконних блоків, фрагменти інженерних мереж, санітарно-технічні прилади та інші будівельні елементи.

- супутні компоненти – це матеріали та предмети, які перебували всередині або поруч із пошкодженим (зруйнованим) об'єктом або утворилися під час його демонтажу. До цієї групи належать: устаткування, особисті речі та предмети вжитку (меблі, побутова техніка), органічні речовини.

У цьому ж нормативному документі наводиться детальний перелік компонентів відходів від руйнувань, який буде проаналізовано та охарактеризовано в подальшому дослідженні [1].

Розрахунок обсягів відходів від руйнувань здійснюється з урахуванням основних компонентів, виходячи з площі будівлі, секції або поверху, які заплановано демонтувати. Для одноповерхових житлових будинків садибного типу рекомендовано використовувати показник площі забудови будинку (у квадратних метрах). У випадку з багатоквартирними житловими будинками, а також будівлями закладів загальної середньої та дошкільної освіти, медичних установ, розрахунок варто проводити на основі як загальної площі будівлі, так і площі її забудови.

Для точного визначення площі забудови або загальної площі будинку бажано використовувати дані з проектної документації (за її наявності),

технічної інвентаризаційної документації, або застосовувати методи дистанційного фотографічного знімання в масштабах 1:2000 або 1:5000. Це дозволяє отримати достовірні дані про характеристики будівлі навіть за умов обмеженого доступу до неї.

У випадках, коли неможливо отримати достовірну інформацію про загальну площу будівлі, припускається, що її загальна площа може бути розрахована як добуток площі забудови на кількість поверхів. При цьому до розрахунків слід включати всі рівні будівлі, зокрема підвальні приміщення, горищні поверхи та технічні поверхи. Такий підхід забезпечує можливість адекватної оцінки обсягів будівельних відходів навіть за умов відсутності повної документації або доступу до місця демонтажу.

Відповідно до «Методичних рекомендацій щодо визначення обсягів утворення відходів, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій [7], розрахунок загальної маси утворення відходів від руйнувань за основними компонентами визначають за формулою:

$$M_i = F_i \cdot a_i,$$

де: M_i – загальна маса утворення відходів від руйнувань за основними компонентами на i -му об'єкті, т;

F_i – площа забудови на i -му об'єкті, кв. м;

a_i – загальна норма утворення відходів від руйнувань за основними компонентами на i -му об'єкті, т/кв. м» [7].

При цьому обсяги відходів від руйнувань оцінюються залежно від матеріалів, використаних у будівлях, та умов руйнування.

У звичайних умовах найбільший обсяг відходів припадає на цеглу (1,092 т/кв.м), тоді як метал утворює мінімальний обсяг (0,004 т/кв.м).

У разі пожежі деревина як компонент відходів відсутня, що призводить до зменшення загальної норми утворення відходів на 0,203 т/кв.м.

Загальна норма утворення відходів у звичайних умовах становить 2,106 т/кв.м, а при наявності пожежі – 1,903 т/кв.м.

Залежно від типу будівель, прийнятними вважаються наступні норми утворення відходів для багатоквартирних будинків, закладів освіти та охорони здоров'я:

- Крупнопанельні будинки: Норми варіюються від $2,0309 \text{ т/м}^2$ (1–2 поверхи) до $3,0392 \text{ т/м}^2$ (16+ поверхів);
- Крупноблочні будинки: Норми утворення відходів коливаються між $2,1931$ – $2,5428 \text{ т/м}^2$ залежно від кількості поверхів;
- Цегляні будинки: Найвища загальна норма ($3,4447 \text{ т/м}^2$) для 2-поверхових будівель.

Додатковими компонентами є скло, віконні та дверні блоки.

При наявності пожежі відсутність деревини зменшує загальні норми. Наприклад, у крупнопанельних будинках для 16+ поверхів норма знижується до $2,9892 \text{ т/м}^2$.

Норми утворення відходів для монолітно-каркасних багатоквартирних будинків визначаються за наступними окремими компонентами відходів: бетон, цегла, газобетон, метали, матеріали для утеплення. Загальна норма утворення відходів становить $1,5239 \text{ т/м}^2$ в обох умовах (звичайні та пожежа). Основним компонентом при цьому є бетон ($1,391 \text{ т/м}^2$).

Норматив утворення відходів за супутніми компонентами для житлових будинків передбачає наступну класифікацію супутніх компонентів: деревина, електронне обладнання, метали, біорозкладні матеріали, інші відходи. Загалом, найбільшу частку займає деревина ($0,014 \text{ т/м}^2$). Загальна норма утворення становить $0,035 \text{ т/м}^2$. В умовах пожежі відсутність деревини зменшує норму до $0,021 \text{ т/м}^2$.

Для утворення відходів за супутніми компонентами при руйнуванні закладів освіти та охорони здоров'я визначено наступні нормативи: за типами будівель розрізняються дошкільні заклади - $0,035 \text{ т/м}^2$, заклади охорони здоров'я - $0,120 \text{ т/м}^2$, школи - $0,085 \text{ т/м}^2$. При цьому, основними супутніми компонентами є меблі, електрообладнання, побутові метали.

1.3. Аналіз поточного стану нормативного регулювання поводження з відходами від руйнувань в Україні

Детальне нормативне регулювання сфери поводження з відходами від руйнувань є необхідним для забезпечення екологічної безпеки, ефективного використання ресурсів і мінімізації негативного впливу на довкілля. Воно дозволяє стандартизувати процеси збирання, сортування, переробки та утилізації таких відходів, враховуючи їх специфіку та потенційно небезпечний склад. Нормативна визначеність також сприятиме координації дій органів влади, громад і підприємств, визначаючи відповідальність за кожен етап управління відходами, особливо в умовах післявоєнної відбудови.

«Кодекс цивільного захисту України регулює правові відносини, пов'язані із забезпеченням захисту населення, територій, довкілля та майна від надзвичайних ситуацій. Документ також визначає компетенції органів державної влади, місцевого самоврядування та окреслює обов'язки громадян у сфері цивільного захисту» [8].

Основним законодавчим актом України, яким визначено поводження з відходами від руйнувань в Україні, є Закон України «Про управління відходами» [9]. Він є основним нормативним актом, що регулює сферу поводження з відходами, включаючи їх збір, транспортування, зберігання, утилізацію, переробку та захоронення. Основна його мета полягає у забезпеченні екологічної безпеки, захисті здоров'я людей та раціональному використанні природних ресурсів. У контексті будівельних відходів і відходів від руйнувань закон визначає підходи до їх обробки та управління, враховуючи їх специфіку.

Будівельні відходи трактуються як матеріали, що утворюються під час будівництва, реконструкції, ремонту або демонтажу споруд, тоді як відходи

від руйнувань — це уламки та матеріали, що залишилися після руйнування будівель або інфраструктури через надзвичайні ситуації, такі як бойові дії чи стихійні лиха. Управління цими відходами базується на принципах запобігання їх утворенню, максимального повторного використання та переробки, мінімізації обсягів захоронення, а також відповідальності за їх обробку на всіх етапах.

Особливістю регулювання будівельних відходів є акцент на роздільному зборі, що дозволяє полегшити їх подальшу переробку. Основними компонентами таких відходів є бетон, цегла, деревина, метали та гіпс, які можуть бути перероблені у нові будівельні матеріали. Закон також визначає вимоги до безпечного зберігання і транспортування цих відходів, щоб запобігти шкоді для довкілля.

Відходи від руйнувань мають свої особливості. У надзвичайних ситуаціях їх збирання та утилізація організовуються органами місцевого самоврядування. Для оцінки обсягів таких відходів використовується площа пошкоджених будівель, а небезпечні матеріали, як-от азбест чи свинець, потребують особливого підходу до утилізації, щоб уникнути забруднення довкілля. Органи місцевого самоврядування відіграють важливу роль у цій сфері. Вони зобов'язані організувати місця тимчасового зберігання відходів, розробляти регіональні програми управління та надавати інформацію для їх подальшої переробки чи утилізації. Разом з тим закон передбачає відповідальність за порушення норм, що регулюють поводження з будівельними відходами, включаючи штрафи та відшкодування завданих збитків.

При цьому, незважаючи на визначення закону як євроінтеграційного, він не передбачає чітких механізмів фінансування обробки будівельних відходів в умовах надзвичайних ситуацій, недостатньо стимулює використання інноваційних технологій переробки та не регулює стандарти рециклінгу.

Загалом, Закон України «Про управління відходами» є важливим інструментом екологічного менеджменту, але потребує вдосконалення для

врахування сучасних викликів, пов'язаних з масштабними руйнуваннями внаслідок війни та необхідністю післявоєнної відбудови.

Закон України «Про компенсацію за пошкодження та знищення окремих категорій об'єктів нерухомого майна внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій, спричинених збройною агресією російської федерації проти України, та Державний реєстр майна, пошкодженого та знищеного внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій, спричинених збройною агресією російської федерації проти України» [10] визначає правові та організаційні засади надання компенсації власникам за пошкоджене або знищене нерухоме майно. Це стосується об'єктів, які постраждали внаслідок бойових дій, терористичних актів чи диверсій, що виникли внаслідок збройної агресії російської федерації проти України.

Хоча ключовою метою закону є відшкодування збитків постраждалим власникам, окремі його положення мають дотичність до питань поводження з відходами від руйнувань, оскільки відшкодування може стосуватися об'єктів, які потребують демонтажу чи утилізації їх залишків. Зокрема, закон передбачає створення Державного реєстру майна, пошкодженого та знищеного внаслідок бойових дій, терористичних актів чи диверсій. Цей реєстр функціонує як єдина державна інформаційно-комунікаційна система, що забезпечує: збирання, накопичення та облік інформації про пошкоджене та знищене нерухоме майно; обробку та зберігання даних про просторові координати об'єктів; облік інформації про осіб, чиє майно зазнало пошкоджень; оцінку шкоди та збитків, завданих унаслідок руйнування або пошкодження майна. Ця система покликана забезпечити прозорість та ефективність процесу фіксації втрат, необхідних для подальшого надання компенсацій і планування робіт із відновлення чи утилізації залишків об'єктів. Інформація, зібрана в цьому реєстрі, може бути використана для планування та організації робіт з демонтажу пошкоджених будівель, утилізації будівельних відходів та відходів від руйнувань, а також для оцінки обсягів таких відходів. Таким чином, хоча закон безпосередньо не регулює питання

поводження з відходами від руйнувань, створення та ведення Державного реєстру пошкодженого та знищеного майна сприяє ефективному управлінню такими відходами, надаючи необхідні дані для відповідних служб та організацій.

«Порядок управління відходами, що виникли в результаті пошкодження або руйнування будівель і споруд під час бойових дій, терористичних актів, диверсій або виконання робіт із ліквідації їх наслідків, було затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 27 вересня 2022 р. № 1073» [1]. Цей порядок визначає чіткі механізми для: збирання відходів від руйнувань, транспортування їх до відповідних місць тимчасового чи постійного зберігання, зберігання, що передбачає забезпечення належних умов для безпечного накопичення, переробки матеріалів для подальшого використання чи утилізації, утилізації відходів, зокрема шляхом їх ліквідації чи повторного використання у відновлювальних роботах. Цей документ спрямований на ефективне та безпечне поводження з відходами, які утворилися внаслідок руйнувань, для мінімізації їх негативного впливу на довкілля та здоров'я людей. Відходи такого типу виникають внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або під час виконання робіт з ліквідації наслідків зазначених подій. Цей порядок регламентує обов'язки органів влади, підприємств і громадян, спрямовані на забезпечення екологічної безпеки та раціонального використання будівельних матеріалів.

Відповідно до Порядку, поводження з відходами від руйнувань базується на таких основних принципах:

- Запобігання негативному впливу на довкілля та здоров'я людей. Усі дії мають здійснюватися із дотриманням екологічних та санітарно-гігієнічних норм.
- Пріоритет повторного використання матеріалів. Частина будівельних відходів може бути перероблена або використана як вторинна сировина.

- Законодавча відповідність. Усі етапи поводження з відходами повинні здійснюватися відповідно до чинного законодавства України.

Збирання відходів здійснюється шляхом їхнього збору з місць утворення, включаючи зони руйнувань та демонтажу.

Відходи сортуються за такими основними категоріями:

- Інертні матеріали, до яких належать бетон, цегла, асфальт і кераміка.
- Деревина, що включає дерев'яні конструкції, залишки покриттів і обшивок.
- Відходи з чорних та кольорових металів, що можуть бути утилізовані чи перероблені.
- Небезпечні відходи - азбест, свинець, лакофарбові матеріали, що потребують особливого поводження через потенційну токсичність.

Сортування здійснюється безпосередньо на місці руйнувань або на спеціальних майданчиках для зберігання будівельного сміття.

Транспортування відходів здійснюється до місць їх зберігання, переробки або захоронення. Для цього використовуються спеціалізовані транспортні засоби, які відповідають екологічним стандартам. Відходи, що містять небезпечні речовини, транспортуються із дотриманням заходів безпеки та в герметичних контейнерах.

Відходи від руйнувань можуть зберігатися тимчасово на спеціально обладнаних майданчиках, які відповідають санітарним нормам. Місця зберігання повинні бути ізольовані, щоб запобігти забрудненню ґрунтів і водних ресурсів. Тимчасові полігони створюються з урахуванням логістики транспортування та близькості до зон руйнувань.

Основна частина відходів від руйнувань є придатною для утилізації. Зокрема, бетон і цегла можуть бути перероблені на вторинний щебінь, який використовують у дорожньому будівництві. Метали спрямовуються на металургійні підприємства для переплавки. Деревина, якщо вона не

забруднена небезпечними речовинами, може бути використана як паливо або у виробництві деревних плит.

Небезпечні відходи підлягають утилізації відповідно до спеціалізованих технологій. Наприклад, азбест необхідно видаляти ізоляційними методами і зберігати на спеціальних полігонах.

Відходи, що не підлягають утилізації або переробці, направляються на захоронення. Полігони для захоронення таких відходів мають бути обладнані системами захисту від інфільтрації небезпечних речовин у ґрунти та водоносні горизонти.

Органи місцевого самоврядування відповідають за організацію збору, зберігання та утилізації відходів на своїй території. Вони також забезпечують облік відходів, співпрацю з підприємствами, що займаються переробкою, та інформування громадян про екологічні та санітарні вимоги до поводження з відходами.

Контроль за дотриманням правил поводження з відходами здійснюють органи державної екологічної інспекції. Вони перевіряють відповідність полігонів, транспортних засобів і процедур екологічним стандартам, а також проводять оцінку можливого впливу на довкілля.

«Порядок виконання робіт з демонтажу об'єктів, пошкоджених або зруйнованих внаслідок надзвичайних ситуацій, воєнних дій або терористичних актів, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 19 квітня 2022 р. № 474» [11] регламентує послідовність дій, відповідальних осіб і організацій, а також вимоги до виконання демонтажних робіт, зокрема в умовах надзвичайної небезпеки. Основна мета цих робіт — забезпечення безпеки людей, попередження подальших руйнувань, мінімізація шкоди для довкілля та підготовка території для можливого відновлення.

Основними етапами виконання демонтажних робіт є:

- 1) Оцінка стану об'єкта та території. Роботи розпочинаються із проведення технічної оцінки стану об'єкта, його конструкцій, інженерних

комунікацій, а також можливих ризиків для прилеглих територій і людей. Ця оцінка виконується сертифікованими експертами та інженерами. Основна увага приділяється визначенню рівня пошкодження конструкцій та наявності небезпечних матеріалів (азбест, токсичні речовини, радіоактивні матеріали);

2) На основі оцінки стану об'єкта розробляється план демонтажу, що враховує послідовність виконання робіт для забезпечення безпеки, вимоги до поводження з відходами, включаючи їх збирання, сортування, переробку чи утилізацію та заходи з охорони праці, екологічної безпеки та захисту прилеглих об'єктів. При цьому, демонтаж об'єктів, пошкоджених або зруйнованих внаслідок надзвичайних ситуацій, воєнних дій або терористичних актів, не потребує окремих дозволів.

3) Роботи організуються відповідно до затвердженого плану. До них залучаються спеціалізовані компанії, які мають досвід виконання демонтажних робіт, необхідну техніку та сертифікований персонал. Основні вимоги до робіт включають забезпечення огороження території, розміщення інформаційних знаків про виконання небезпечних робіт, забезпечення безпеки працівників (спецодяг, засоби індивідуального захисту тощо), організацію транспортної логістики для вивезення відходів.

4) Демонтаж виконується з дотриманням визначених етапів, залежно від типу конструкцій:

- Механічний демонтаж з використанням техніки для розбирання будівельних конструкцій;
- Ручний демонтаж для збереження придатних матеріалів або роботи з крихкими елементами.
- Вибуховий метод - у разі потреби швидкого знищення великих конструкцій, за умови, що це безпечно для оточуючих.

5) Збирання та поводження з відходами. Під час демонтажу забезпечується сортування відходів:

- Будівельні матеріали, що придатні до повторного використання (цегла, бетонні блоки, деревина).

- Metали, які передаються на переробку.
- Небезпечні відходи, що вимагають спеціального зберігання та утилізації.

б) Після завершення демонтажу проводиться очищення території від залишків матеріалів та відходів. Земельна ділянка підготовлюється для подальшого використання, зокрема відновлення або будівництва.

Органи місцевого самоврядування координують роботи, надають необхідні дозволи та забезпечують взаємодію з відповідними службами. У разі значних руйнувань вони також організовують залучення державних ресурсів і підтримку.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОГЕННО-ПОРУШЕНІ ЗЕМЛІ: ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ПОТРЕБИ В РЕКУЛЬТИВАЦІЇ

2.1. Поняття та класифікація техногенно-порушених земель, їх вплив на довкілля

В цілому, техногенно-порушені землі — це землі, на яких внаслідок антропогенної діяльності відбулося порушення природної структури ґрунтового покриву, рельєфу або екосистем, що призвело до зниження їхньої екологічної цінності, продуктивності та втрати господарського призначення. Такі землі часто виникають унаслідок гірничодобувної, будівельної, промислової діяльності, створення полігонів для відходів, а також внаслідок стихійних лих або військових дій.

За визначення С.І. Мельничука, техногенно-порушені землі — це території, на яких унаслідок техногенних процесів порушено природний стан ґрунтового покриву, що вимагає спеціальних заходів для їхньої рекультивації [12].

Відповідно до ДСТУ 7705:2015 «Захист довкілля. Рекультивація земель. Терміни та визначення» понять, розробленого Національним університетом біоресурсів і природокористування України та введеного в дію наказом ДП «УкрНДНЦ» від 28 травня 2015 року № 45 з 01 серпня 2016 року, техногенне порушення земель — процес, який відбувається під час добування (розробляння) корисних копалин, виконання геологорозвідувальних, пошукових, будівельних й інших робіт та спричиняє порушення ґрунтового

вкриття, гідрологічного режиму місцевості, утворення техногенного рельєфу й інші якісні зміни стану земель. [13]

У законодавстві Європейського Союзу (ЄС) відсутнє пряме визначення терміна «техногенно-порушені землі». Проте існує низка нормативних актів, які регулюють питання охорони ґрунтів, рекультивації порушених земель та управління забрудненими територіями.

Так, «Рамкова директива Європейського Парламенту та Ради від 19 листопада 2008 року «Про відходи та скасування деяких Директив» (2008/98/ЄС)» [14] встановлює правову основу для поводження з відходами в ЄС, включаючи заходи щодо запобігання утворенню відходів, їх переробки та утилізації. Вона також містить положення щодо рекультивації земель, забруднених відходами, що може бути застосовано до техногенно-порушених територій. У рамках Угоди про асоціацію між Україною та ЄС передбачено поступове наближення українського законодавства до законодавства ЄС у сфері охорони довкілля, включно з управлінням відходами. Це означає, що Україна зобов'язана імплементувати положення Рамкової директиви 2008/98/ЄС у національне законодавство, адаптуючи свої нормативно-правові акти до європейських стандартів.

«Директива 2004/35/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 21 квітня 2004 року про екологічну відповідальність щодо запобігання та усунення екологічної шкоди» [15] запроваджує принцип «забруднювач платить» і зобов'язує операторів відновлювати довкілля після заподіяння шкоди, включаючи ґрунти. Вона застосовується до випадків, коли техногенна діяльність призвела до забруднення земель.

Розроблена «Європейською комісією Стратегія ЄС щодо ґрунтів до 2030 року» [16] спрямована на захист ґрунтів від деградації, включаючи заходи з рекультивації порушених земель. Хоча ця стратегія не є обов'язковою, вона надає рекомендації для держав-членів щодо управління техногенно-порушеними землями.

Визначення типології техногенно-порушених земель має значення як елемент системного підходу, правильна класифікація є основою для ефективного управління земельними ресурсами та захисту довкілля, для розробки заходів з рекультивації, охорони земельних ресурсів і відновлення їхньої продуктивності.

За основу класифікації техногенно-порушених земель можна прийняти характер порушень, причини їх виникнення та можливість відновлення.

Так, за характером порушень техногенно-порушених земель можна умовно виокремити:

Таблиця 2.1 – Характери та наслідки порушень техногенно-порушених земель

Характер порушення	Наслідки порушень
Землі, порушені фізично	зміни рельєфу (кар'єри, провали, відвали, терикони); пошкодження ґрунтового покриву (зняття або ущільнення ґрунту)
Хімічно забруднені землі	Забруднені важкими металами, пестицидами, нафтопродуктами; Землі з кислотним чи лужним забрудненням
Біологічно порушені землі	Землі, де порушено біоценози (зменшення біорізноманіття); Деградовані внаслідок знищення рослинного покриву.
Гідрологічно змінені землі	Порушення водного режиму (пересушення, заболочення, підтоплення); Зміни русел річок або осушення водойм.

В.М. Хрик зі співавторами визначають чотири основні чинники, що призводять до утворення порушених земель. Перший чинник – підземне видобування корисних копалин або їх вилучення за допомогою буріння, що викликає просідання поверхні та деформацію ґрунтового покриву. Другий – відкрите (наземне) видобування корисних копалин, яке призводить до значного порушення ландшафтів, утворення кар'єрів і відвалів. Третім чинником є процеси збагачення корисних копалин, що супроводжуються накопиченням великої кількості відходів у вигляді хвостосховищ та техногенних відвалів. Четвертий чинник охоплює промислову та транспортну діяльність, зокрема будівництво інфраструктури, механічне ущільнення

ґрунтів і промислові викиди, які негативно впливають на стан земельних ресурсів.

Додатково виділяються інші види порушених земель, що потребують рекультивації. До них належать: території, призначені для складування міських і промислових відходів, включно із золо- і шлаковідвалами; насипи, що утворюються під час ліквідації транспортних шляхів; дамби, які залишаються після демонтажу гідротехнічних споруд; кавальєри, розташовані вздовж осушувальних і водопровідних мереж каналів та русел річок, що підлягають виправленню; а також траншеї, що виникають у процесі виконання різноманітних будівельних робіт [17].

Виходячи з актуальної масштабності техногенних порушень земель, пропонується наступна класифікація:

- Гірничодобувна діяльність: кар'єри, шахти, відвали;
- Промислова діяльність: забруднення відходами виробництва, полігони відходів;
- Будівництво: землі, порушені при створенні інфраструктурних об'єктів (дороги, будівлі, дамби);
- Землі, порушені внаслідок бойових дій (окопи, вирви, знищені будівлі та інфраструктура).

За можливістю відновлення умовно можна виокремити:

- Землі, придатні до рекультивації - території, які можуть бути відновлені шляхом проведення інженерних, біологічних або агротехнічних заходів;
- Землі, частково придатні до відновлення - потребують значних зусиль для рекультивації, наприклад, після радіаційного чи хімічного забруднення;
- Землі, непридатні для відновлення - об'єкти, які визнані повністю деградованими та потребують виключення з господарського обороту.

Згідно з ДСТУ 7141:2015, порушені землі класифікуються за глибиною, крутизною схилів та площею. Кар'єри, провали і траншеї поділяють за

глибиною на дуже глибокі (понад 100 м), глибокі (30–100 м), середньої глибини (15–30 м), неглибокі (5–15 м) та дрібні (менше 5 м). Крутизна схилів варіюється від обривистих (понад 45°) до пологих (до 5°). Площа порушених земель може бути великою (понад 50 га), середньою (1–50 га) та дрібною (до 1 га). [18]

Більшість українських наукових робіт, присвячених порушеним землям, концентруються на методах їх відновлення, таких як рекультивація, консервація та відновлення рослинного покриву. Наприклад, у публікаціях досліджуються конкретні технології відновлення ґрунтів після промислової діяльності або військових дій, тоді як питанням системного аналізу впливу порушених земель на екосистему приділяється значно менше уваги.

Так, можна констатувати, що в науковій літературі майже відсутні узагальнюючі теоретичні моделі впливу порушених земель, зокрема техногенно порушених, на екосистему.

Через значну актуальність проблем деградації земель, викликаних антропогенними чи техногенними факторами, основна увага дослідників приділяється практичним аспектам, які можуть бути впроваджені в реальні відновлювальні програми.

У порівнянні з зарубіжними дослідженнями, які часто розглядають порушені землі як частину глобальних екосистемних змін (наприклад, вплив на кліматичні процеси чи вуглецевий баланс), українські дослідники зосереджуються на локальних аспектах. Це знижує рівень інтеграції українських теоретичних напрацювань у світову наукову дискусію. Ситуація із фінансуванням науки в Україні може бути одним із чинників, що впливають на обмеження фундаментальних досліджень. Адже вивчення теоретичних основ вимагає тривалих міждисциплінарних досліджень, які є більш ресурсозатратними, ніж прикладні роботи. Теоретичний аналіз впливу порушених земель вимагає інтеграції знань із екології, географії, геології, хімії, біології та соціології. Проте в українській науці міждисциплінарний підхід ще не набув достатнього поширення.

Ці фактори дозволяють зробити висновок, що, хоча українська наукова спільнота робить вагомий внесок у вирішення практичних проблем, пов'язаних із порушеними землями, фундаментальна теоретична база залишається недостатньо розвиненою. Це відкриває перспективи для більш глибоких досліджень і підвищення рівня інтеграції української науки у світовий науковий контекст.

2.2. Типи техногенних ландшафтів і підбір методу рекультивації земельних ділянок

Результатом виробничої діяльності стає утворення насипів і виїмок, які суттєво змінюють первісний вигляд природних ландшафтів, перетворюючи їх на техногенні утворення. В залежності від обсягів і конфігурації цих змін, а також від їхнього розташування, виділяють кілька основних типів природно-техногенних ландшафтів.

Крупнокар'єрно-відвальні ландшафти представляють собою поєднання природних компонентів з глибокими багатоярусними кар'єрами (глибиною 100–300 м, а в перспективі – до 500 м) і масштабними багатоярусними відвалами. Як приклад таких техногенних утворень можна навести залізорудні кар'єри Марганецького ГЗК, Криворізького басейну та Нікопольського родовищ залізних і марганцевих руд. Ці кар'єри є величезними котлованами, що доповнені високими (десятки метрів) відвалами, які мають декілька терасоподібних уступів. Після завершення робіт поверхня відвалів набуває слабохвилястого рельєфу. Швидкість природного відновлення рослинного покриву та можливість рекультивації значною мірою залежать від фізико-хімічних властивостей порід, що були підняті на поверхню.

Середньо- та дрібнокар'єрно-відвальні ландшафти поєднують природні елементи місцевості з техногенними ділянками й окремими урочищами. Вони

включають невеликі та середні за розміром кар'єри площею від 1 до 10–15 га, які доповнені одно- або двоярусними внутрішніми та зовнішніми відвалами висотою 2–3 м до 15–30 м. Зовнішні відвали, які ще називають бортовими, зазвичай розташовують поблизу кар'єрів, утворюючи систему гребенеподібних або поодиноких пагорбів, що розтягуються на кілька десятків гектарів. Такі ландшафти є типовими для багатьох промислових районів країни, де ведеться відкритий видобуток корисних копалин, які залягають на невеликій глибині (до 40–50 м). Прикладами таких кар'єрів можуть слугувати ділянки видобутку бурого вугілля, вапняку, піску, гравію, глини та суглинків, які поширені по всій території України.

Торф'яно-кар'єрні ландшафти утворюються внаслідок торф'яних розробок і є поєднанням природних територій із виробленими торф'яними площами та траншейними виїмками. Часто такі виїмки заповнюються водою, що дозволяє їх використання як водойми для різноманітних цілей.

Дренажно-відвальні річкові долини формуються у річкових долинах через значну кількість дренажних відвалів. Вони характеризуються зміненими тепловими та водними режимами, ерозійними процесами, заростанням і забрудненням вод. Дренажно-відвальні долини поширені переважно в південно-східних регіонах України, де здійснюється видобуток кольорових металів дренажним методом.

Просадно-кар'єрно-відвальні ландшафти поєднують різноманітні провальні-просадні форми рельєфу, такі як улоговини, воронки, западини та ями, з шахтними і переробними відвалами. Конічні й гребенеподібні відвали разом із кар'єрами є типовими елементами цього типу.

Індустріально-сміттєво-відвальні ландшафти формуються на основі промислових відходів, таких як зола, шлам і побутове сміття. Значна частина таких відвалів містить токсичні компоненти, що стають джерелом забруднення повітря, ґрунту та підземних вод, створюючи суттєві екологічні ризики.

Природні ландшафти також зазнають часткових пошкоджень унаслідок промислових викидів. Вплив промислово-газових викидів в атмосферу, скидання рідких і твердих відходів у водні об'єкти або на прилеглі до промислових майданчиків території (зокрема, забруднення нафтою та нафтопродуктами) суттєво змінює екосистеми. Хоча рельєф таких територій зазвичай залишається незмінним, значні трансформації зазнають ґрунтовий і рослинний покриви, популяції тварин, а також знижується продуктивність лісів і сільськогосподарських угідь.

До категорії порушених земель відносять також агроландшафти, які піддаються ерозії, дефляції, утворенню ярів та інших деградаційних процесів. Згідно з ДСТУ 7141:2015, такі землі класифікують за напрямками рекультивациі залежно від запланованого способу їх подальшого використання. [18]

Відповідно до положень Земельного кодексу України, рекультивациа — це система організаційних, технічних і біотехнологічних заходів, метою яких є відновлення родючості ґрунту, поліпшення його стану та підвищення продуктивності порушених земель. Варто зазначити, що Земельний кодекс України та Закон України «Про охорону земель» акцентують увагу переважно на сільськогосподарському напрямку рекультивациі. Водночас, рекультивациа може проводитися також за лісогосподарськими, водогосподарськими, санітарно-гігієнічними, рекреаційними та будівельними напрямками.

Процедури відновлення порушених земель включають визначення умов їхнього приведення до стану, придатного для використання. Також регулюється порядок зняття, збереження та повторного застосування родючого шару ґрунту. Всі ці заходи здійснюються на підставі проєктів рекультивациі, які отримали схвальний висновок державної екологічної експертизи. Контроль за дотриманням цих вимог покладено на органи, що надають землі у користування та видають дозволи на роботи, які пов'язані з порушенням ґрунтового покриву.

Проекти рекультивації розробляються на основі чинних екологічних, санітарно-гігієнічних, будівельних, водогосподарських, лісогосподарських та інших нормативних документів і стандартів. При цьому обов'язково враховуються природно-кліматичні особливості регіону та специфіка розташування порушеної території.

Напрями використання земель після рекультивації:

- Сільськогосподарський напрям: відновлені землі використовуються для ріллі, сіножатей, пасовищ або багаторічних насаджень.
- Лісогосподарський напрям: землі можуть бути зайняті лісонасадженнями загального господарського чи полезахисного призначення, а також лісорозсадниками.
- Водогосподарський напрям: створюються водойми для господарсько-побутових потреб, промислового водопостачання, зрошення чи рибальства.
- Рекреаційний напрям: організуються зони відпочинку, спортивні комплекси, парки, лісопарки, водойми для оздоровлення, мисливські угіддя, туристичні бази.
- Природоохоронний і санітарно-гігієнічний напрям: створюються ділянки для протиерозійних лісонасаджень, закріплені чи законсервовані території з використанням технічних засобів.
- Ділянки для самозаростання: залишаються без активного втручання, щоб використовувати їх у майбутньому для господарських або рекреаційних цілей.
- Будівельний напрям: підготовка земель для промислового, цивільного та іншого виду будівництва.

У «Стислому тлумачному словнику з рекультивації земель» виділяються додаткові терміни: тимчасова рекультивація (здійснюється на землях, призначених для повторного освоєння) і постійна рекультивація (на землях, що не потребують подальшої зміни використання). Також згадується термін

рекультивация ландшафтів, що стосується комплексного відновлення екосистем. [19]

Тимчасова рекультивация проводиться на територіях, де в майбутньому заплановано змінити їхнє призначення: повторно використовувати корисні копалини, здійснювати будівництво тощо. Основною метою цієї рекультивации є озеленення та зміцнення поверхні для запобігання ерозії, а також забезпечення дотримання санітарних і гігієнічних норм.

Постійна рекультивация застосовується на землях, де не передбачено змінювати їхнє початкове використання (до розробки родовищ). Такий вид рекультивации спрямований не лише на локальне відновлення окремих пошкоджених ділянок, але й на комплексне перетворення ландшафтів у рамках заходів із оптимізації техногенних територій.

У сучасних умовах розвитку суспільства багато науковців, як вітчизняних, так і зарубіжних, розглядають рекультивацию порушених земель як багатогранну проблему. Вона охоплює відновлення їхньої продуктивності та реконструкцию ландшафтів, пошкоджених промисловістю, а також створення на місці "промислових пустель" нових культурних територій.

Враховуючи це, основою теорії рекультивации порушених земель має стати концепція просторової локалізації та нейтралізації шкідливих впливів відкритих гірничих робіт на довкілля. Важливим завданням є створення умов для активного самовідновлення територій шляхом використання родючих ґрунтів, які попередньо були зняті із земель гірничого відводу. Основою для виконання рекультивацийних робіт є селективне та цілеспрямоване формування оптимальних гірничопромислових ландшафтів, які відповідають конкретному народногосподарському призначенню.

В умовах інтенсивного землеробства та стрімкого розвитку гірничохімічної й інших галузей промисловості, що спричиняють порушення ґрунтового покриву, рекультивация земель є важливою складовою агроекологічної проблеми. Вона безпосередньо пов'язана з забезпеченням умов для сільськогосподарського виробництва, формуванням урожайності

сільськогосподарських культур, відновленням родючості земель та підтримкою їх екологічної функції.

Для ефективного планування заходів з відновлення порушених територій науковці розробили технологічну класифікацію таких земель. Ця класифікація охоплює як процеси руйнування територій, так і відновлення їхніх ландшафтів.

Класифікація передбачає виділення категорій порушених земель за типами угідь, які використовуються відповідно до їхнього встановленого призначення та виконують природно-історичні функції. До таких земель належать території, змінені різними технологічними процесами. Їхні межі фіксуються в земельно-обліковій документації.

Типи порушень класифікуються залежно від характеру та способів виробничо-технологічного використання територій. Це можуть бути порушення, спричинені дією несприятливих природних факторів (абіотичних і біотичних) або антропогенною діяльністю, зокрема геологорозвідкою, підземними та відкритими гірничими роботами, переробкою і збагаченням корисних копалин, складуванням порід і відходів, а також будівництвом інфраструктурних об'єктів.

Кожен тип порушених земель поділяється на види та підвиди. Вид визначається залежно від факторів, які впливають на можливість господарського освоєння території, наприклад, для сільськогосподарського чи лісогосподарського використання. Підвид, своєю чергою, визначається рівнем складності технічної підготовки ділянок: ускладнена, складна або дуже складна.

Рівні порушень (ранги) класифікуються за характером змін умов середовища, що впливає на ступінь порушеності біогеоценозу. Виділяють три основні ранги: сильно-, середньо- та слабопорушені території. Для більш детальної характеристики ранги поділяються на підранги, які враховують ступінь порушення території та окремих компонентів біогеоценозу, зокрема едафотопу, і поділяються на суцільні, часткові та фрагментарні порушення.

Види порушень визначаються на основі виробничо-технологічних утворень, що виникають під впливом природних або переважно антропогенних факторів. Наприклад, для техногенно змінених земель характерними видами утворень є кар'єри, зовнішні та внутрішні відвали, просідання та провали ґрунту, траншеї, насипи, сміттєзвалища тощо.

Відновлення порушених територій здійснюється з урахуванням їх придатності до конкретного виду господарської діяльності, що визначає подальший напрям їх використання. Основними категоріями є: сільськогосподарське (для вирощування сільськогосподарських культур чи створення пасовищ), лісогосподарське (відновлення лісових насаджень), рекреаційне (створення парків, лісопарків, зон відпочинку та спорту), водогосподарське (облаштування водосховищ, каналів чи ставків), природоохоронне (створення природоохоронних зон, заказників або відновлення біорізноманіття) та будівельне (підготовка земель для будівельних робіт та інфраструктурних об'єктів). В межах цієї класифікації особлива увага приділяється конкретизації цільового призначення відновлених земель, що дозволяє забезпечити їх раціональне використання та інтеграцію у загальну систему територіального планування і господарської діяльності. Наприклад, у випадку рекреаційного використання порушені території можуть бути трансформовані у лісопарки, парки, сквери, зони для відпочинку і спорту або навіть у спеціалізовані насадження для різноманітних функціональних потреб.

Вибір напрямку відновлення та цільового використання територій ґрунтується на детальному аналізі змін, які сталися внаслідок порушень, а також на технічній та економічній оцінці ефективності передбачуваного використання земель.

Технологія відновлення земель базується на обґрунтуванні та виборі необхідних заходів для їхньої ревіталізації. У випадках середньої змінності умов середовища проводять фітомеліоративні роботи, а за значного порушення екосистеми – заходи з рекультивації. Основний акцент у технології

відновлення робиться на використанні найраціональніших та найбільш ефективних сучасних методів рекультивації.

Складність виконання робіт з відновлення залежить від ступеня порушення екосистеми та змінності умов середовища. Її можна поділити на три рівні: проста, ускладнена та складна ревіталізація ландшафту.

Час, необхідний для повного відновлення ландшафту, визначається тривалістю періоду від моменту порушення до досягнення початкової продуктивності, яка не повинна поступатися продуктивності сусідніх непошкоджених територій. Залежно від тривалості цей період класифікують як короткостроковий (до 5 років), середньостроковий (5–10 років) та довгостроковий (понад 10 років).

Технологічна класифікація порушених земель виконує кілька ключових функцій. Вона дозволяє здійснювати інвентаризацію порушених територій як на локальному, так і на регіональному рівнях, забезпечуючи їх системний облік. Також класифікація використовується для прогнозування змін у земельних угіддях, що сприяє оцінці їхнього стану та динаміки розвитку. На основі цих даних проводиться районування і планування заходів з відновлення територій відповідно до їх потенційного використання. Крім того, класифікація є основою для розробки проектів фітомеліорації та рекультивації, які спрямовані на відновлення екологічної рівноваги та продуктивності земель. Окремо вона дозволяє здійснити оцінку економічних витрат, необхідних для відновлення та подальшого ефективного використання порушених територій.

Запровадження технологічних класифікацій порушених земель дозволяє більш обґрунтовано підходити до планування відновлювальних заходів, удосконалювати процес ревіталізації ландшафтів, формувати продуктивні фітоценози та скорочувати терміни відновлення природних екосистем.

2.3. Використання відходів як потенційного ресурсу для рекультивації

Рекультивація земель за допомогою використання відходів як ресурсу є сучасним екологічним підходом, що дозволяє зменшити вплив на довкілля та вирішити проблему утилізації відходів. Цей підхід передбачає раціональне використання різних типів відходів для відновлення деградованих територій, таких як кар'єри, полігони твердих побутових відходів, промислові ділянки та інші порушені землі.

Використання органічних відходів у рекультивації порушених земель є ефективним методом відновлення екосистем, що сприяє підвищенню родючості ґрунтів та зменшенню негативного впливу на довкілля. Цей підхід активно застосовується в європейських країнах, де накопичено значний досвід у цій сфері.

Основними аспектами використання органічних відходів у рекультивації є:

Компостування органічних відходів: Процес перетворення органічних відходів на компост дозволяє отримати високоякісне органічне добриво, яке покращує структуру та родючість ґрунту. Компост сприяє відновленню біологічної активності ґрунту та забезпечує рослини необхідними поживними речовинами.

Вермикультивування: Використання червоних каліфорнійських хробаків (*Eisenia fetida*) для переробки органічних відходів дозволяє отримати біогумус — екологічно чисте добриво, яке підвищує родючість ґрунтів та сприяє фіторе mediaції деградованих земель. Біогумус збагачує ґрунт корисними мікроорганізмами та покращує його структуру [20].

Використання осадів стічних вод: Осади стічних вод після відповідної обробки можуть бути використані як органо-мінеральні добрива для

рекультивациі порушених земель. Це сприяє покращенню фізико-хімічних властивостей ґрунту та забезпечує рослини необхідними елементами живлення [21].

Застосування сільськогосподарських відходів: Відходи сільськогосподарської продукції, такі як солома, гній та інші, можуть бути використані для біоремедіації ґрунтів, покращуючи їх структуру та родючість. Це дозволяє ефективно утилізувати відходи та одночасно відновлювати деградовані землі [22].

У європейських країнах широко застосовуються технології використання органічних відходів для рекультивациі порушених земель. Зокрема, у Німеччині та Нідерландах активно використовують компостування та вермикультивування для відновлення деградованих територій. Ці країни розробили нормативно-правову базу, яка регулює використання органічних відходів у сільському господарстві та рекультивациі земель, що сприяє сталому розвитку та збереженню довкілля.

Використання органічних відходів у рекультивациі порушених земель є перспективним напрямом, який поєднує екологічні та економічні переваги, сприяючи відновленню екосистем та раціональному використанню ресурсів.

Рекультивациа порушених земель із використанням будівельних та промислових відходів є ефективним способом вирішення екологічних і соціальних проблем, пов'язаних із деградацією ґрунтів і утилізацією відходів. Цей підхід відповідає принципам сталого розвитку та сприяє зменшенню негативного впливу людської діяльності на довкілля.

Будівельні відходи – залишки бетону, цегли, асфальту, гіпсу та інших матеріалів, що утворюються під час демонтажу будівель або ремонту. Ці матеріали можуть бути перероблені в гранулят і використані як наповнювач для створення рельєфу або покращення структури ґрунту.

Металургійні шлаки – побічний продукт металургійної промисловості, що має лужний характер. Шлаки можуть нейтралізувати кислі ґрунти та використовуватися для стабілізації територій.

Попіл і зола – залишки від спалювання вугілля або біомаси, які містять калій, фосфор і кальцій. Ці матеріали використовуються для покращення хімічного складу ґрунту.

Відходи хімічної промисловості – вапнякові матеріали, гіпсові відходи та інші продукти, які після очищення можуть служити для підвищення родючості та стабілізації ґрунту.

Основними технологіями використання будівельних і промислових відходів є:

Гранулювання та дроблення – подрібнення будівельних відходів для отримання матеріалів, придатних для формування рельєфу.

Стабілізація ґрунтів – застосування промислових відходів для поліпшення фізико-механічних властивостей ґрунтів. Наприклад, шлаки використовуються для підвищення несучої здатності.

Хімічна нейтралізація – використання лужних матеріалів, таких як металургійні шлаки, для нейтралізації кислотності порушених ґрунтів.

Формування ландшафту – відходи будівельної індустрії застосовуються для створення териконів, вирівнювання територій або відновлення природного рельєфу.

Перевагами використання будівельних і промислових відходів є:

Економічна вигода – зменшення витрат на утилізацію відходів та отримання додаткових матеріалів для рекультивації.

Зменшення екологічного навантаження – переробка відходів зменшує обсяги сміття на полігонах і знижує ризики забруднення довкілля.

Покращення властивостей ґрунту – використання шлаків, попелу або інших матеріалів дозволяє покращити структуру, водоутримувальну здатність і хімічний склад ґрунту.

У Німеччині будівельні відходи широко застосовуються для рекультивації старих кар'єрів і територій, забруднених промисловою діяльністю. Завдяки високим стандартам переробки будівельного сміття,

країна досягла значного успіху у відновленні порушених ландшафтів [23, 33-38].

У Швеції та Норвегії металургійні шлаки використовуються для відновлення гірничих порушених територій. Це сприяє створенню стабільного ландшафту і запобігає ерозії.

У Польщі попіл і зола від спалювання вугілля активно застосовуються для рекультивації шахтних відвалів. Це дозволяє не лише стабілізувати ґрунти, але й повернути їх до сільськогосподарського або лісового використання [24].

Ризиками та обмеженнями використання будівельних і промислових відходів є:

- Токсичність – можливий вміст важких металів або інших шкідливих компонентів у промислових відходах вимагає ретельного аналізу.
- Правові аспекти – використання будівельних та промислових відходів регулюється законодавством, яке вимагає дотримання екологічних стандартів.
- Технологічні обмеження – підготовка відходів до використання (дроблення, очищення, транспортування) потребує ресурсів.

РОЗДІЛ 3. РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ ЗА ДОПОМОЮ ВІДХОДІВ ВІД РУЙНУВАНЬ ЯК ЕЛЕМЕНТ РЕГІОНАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

3.1. Характеристика відходів від руйнувань, придатних для рекультивації

Виходячи з нормативно встановленої вимоги щодо сортування відходів від руйнувань, можна вважати доведеним, що придатними для рекультивації є інертні матеріали, до яких належать бетон, цегла, асфальт і кераміка.

Використання будівельних відходів, таких як бетонні, цегляні та асфальтні уламки, є важливою темою для досліджень у сфері сталого будівництва та екології. Аналіз наукових джерел показує, що переробка цих матеріалів не лише знижує обсяги відходів, а й сприяє впровадженню кругової економіки та збереженню природних ресурсів.

Так, І.Городній зазначає, що бетон становить до 52% від загального обсягу будівельних відходів, цегла — 32%, а асфальт — близько 8%. Використання переробленого бетону як заповнювача дозволяє зменшити витрати на будівництво та знизити використання природного щебеню на 25% [25, 38-42].

Дослідження О.Поліщука щодо утилізації бетонних уламків на деокупованих територіях акцентує увагу на екологічних та економічних аспектах їхньої переробки. Автор наголошує на необхідності сортування та очищення таких відходів, а також розробки стратегії їхнього повторного використання у дорожньому будівництві та виробництві нових бетонних

конструкцій. Особливу увагу приділено впливу таких заходів на зменшення викидів CO₂ та запровадження екологічно дружніх технологій [26, 33-35].

Огляд європейського досвіду переробки будівельних відходів демонструє високу ефективність технологій ресайклінгу. У Франції, наприклад, до 90% таких відходів перетворюється на матеріали, придатні для повторного використання. Зокрема, бетонні уламки переробляють у щебінь для дорожніх основ, а цегляні фрагменти застосовують у дренажних системах [27].

Використання асфальтних уламків у дорожньому будівництві описано в контексті енергозбереження та покращення характеристик дорожніх покриттів. Дослідження підтверджують, що додавання переробленого асфальту до нових асфальтобетонних сумішей забезпечує високу міцність покриття та зменшує витрати на виробництво [28].

Отже, бетонні уламки є основною складовою відходів від руйнувань, які утворюється під час демонтажу або руйнування споруд. Їх характеристики залежать від типу будівельних конструкцій, складу бетону та умов його експлуатації.

При цьому, розмір уламків може варіюватися від дрібних часток (0,1–5 мм) до великих шматків (понад 1 м), а форма залежить від типу руйнування: уламки можуть бути нерівномірними, з гострими краями, або мати частково згладжені форми після механічного подрібнення. Насипна щільність бетонних уламків становить приблизно 1400–1800 кг/м³. Щільність залежить від типу заповнювача в бетоні (граніт, вапняк, пісок). Бетонні уламки мають середню пористість, яка залежить від початкового складу бетону та впливу зовнішніх умов. Пористість може досягати 5–20%, що впливає на водопоглинання. Водопоглинання зазвичай становить 2–8% залежно від пористості матеріалу та структури уламків. Уламки бетону зберігають частину початкової міцності, яка може досягати 10–30 МПа. Залишкова міцність залежить від рівня деградації та тріщинуватості матеріалу. Зносостійкість залишається високою, особливо для уламків із щільного бетону, що містить гранітний заповнювач.

Ударна міцність може бути зниженою через наявність тріщин, викликаних процесом руйнування.

Щодо хімічних характеристик, то бетонні уламки включають цементний камінь, заповнювачі (граніт, вапняк, кварц) та домішки. Вміст цементу становить 10–25%, заповнювача — 70–85%. Матеріал має високу лужність через залишки цементного розчину (рН 11–13). Уламки можуть містити домішки (метал, пластик, штукатурка), що знижує їх придатність до повторного використання без попереднього очищення.

Цегляні уламки, що утворюються під час демонтажу будівель, є одним із найпоширеніших видів будівельного сміття. Їхні фізико-хімічні характеристики залежать від типу цегли, умов експлуатації та технології руйнування конструкцій. Як правило, уламки мають нерівномірну форму з гострими краями, а їх розміри можуть варіюватися від дрібних фрагментів до великих шматків. Завдяки високій щільності, яка становить 1500–1800 кг/м³, вони є міцними і довговічними, хоча й поступаються бетонним уламкам у стійкості до ударів через свою крихкість.

Важливою властивістю цегляних уламків є їхня пористість, яка впливає на водопоглинання та морозостійкість. У глиняної цегли пористість становить приблизно 10–25%, тоді як у силікатної – до 35%. Це дозволяє матеріалу вбирати від 8% до 18% води, залежно від складу та структури. Уламки глиняної цегли зазвичай мають нейтральний або слабокислий рН, тоді як силікатна цегла може бути більш лужною. Хімічний склад уламків визначається основними компонентами цегли – глиною, піском, вапном або іншими домішками, а також можливими залишками будівельного розчину чи штукатурки.

Асфальтні уламки, які виникають під час демонтажу доріг, тротуарів або інших споруд, мають низку унікальних характеристик, що дозволяють їх використовувати повторно. Ці матеріали часто стають основою для дорожнього будівництва, рекультивації порушених земель і створення будівельних сумішей. Їх розміри варіюються від дрібних часток до великих

шматків, розміром до 300 мм. Уламки зазвичай мають нерівні форми та гострі краї.

Щільність асфальтних уламків залежить від початкового складу асфальтобетону, зокрема від типу мінерального наповнювача (граніт, пісок) і бітумного в'язучого. В середньому, їх насипна щільність коливається в межах 1200–1500 кг/м³. Невелика пористість уламків забезпечує низьке водопоглинання, яке зазвичай не перевищує 1–4%. Це робить матеріал стійким до вологого середовища та низьких температур, що є особливо важливим для повторного застосування у дорожніх роботах.

Механічні властивості асфальтних уламків залишаються на високому рівні завдяки міцності заповнювача та залишковим властивостям бітуму. Уламки мають високу зносостійкість і здатність витримувати навантаження, хоча міцність може знижуватися через старіння бітуму, вплив ультрафіолету або перепади температур.

Хімічний склад уламків включає мінеральні матеріали й залишки бітуму, який, залежно від експлуатаційних умов, частково втрачає свої властивості. Проте бітум можна відновити, використовуючи спеціальні регенератори або додаючи нові бітумні компоненти. Це забезпечує можливість ресайклінгу уламків для повторного використання в асфальтобетонних сумішах.

3.2. Технології переробки відходів від руйнувань для рекультивації

Переробка інертних матеріалів (бетон, цегла, асфальт і кераміка) як складової відходів від руйнувань, є важливим етапом у забезпеченні екологічної безпеки та сталого розвитку. Одними з основних методів переробки є подрібнення та сепарація, які дозволяють підготувати відходи від руйнувань для повторного використання в будівництві або рекультивації порушених земель.

Подрібнення є одним із базових технологічних процесів у переробці інертних матеріалів. Його метою є зменшення розміру уламків до необхідних фракцій, що робить їх придатними для різних сфер застосування. Цей процес виконується за допомогою спеціалізованого обладнання, такого як щоківі, конусні та ударні дробарки.

Щоківі дробарки використовуються для первинного подрібнення великих уламків бетону або цегли. Вони є надійними та продуктивними, проте отримані матеріали мають нерівномірну форму. Конусні дробарки застосовуються для вторинного подрібнення та дозволяють отримати однорідніші фракції. Водночас ударні дробарки забезпечують високу ступінь подрібнення та формують матеріал із кубовидними зернами, що особливо цінно для виробництва якісних бетонних сумішей. Після подрібнення матеріали сортуються за розмірами та очищуються від сторонніх домішок, таких як арматура, дерево або пластик.

Сепарація є важливим додатковим етапом переробки будівельних відходів, який дозволяє відокремити корисні компоненти від домішок. Цей процес здійснюється на основі різниці у фізичних властивостях матеріалів, таких як вага, магнітні властивості або щільність.

Магнітна сепарація широко використовується для вилучення металевих елементів, таких як арматура або інші феромагнітні матеріали. Це дозволяє підвищити чистоту бетонних уламків, які потім можна використовувати як заповнювач у будівельних сумішах.

Гравітаційна сепарація застосовується для поділу матеріалів за щільністю. Наприклад, дрібні частки, такі як пісок або пилоподібні залишки, можуть бути відокремлені від більш великих уламків бетону або цегли. Такий підхід забезпечує високу якість отриманого продукту для його подальшого використання в будівництві або рекультивації земель.

Подрібнені та сепаровані будівельні відходи широко застосовуються в процесах рекультивації порушених територій. Вони є ефективним матеріалом

для формування вирівнювальних шарів, основ дорожніх покриттів або дренажних систем.

Бетонні уламки після подрібнення та очищення служать якісною заміною природному щебеню. Їх використовують у дорожньому будівництві або для стабілізації рельєфу під час рекультивації. Цегляні фрагменти, завдяки своїй пористій структурі, можуть покращувати водопроникність ґрунту або слугувати основою для легких бетонів. Асфальтні уламки після регенерації бітуму часто повторно застосовують у виробництві нових асфальтобетонних сумішей.

Подрібнення та сепарація є ключовими технологіями в переробці будівельних відходів, які сприяють отриманню якісних вторинних матеріалів для використання в будівництві та рекультивації земель. Завдяки впровадженню цих процесів можна значно зменшити екологічне навантаження та забезпечити економічну ефективність реалізації рекультиваційних проектів.

3.3. Використання відновлених відходів від руйнувань як спосіб рекультивації полігонів твердих промислових відходів

Вторинний щебінь, отриманий із перероблених відходів від руйнувань, таких як уламки бетону, цегли та асфальту, є цінним матеріалом для відновлення порушених земель. Завдяки своїм фізико-механічним властивостям він забезпечує ефективне вирівнювання поверхні, сприяючи екологічному та економічному вирішенню проблем рекультивації. Матеріал зберігає високу міцність і стійкість до механічних навантажень, що дозволяє використовувати його для створення стабільної основи на порушених територіях. Добра водопроникність вторинного щебеню робить його ефективним у створенні дренажних систем, а можливість отримання різноманітних фракцій після подрібнення дозволяє адаптувати матеріал до різних потреб.

Процес застосування вторинного щебеню розпочинається з підготовки матеріалу, що включає його подрібнення та очищення від домішок, таких як метал чи пластик. Для цього використовують технології магнітної сепарації та інші методи, які забезпечують якісне відділення небажаних елементів. Отриманий щебінь рівномірно розподіляють по поверхні порушених територій, створюючи вирівнювальний шар. Подальше ущільнення важкою технікою гарантує стабільність основи та запобігає осіданню матеріалу.

Використання вторинного щебеню дає змогу значно знизити витрати на природні матеріали, адже переробка будівельних відходів забезпечує скорочення витрат на транспортування та утилізацію сміття. Застосування цього ресурсу також сприяє збереженню природних ресурсів, що особливо актуально в умовах зростаючого екологічного навантаження. Окрім того, вторинний щебінь є важливим інструментом для відновлення порушених територій, адже він створює надійну основу для подальшого озеленення чи будівництва.

Попри всі переваги, використання вторинного щебеню вимагає ретельного контролю якості матеріалу. Це передбачає перевірку на наявність небезпечних домішок, таких як важкі метали чи залишки хімічних речовин, що можуть негативно вплинути на екологічну безпеку. Окрім цього, процес переробки будівельних відходів вимагає наявності спеціалізованого обладнання, яке не завжди доступне в певних регіонах.

Європейські країни, зокрема Німеччина та Нідерланди, демонструють успішний досвід використання вторинного щебеню в рекультивації. У цих країнах матеріал широко застосовують для вирівнювання кар'єрів, облаштування полігонів твердих побутових відходів та відновлення інших порушених територій. Практика показує, що належна організація процесу переробки відходів сприяє зниженню екологічного навантаження та підвищенню ефективності відновлення земель.

Використання вторинного щебеню у рекультивації є одним із найперспективніших підходів до відновлення порушених територій. Його

застосування дозволяє не лише вирішувати проблеми утилізації будівельних відходів, але й зменшувати навантаження на природні ресурси. У контексті України впровадження цієї практики може суттєво покращити результати рекультиваційних проектів, сприяючи екологічній безпеці та сталому розвитку.

3.4. Екологічна безпека використання відходів від руйнувань

Використання вторинного щебеню і гравію, отриманого при переробці будівельних відходів та відходів від руйнувань, є важливим аспектом сучасного будівництва, що сприяє збереженню природних ресурсів та зменшенню екологічного навантаження. Проте застосування такого матеріалу вимагає дотримання певних екологічних вимог, які регламентуються державними стандартами та нормативними документами України.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-75-98 «Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови», щебінь повинен відповідати встановленим технічним характеристикам, зокрема щодо міцності, морозостійкості та зернового складу[29]. Хоча цей стандарт стосується природного щебеню, аналогічні вимоги застосовуються і до вторинного матеріалу, особливо якщо він використовується як крупний заповнювач для важких бетонів або в дорожньому будівництві [30]. Особливу увагу слід приділяти радіаційній безпеці вторинного щебеню. Згідно з ДБН В.1.2-8:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Гігієна, здоров'я та захист довкілля», матеріали, що застосовуються в будівництві, повинні мати контрольований рівень сумарної активності природних радіонуклідів. Це забезпечує мінімізацію радіаційного впливу на людину та довкілля [31].

Вторинний щебінь може містити залишки будівельних матеріалів, які включають шкідливі хімічні сполуки. ДСТУ Б В.2.7-35-95 «Будівельні матеріали. Щебінь, пісок та щебенево-піщана суміш з доменних та

сталеплавильних шлаків для загальнобудівельних робіт. Загальні технічні умови» встановлює допустимий вміст шкідливих сполук і домішок у таких матеріалах. Хоча цей стандарт стосується шлакових матеріалів, його положення можуть бути застосовані й до вторинного щебеню з метою контролю хімічної безпеки.

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-35-95, щебінь, пісок та щебенево-піщана суміш не повинні бути горючими чи вибухонебезпечними, а також не повинні виділяти шкідливих парів та газів під час зберігання. Ці вимоги спрямовані на забезпечення безпеки працівників та охорону навколишнього середовища під час використання вторинного щебеню.

Впровадження екологічних стандартів у будівельній галузі сприяє ефективному використанню ресурсів, включаючи переробку та повторне використання матеріалів. Це дозволяє зменшити викиди парникових газів та інші негативні впливи на довкілля. Використання вторинного щебеню відповідає цим принципам, однак необхідно забезпечити, щоб матеріал відповідав встановленим екологічним вимогам [32].

Використання вторинного щебеню в будівництві, зокрема, як матеріалу для вирівнюючого шару при рекультивації земель і в якості підсипки технологічних доріг є перспективним напрямом, що дозволяє зменшити споживання природних ресурсів та мінімізувати екологічні ризики. Проте для забезпечення екологічної безпеки необхідно дотримуватися встановлених державних стандартів та нормативних документів, які регламентують якість, радіаційну та хімічну безпеку матеріалу. Це сприятиме сталому розвитку будівельної галузі та охороні навколишнього середовища.

РОЗДІЛ 4. РЕКУЛЬТИВАЦІЯ БАЛКИ ПТАШИНА: ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ТА РОЗРАХУНКИ

Рекультивация техногенно-порушених земель є важливим етапом у відновленні екологічного стану територій, що зазнали значних негативних впливів внаслідок господарської діяльності або воєнних дій. Полігони промислових відходів, до яких відноситься і балка Пташина, становлять суттєву загрозу для довкілля через накопичення забруднюючих речовин, порушення рельєфу та деградацію ґрунтів.

4.1 Фізико-географічні умови розташування балки Пташина

Балка Пташина є техногенно-пошкодженою територією, розташованою на північному заході від міста Дніпро, неподалік залізничної колії Сухачівка – Дніпро та колишньої залізничної станції Войцехово. Її географічне положення визначає особливості рельєфу, кліматичних умов, ґрунтового покриву, а також гідрологічних та екологічних характеристик. Загальна протяжність балки становить 2,2 км, а орієнтація її тягнеться з півночі та північного заходу на південь і південний схід (рис. 4.1).

Балка Пташина є типовим ерозійним утворенням, що сформувалося в результаті тривалих процесів водної ерозії на території степової зони України. Рельєф балки характеризується значним врізанням у навколишній ландшафт – глибина врізання сягає 40-55 м, а ширина дна балки коливається від 75 до 125 м. Схили балки є круті, місцями спостерігаються ознаки зсувів і ерозійних

борозен, що є характерним для територій, які зазнали інтенсивного техногенного навантаження.

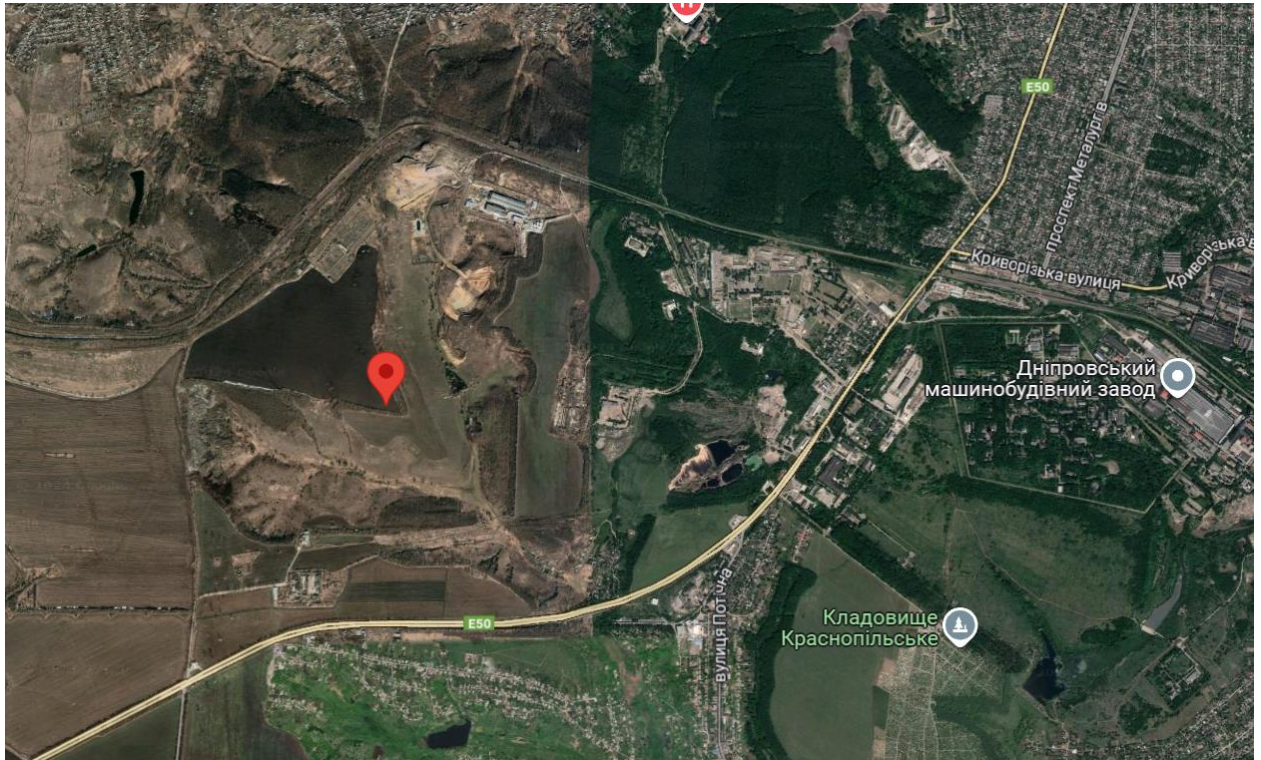


Рис. 4.1 - Місце розташування балки Пташина

На дні балки переважають відкладення сучасних делювіальних і алювіальних порід, які утворилися внаслідок переміщення ґрунтового матеріалу зі схилів. Верхні горизонти складаються переважно з суглинків, супісків та глин, що зумовлює неоднорідність структури ґрунтового покриву та його піддатливість до ерозійних процесів.

Територія балки Пташина розташована у помірно континентальному кліматичному поясі, що характеризується чітко вираженою сезонністю. Середньорічна температура повітря становить близько $+9...+10^{\circ}\text{C}$, а кількість опадів коливається у межах 450-550 мм на рік. Більшість опадів випадає у теплий період (з травня по вересень), що сприяє активізації ерозійних процесів, особливо на схилах балки.

Взимку середні температури повітря складають близько $-5...-7^{\circ}\text{C}$, що може призводити до замерзання ґрунтів, особливо на відкритих територіях. Сильні вітри, характерні для степових регіонів, нерідко посилюють вітрову ерозію на схилах балки, що додає проблем для подальшого її рекультивації.

Ґрунти території балки представлені переважно чорноземами звичайними та еродованими ґрунтами, які зазнали значної деградації внаслідок інтенсивної ерозії. У нижній частині балки зустрічаються делювіальні відкладення з ознаками заболоченості через накопичення вологи на рівні подошви балки. Ґрунтовий покрив є неоднорідним, а в місцях, де спостерігається накопичення будівельних відходів, природний ґрунт частково або повністю знищений.

У результаті техногенного впливу родючий шар ґрунту в балці Пташина частково втрачений, що ускладнює процес відновлення рослинного покриву та вимагає заходів з його рекультивації та збагачення поживними речовинами.

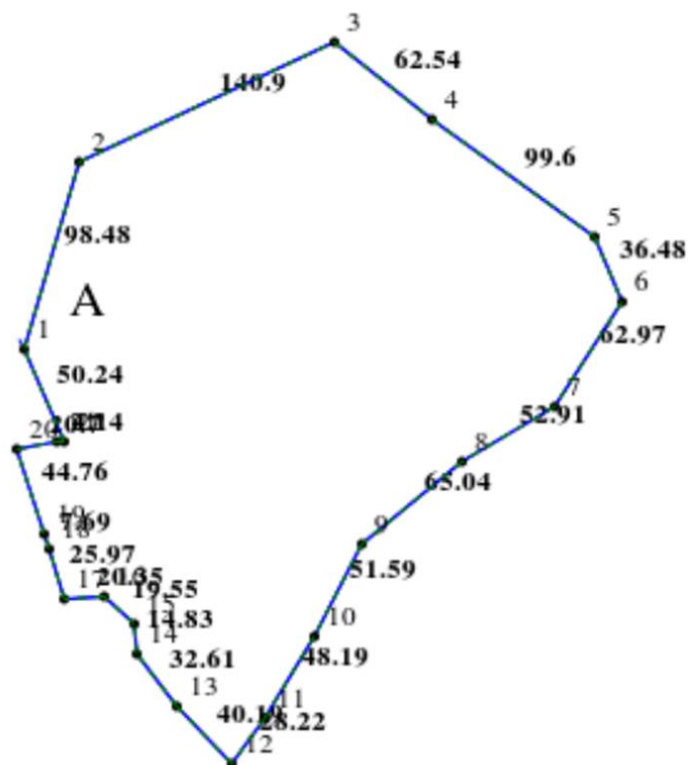


Рис. 4.2 - Кадастровий план земельної ділянки

Водний режим балки Пташина визначається сезонними опадами та підземними водами, які живлять її нижні горизонти. На території балки відсутні постійні водотоки, проте в період інтенсивних дощів чи танення снігу формуються тимчасові струмки, що стікають по дну балки та сприяють подальшому вимиванню ґрунтів. Це призводить до посилення ерозійних процесів і подальшої деградації схилів.

Підземні води залягають на глибині 5-15 м, залежно від ділянки балки. У нижній частині балки спостерігається їхнє підняття, що призводить до періодичного заболочування окремих ділянок та ускладнює виконання технічних робіт.



Рис. 4.2 – Загальний вигляд балки Пташина

Флора балки Пташина представлена переважно степовою рослинністю: ковилою, пирієм, полином та іншими трав'янистими рослинами, які пристосовані до сухих умов і нестійких ґрунтів. У місцях збереження ґрунтового покриву ростуть поодинокі кущі та молоді дерева, такі як акація, клен татарський, верба та глід.

Фауна балки є бідною через значний антропогенний вплив, але зустрічаються типові для степової зони види: гризуни (миші, полівки), ящірки, птахи (жайворонки, сороки, ворони) та комахи. У результаті бойових дій та техногенного навантаження чисельність тваринного світу значно зменшилася.

Балка Пташина є типовим геоморфологічним утворенням степової зони з характерними особливостями рельєфу, клімату та ґрунтового покриву. Наслідки техногенного впливу та бойових дій призвели до значної деградації території, посилення ерозійних процесів і часткового знищення природного середовища. Проведення рекультиваційних робіт на території балки потребує врахування фізико-географічних умов, включно з особливостями рельєфу, водного режиму, ґрунтів і кліматичних умов, для успішного відновлення екологічної рівноваги та забезпечення сталого розвитку території.

4.2 Загальні положення щодо рекультивації балки Пташина

Рекультивація полігонів промислових відходів є комплексним процесом, що передбачає технічні та біологічні заходи для відновлення земель до стану, придатного для подальшого використання. Відновлення таких територій має екологічну, економічну та соціальну значимість:



Основною стратегічною метою рекультивації балки є вирівнювання рельєфу за допомогою відходів будівельного походження, які утворилися внаслідок руйнування будівель і споруд під час бойових дій, а також забезпечення екологічно безпечного відновлення ґрунтового покриву та рослинності. Такий підхід дозволяє одночасно вирішити дві важливі проблеми: утилізацію великої кількості будівельних відходів, які створюють

екологічне навантаження на регіон, та покращення стану техногенно-пошкоджених територій.

Рекультивація балки Пташина передбачає реалізацію низки важливих завдань. Першочерговим завданням є вирівнювання рельєфу балки, де спостерігаються значні депресії, зсуви ґрунту та інші порушення поверхні. Це досягається шляхом використання фрагментів будівельних конструкцій, таких як бетонні уламки, цегляний бій та інші інертні відходи, які є безпечними для довкілля. Наступним завданням є стабілізація поверхні балки та підготовка її до біологічної рекультивації, що передбачає створення родючого шару ґрунту та закріплення його рослинністю, здатною запобігати подальшим процесам ерозії та зсувам ґрунту.

Особливу увагу слід приділити поліпшенню фізико-хімічних характеристик ґрунту на території балки, оскільки техногенне навантаження призводить до деградації ґрунтів, їх ущільнення та зниження родючості. Для цього на заключному етапі рекультивації планується внесення родючого шару ґрунту, компостованих органічних матеріалів або біодобавок для створення сприятливих умов для росту рослин.

Завданням біологічного етапу рекультивації є відновлення рослинного покриву балки Пташина. Висівання багаторічних трав та створення фітомеліоративних насаджень дозволить закріпити верхній шар ґрунту, зменшити ризики ерозії, а також поступово відновити природні процеси самоочищення ґрунту. Біологічний етап є ключовим для досягнення довгострокової екологічної стабільності території.

Таким чином, реалізація рекультиваційних заходів у балці Пташина спрямована на перетворення деградованої території в екологічно стійкий ландшафт, що сприятиме відновленню біорізноманіття, поліпшенню санітарно-гігієнічного стану території та підвищенню її потенціалу для подальшого використання. Комплексний підхід до вирішення проблеми передбачає як технічні рішення, так і біологічні заходи, які у сукупності

забезпечать ефективне відновлення балки та зменшення негативного впливу будівельних відходів на навколишнє середовище.

4.3. Використання будівельних відходів у рекультивації

Традиційні методи технічного етапу рекультивації передбачають використання супісків і глин для вирівнювання рельєфу та планування техногенно-порушених територій. Для рекультивації балки Пташина необхідно використати 57297 м³ супісків та глин із питомою вагою 2000 кг/м³. Застосування таких матеріалів є стандартним, однак цей метод супроводжується значними витратами на транспортування, видобуток і розробку кар'єрів, що створює додатковий техногенний тиск на природне середовище. Видобуток супісків і глин потребує порушення нових територій, а також збільшує обсяг робіт з логістики, що не відповідає сучасним принципам сталого розвитку та раціонального природокористування.

З огляду на вищезазначене, у кваліфікаційній роботі пропонується заміна традиційних матеріалів – супісків і глин – на будівельні відходи, які утворилися внаслідок руйнування будівель і споруд під час бойових дій. Такий підхід є екологічно обґрунтованим і економічно вигідним, оскільки дозволяє вирішити дві ключові проблеми: утилізацію значних обсягів будівельного сміття та відновлення техногенно-порушеної території балки Пташина. Крім того, застосування будівельних відходів як альтернативи природним матеріалам дозволяє зменшити техногенне навантаження на кар'єри й природні ресурси регіону.

Для рекультивації території балки Пташина пропонується використання таких типів будівельних матеріалів:

Бетонні уламки великої фракції – використовуються для заповнення значних нерівностей та депресій на території балки. Завдяки своїй високій

механічній міцності бетонні уламки утворюють надійну основу для наступних етапів рекультивації.

Цегляний бій дрібної фракції – застосовується для створення вирівнюючого шару товщиною до 20-30 см. Цегляний бій має добру стійкість до руйнування, не піддається ерозії та є безпечним для довкілля, що робить його ефективним матеріалом для рекультивації.

Щебінь та асфальтобетонні залишки – використовуються як додатковий компонент для стабілізації рельєфу та створення ущільненої поверхні.

Заміна 57297 м³ супісків та глин на будівельні матеріали забезпечить необхідний обсяг технічних робіт для вирівнювання території балки Пташина, зберігаючи її технічні параметри та характеристики. Питома вага будівельних відходів є співставною з питомою вагою традиційних матеріалів (2000 кг/м³), що дозволяє повною мірою досягти технічних вимог до рекультивації. Крім того, будівельні матеріали, на відміну від природних супісків та глин, мають нижчі витрати на доставку, оскільки можуть бути зібрані та підготовлені з локальних джерел, де зберігаються руїни будівель і споруд.

Процес заміни традиційних матеріалів на будівельні відходи включає декілька етапів:

Попередня підготовка будівельних матеріалів – сортування, дроблення та очищення будівельного сміття для забезпечення необхідної фракції.

Транспортування будівельних відходів на територію балки.

Заповнення нерівностей та планування поверхні – бетонні уламки використовуються для крупного заповнення, цегляний бій і щебінь – для фінального вирівнювання рельєфу.

Важливим екологічним аспектом цього підходу є можливість значного зменшення навантаження на полігони твердих побутових відходів (ТПВ), де накопичується будівельне сміття. Використання будівельних відходів у рекультивації балки Пташина сприяє зменшенню площі полігонів і мінімізує викиди парникових газів, які виникають у процесі транспортування й

зберігання будівельного сміття. Таким чином, реалізація цього технологічного рішення забезпечує поєднання економічної ефективності та екологічної безпеки.

У підсумку, запропоноване рішення щодо використання будівельних матеріалів замість супісків і глин дозволяє не лише ефективно виконати технічний етап рекультивації балки Пташина, а й сприяє раціональному використанню вторинних ресурсів, зменшенню впливу на природні ландшафти та створенню екологічно стійкого середовища на місці техногенно-порушеної території.

4.4. Розрахунки технічного етапу рекультивації

Технічний етап рекультивації є першим і найважливішим етапом відновлення техногенно-пошкоджених територій. Його основна мета полягає у вирівнюванні рельєфу, створенні стабільної основи для подальшого біологічного етапу, запобіганні ерозійним процесам та підготовці території для відновлення рослинного покриву. Зазвичай на цьому етапі застосовуються природні матеріали, такі як супіски та глини, що мають відповідні фізико-механічні властивості. Однак їх видобуток, транспортування та використання пов'язані з високими економічними витратами та негативним впливом на навколишнє середовище. Враховуючи сучасні екологічні виклики, актуальним є пошук альтернативних матеріалів, зокрема будівельних відходів, які можуть виконувати аналогічні функції.

Рекультиваційні роботи виконуються поетапно із залученням будівельної техніки, такої як бульдозери, екскаватори та інші механізми. До основних робіт технічного етапу належать:

1. Розбивання ділянки – підготовка території до проведення робіт шляхом маркування меж і розподілу ділянок для подальшого внесення матеріалів.

2. Зрізання ґрунту бульдозером – усунення існуючих нерівностей поверхні та зняття верхнього шару ґрунту з пошкоджених ділянок.

3. Вигрібання сміття екскаватором – прибирання великих уламків і техногенних відходів, що накопичилися на поверхні.

4. Формування штабелів будівельних матеріалів – створення рівномірного вирівнюючого шару за допомогою будівельної техніки.

5. Покривання матеріалу верхнім шаром землі – нанесення заключного покривного шару, що дозволяє стабілізувати територію та підготувати основу для біологічного етапу.

Розрахунок часу виконання робіт та витрат палива є ключовими для оцінки ефективності технічного етапу. Загальний час роботи машин для кожного виду робіт обчислюється за формулою:

$$T = V \times N, \quad (4.1)$$

де:

T – загальний час роботи (машино-години),

V – обсяг робіт,

N – норма часу (маш.-год/одиницю обсягу).

Час роботи для основних робіт:

Розбивання ділянки:

$$T_{\text{розбивання}} = 62000 \text{ м}^2 \times 0.25 \text{ маш.-год}/100 \text{ м}^2 = 155 \text{ маш.-год.}$$

Зрізання ґрунту бульдозером:

$$T_{\text{зрізання}} = 2.769 \text{ тис. м}^3 \times 5.6 \text{ маш.-год}/1000 \text{ м}^3 = 15.51 \text{ маш.-год.}$$

Вигрібання сміття екскаватором:

$$T_{\text{вигрібання}} = 20.767 \text{ тис. м}^3 \times 8.5 \text{ маш.-год}/1000 \text{ м}^3 = 176.52 \text{ маш.-год.}$$

Формування штабелів будівельними матеріалами:

$$T_{\text{формування}} = 41.53 \text{ тис. м}^3 \times 4.7 \text{ маш.-год}/1000 \text{ м}^3 = 195.19 \text{ маш.-год.}$$

Покривання штабелів землею:

$$T_{\text{покриття}} = 46.085 \text{ тис. м}^2 \times 2.0 \text{ маш.-год/1000 м}^2 = 92.17 \text{ маш.-год.}$$

Загальний час роботи становить 634.39 маш.-год.

Паливні витрати обчислюються за формулою:

$$F = T \times C, \quad (4.2)$$

де:

F – витрати палива (л),

T – час роботи, маш.-год,

C – витрати палива на одну машино-годину (л/маш.-год).

Загальні витрати палива становлять - 8750.16 л.

У ході розрахунків технічного етапу рекультивації балки Пташина було визначено основні обсяги робіт, час виконання робіт будівельною технікою та витрати палива. Загальний час роботи техніки склав 634.39 машино-годин, а витрати палива – 8750.16 літрів.

Розрахунки показали, що технічний етап включає п'ять основних операцій: розбивання ділянки, зрізання ґрунту, вигрібання сміття, формування штабелів матеріалів і покривання штабелів верхнім шаром землі. Використання будівельної техніки забезпечує ефективне вирівнювання рельєфу, стабілізацію поверхні та створення умов для подальшого біологічного етапу рекультивації.

Отримані результати підтверджують доцільність залучення сучасної будівельної техніки для виконання робіт, а також вказують на необхідність оптимізації ресурсів для мінімізації витрат часу та палива. Технічний етап є основою для відновлення території, і його якісне виконання дозволяє досягти високих показників стійкості та готовності ділянки для відновлення рослинності та інших біологічних процесів.

4.5. Економічний аналіз двох варіантів рекультивації

Економічний аналіз є важливим етапом при виборі оптимальної технології рекультивації, оскільки він дозволяє визначити фінансову ефективність кожного варіанту, враховуючи витрати на видобуток, транспортування та укладання матеріалів. У контексті рекультивації балки Пташина було розглянуто два методи: традиційний метод з використанням супісків і глин та запропонований метод, який передбачає використання будівельних відходів (бетонні уламки, цегляний бій, інертні відходи). Обидва методи забезпечують однаковий технічний результат, але відрізняються за економічними показниками та впливом на довкілля.

Традиційний метод рекультивації базується на використанні природних матеріалів – супісків і глин, що мають відповідні фізико-механічні властивості. Проте цей метод пов'язаний зі значними витратами на видобуток, транспортування та укладання матеріалів.

1. Витрати на видобуток супісків і глин:

Середня вартість видобутку супісків і глин у кар'єрах становить 370 грн/м³. З урахуванням обсягу робіт (57297 м³) загальні витрати на видобуток матеріалів обчислюються так:

$$C_{\text{видобуток}} = 370 \text{ грн/м}^3 \times 57\,297 \text{ м}^3 = 21\,200\,890 \text{ грн}$$

2. Витрати на транспортування:

Вартість транспортування супісків і глин на відстань до 30 км становить 200 грн/м³. Загальні витрати:

$$C_{\text{транспорт}} = (200 \text{ грн/100 км}) \times (30 \text{ км} / 100 \text{ км}) \times 57\,297 \text{ м}^3 = 3\,437\,820 \text{ грн}$$

3. Витрати на укладання матеріалу:

Вартість укладання природних матеріалів за допомогою бульдозера становить 50 грн/м³. Загальні витрати:

$$C_{\text{укладання}} = 57297 \times 50 = 2864850 \text{ грн.}$$

Загальні витрати становлять = 21 200 890 грн + 3 437 820 грн + 2 864 850 грн = 27 503 560 грн

Традиційний метод, хоча й забезпечує необхідні технічні результати, має низку недоліків. По-перше, видобуток супісків і глин призводить до руйнування кар'єрів, порушення ландшафту та знищення природних екосистем. По-друге, через значні витрати на видобуток та транспортування природних ресурсів плануються високі фінансові витрати. По-третє, транспортування матеріалів великими обсягами потребує використання важкої техніки, що призводить до зносу доріг та збільшення викидів CO₂.

Запропонований метод передбачає використання будівельних відходів, що утворилися внаслідок руйнування будівель і споруд під час бойових дій. Будівельні відходи включають бетонні уламки, цегляний бій та інші інертні матеріали, які є безпечними для довкілля та можуть виконувати функції супісків і глини при рекультивації. Використання цих відходів дозволяє знизити навантаження на полігони твердих побутових відходів та водночас зменшити витрати на матеріали.

1. Витрати на підготовку будівельних матеріалів:

Підготовка будівельних відходів (сортування, дроблення) коштує 100 грн/м³. Загальні витрати на підготовку становлять:

$$C_{\text{підготовка}} = 100 \text{ грн/м}^3 \times 57\,297 \text{ м}^3 = 5\,729\,700 \text{ грн}$$

2. Витрати на транспортування:

Будівельні відходи зазвичай розташовані ближче до місця проведення робіт, що знижує витрати на транспортування. Вартість транспортування становить 200 грн/м³:

$$C_{\text{транспорт}} = (200 \text{ грн/100 км}) \times (30 \text{ км} / 100 \text{ км}) \times 57\,297 \text{ м}^3 = 3\,437\,820 \text{ грн}$$

3. Витрати на укладання матеріалу:

Вартість укладання будівельних матеріалів аналогічна традиційному методу – 50 грн/м³:

$$C_{\text{укладання}} = 57297 \times 50 = 2864850 \text{ грн.}$$

Загальні витрати за запропонованим методом становлять 5 729 700 грн + 3 437 820 грн + 2 864 850 грн = 12 032 370 грн

Таблиця 4. Порівняльний аналіз економічних витрат

Показник	Традиційний метод (грн)	Запропонований метод (грн)
Вартість видобутку/підготовки	21 200 890	5 729 700
Вартість транспортування	3 437 820	3 437 820
Вартість укладання	2 864 850	2 864 850
Загальні витрати	27 503 560	12 032 370

Різниця між традиційним та запропонованим методом становить:

$$\Delta C = 27\,503\,560 \text{ грн} - 12\,032\,370 \text{ грн} = 15\,471\,190 \text{ грн}$$

Економічний аналіз двох варіантів технічного етапу рекультивації балки Пташина, проведений на основі актуальних і достовірних даних, показав значну економічну вигоду при використанні будівельних відходів у порівнянні з традиційним методом із застосуванням супісків і глин.

Згідно з розрахунками:

Загальні витрати при традиційному методі складають 27 503 560 грн, що включає витрати на видобуток, транспортування та укладання супісків і глин.

Загальні витрати при запропонованому методі, де використовуються будівельні відходи, становлять 12 032 370 грн, включаючи підготовку, транспортування та укладання матеріалів.

Економія при застосуванні будівельних відходів становить 15 471 190 грн, або майже 56% від загальних витрат традиційного методу.

Крім значної економічної вигоди, запропонований метод має низку екологічних переваг:

Зменшення навантаження на природні ресурси завдяки відмові від видобутку супісків і глини.

Раціональне використання будівельних відходів, що сприяє зменшенню їх накопичення на полігонах твердих побутових відходів.

Зниження енергетичних витрат і викидів CO₂ за рахунок скорочення обсягів транспортування та видобутку природних матеріалів.

Таким чином, використання будівельних відходів для технічного етапу рекультивації не лише забезпечує суттєву економічну ефективність, але й відповідає принципам сталого розвитку, сприяє раціональному природокористуванню та вирішує проблеми утилізації техногенних відходів. Запропонований метод є доцільним як з економічної, так і з екологічної точок зору, що робить його оптимальним рішенням для рекультивації техногенно-пошкоджених територій.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ У УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Організація робіт з рекультивації техногенно-пошкоджених територій, зокрема балки Пташина, вимагає підвищеної уваги до охорони праці та техніки безпеки. У зв'язку з діючим воєнним станом в Україні та наслідками бойових дій, на території можуть існувати додаткові небезпеки, пов'язані з наявністю вибухонебезпечних предметів, нестабільністю ґрунтів, руйнуванням інфраструктури та загрозами для життя працівників. Тому першочерговим завданням є забезпечення комплексного підходу до охорони праці, включно з організаційними, технічними, протипожежними та санітарно-гігієнічними заходами.

Перед початком робіт територія повинна бути ретельно обстежена спеціалістами ДСНС або саперами на наявність нерозірваних боєприпасів та мін. У разі виявлення небезпечних предметів їх необхідно знешкодити та позначити безпечні та небезпечні зони з використанням попереджувальних знаків і тимчасових огорож. До початку будь-яких робіт працівники проходять первинний, повторний та цільовий інструктажі з охорони праці та техніки безпеки. Особлива увага приділяється діям у випадку виявлення вибухонебезпечних предметів, порядку евакуації та використанню системи оповіщення.

На технічному етапі рекультивації, який передбачає роботу з важкою будівельною технікою, необхідно дотримуватися низки технічних заходів безпеки. Уся техніка, включно з бульдозерами, екскаваторами та самоскидами, повинна бути перевірена на справність перед початком робіт, а оператори

техніки – пройти навчання та мати відповідні допуски. Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту: касками, сигнальними жилетами, захисним одягом, рукавицями та взуттям, а у випадках підвищеної запиленості обов'язковим є використання респіраторів. Дотримання безпечної дистанції між технікою та працівниками є обов'язковою умовою для мінімізації ризиків травматизму.

Електробезпека та протипожежні заходи є невід'ємною частиною робіт на території балки. Уся техніка та електричні пристрої повинні мати надійну ізоляцію, заземлення та регулярно перевірятися на справність. Враховуючи роботу з паливом та технічними рідинами, кожна одиниця техніки має бути укомплектована справними вогнегасниками. Паління та використання відкритого вогню на території категорично забороняється. Окрім цього, працівники повинні бути навчені діям у випадку пожежі або загоряння техніки.

В умовах воєнного стану особливо важливим є створення системи оперативного оповіщення про можливі загрози, такі як повітряні тривоги або артилерійські обстріли. На території робіт необхідно облаштувати укриття для працівників, які повинні мати можливість швидко евакуюватися у разі надзвичайної ситуації. Регулярні евакуаційні тренування допоможуть зменшити паніку та забезпечити скоординовані дії працівників у критичних умовах. Також слід організувати медичне забезпечення: на території робіт повинні бути аптечки першої допомоги та чергувати медичний працівник, який зможе надати необхідну допомогу у разі травмування.

Санітарно-гігієнічні умови на робочих місцях є невід'ємною частиною безпеки праці. На території робіт необхідно облаштувати побутові приміщення для відпочинку працівників, прийому їжі та забезпечення особистої гігієни. Слід регулярно проводити прибирання та дезінфекцію робочих зон, забезпечити наявність питної води та засобів для миття рук.

Загалом, успішна реалізація технічного етапу рекультивациі вимагає суворого дотримання заходів з охорони праці та техніки безпеки. В умовах

воєнного стану додаткові загрози вимагають особливої пильності, ефективної координації дій та постійної готовності до надзвичайних ситуацій. Комплексний підхід до охорони праці, включно з організаційними, технічними та санітарними заходами, дозволяє мінімізувати ризики для здоров'я та життя працівників, забезпечити безперервність робіт і сприяти безпечному відновленню техногенно-пошкоджених територій.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

В результаті дослідження було встановлено, що руйнування будівель і споруд внаслідок бойових дій на території України призвели до утворення значних обсягів будівельних відходів. За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, станом на листопад 2023 року їх кількість перевищила 670 тисяч тонн, проте експерти стверджують, що реальні обсяги є значно більшими через недостатнє охоплення даних. У звіті Світового банку (RDNA3) оцінено, що загальна шкода житловому фонду сягає 55,9 мільярдів доларів США, а кількість пошкоджених індивідуальних житлових будинків на грудень 2023 року становить понад 230 тисяч одиниць. Це створює нагальну потребу у пошуку екологічно та економічно обґрунтованих рішень для утилізації цих відходів.

Аналіз показав, що будівельні відходи складаються з таких основних компонентів, як бетон, цегла, деревина, чорні та кольорові метали, а також небезпечні матеріали, зокрема азбест та свинець. Найбільші обсяги серед основних компонентів припадають на бетон (1,391 т/м²) та цеглу (1,092 т/м²). У випадку пожежі відсутність деревини призводить до зменшення загальної норми утворення відходів до 1,903 т/м². Ефективне використання цих відходів для рекультивації техногенно-порушених територій є перспективним рішенням, що дозволяє вирішити дві проблеми одночасно: утилізувати будівельне сміття та відновити екологічну цінність земель.

На прикладі балки Пташиної, розташованої на території Новоолександрівської сільської ради Дніпропетровського району, було розроблено технічні рішення з використанням будівельних відходів для рекультивації. Розрахунки показали економічну ефективність застосування

будівельних відходів у порівнянні з традиційними матеріалами, оскільки це дозволяє значно знизити витрати на придбання піску, суглинку та інших ґрунтоутворюючих порід. Загальні витрати при традиційному методі складають 27 503 560 грн, що включає витрати на видобуток, транспортування та укладання супісків і глин. Загальні витрати при запропонованому методі, де використовуються будівельні відходи, становлять 12 032 370 грн, включаючи підготовку, транспортування та укладання матеріалів. Економія при застосуванні будівельних відходів становить 15 471 190 грн, або майже 56% від загальних витрат традиційного методу.

Крім значної економічної вигоди, запропонований метод має низку екологічних переваг: зменшення навантаження на природні ресурси завдяки відмові від видобутку супісків і глин; раціональне використання будівельних відходів, що сприяє зменшенню їх накопичення на полігонах твердих побутових відходів; зниження енергетичних витрат і викидів CO₂ за рахунок скорочення обсягів транспортування та видобутку природних матеріалів.

Таким чином, використання будівельних відходів для технічного етапу рекультивації не лише забезпечує суттєву економічну ефективність, але й відповідає принципам сталого розвитку, сприяє раціональному природокористуванню та вирішує проблеми утилізації техногенних відходів. Запропонований метод є доцільним як з економічної, так і з екологічної точок зору, що робить його оптимальним рішенням для рекультивації техногенно-пошкоджених територій.

Законодавчий аналіз показав, що в Україні існує базове нормативне регулювання у сфері поводження з відходами руйнувань (постанова КМУ №1073 від 2022 р.), однак воно потребує удосконалення. Зокрема, відсутні чіткі механізми фінансування переробки таких відходів та стимулювання підприємств до впровадження циркулярної економіки.

З огляду на викладене, запропоновано наступні заходи:

Розробка стандартизованої методики оцінки будівельних відходів на основі площі пошкоджених об'єктів та типу використаних матеріалів. Це

дозволить здійснювати точні розрахунки обсягів відходів, необхідних для планування їх подальшого використання.

Створення регіональних центрів переробки будівельних відходів, особливо у постраждалих від бойових дій регіонах. Такі центри повинні включати обладнання для сортування, подрібнення та переробки відходів у вторинні будівельні матеріали, наприклад, щебінь або заповнювач для бетонів.

Запровадження технологій рекультивації техногенно-порушених територій із використанням будівельних відходів. Застосування цих технологій на прикладі балки Пташиної може бути масштабовано на інші регіони України, де є значні порушення рельєфу та ґрунтового покриву.

Вдосконалення законодавчої бази шляхом внесення змін до Закону України «Про управління відходами» з метою стимулювання інвестицій у переробку будівельних відходів, а також створення податкових пільг для підприємств, які використовують перероблені матеріали.

Моніторинг та інвентаризація техногенно-порушених земель із залученням геоінформаційних систем (ГІС). Це дозволить визначити пріоритетні території для проведення рекультивації та оцінити ефективність виконаних робіт.

Міжнародна співпраця для залучення досвіду та фінансування проєктів із рекультивації та переробки будівельних відходів. Особливу увагу слід приділити досвіду Японії, де використовуються ефективні методи оцінки та переробки відходів після стихійних лих.

Просвітницька діяльність та підтримка наукових досліджень у сфері екологічної безпеки та рекультивації. Необхідно розробити рекомендації для місцевих громад щодо організації збору, сортування та використання будівельних відходів.

Впровадження цих заходів забезпечить вирішення актуальної проблеми утилізації відходів від руйнувань, відновлення техногенно-порушених територій та сприятиме сталому розвитку України у післявоєнний період.

ЛІТЕРАТУРА

1. Порядок управління відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022>
2. Від початку повномасштабного вторгнення рф в Україні вже утворилося понад 670 тисяч тонн відходів руйнації [Електронний ресурс] // Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/vid-pochatku-povnomasshtabnogo-vtorgnennya-rf-v-ukrayini-vzhe-utvorylosya-ponad-670-tysyach-tonn-vidhodiv-rujnatsiyi/> (дата звернення: 10.12.2024).
3. В Україні через бойові дії стрімко зростає кількість будівельного сміття: що робити з токсичними відходами [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://news.obozrevatel.com/ukr/society/scho-robity-z-ruinami-kilkist-budivelnogo-smittya-cherez-bojovi-dii-strimko-zrostaе> (дата звернення: 10.12.2024).
4. Третя Швидка Оцінка Завданої Шкоди Та Потреб На Відновлення В Україні: Лютий 2022 – Грудень 2023 [Електронний ресурс] // Світовий банк. Режим доступу: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099030524111036583/p1801741baec2c0b6198b81e9db92d9bd2c> (дата звернення: 10.12.2024).
5. Solís-Guzmán J., Marrero M., Montes-Delgado M.V., Ramírez-de-Arellano A. A Spanish model for quantification and management of construction

waste [Електронний ресурс] // Waste Management. Elsevier. Режим доступу: <https://europemc.org/article/MED/19523801> (дата звернення: 10.12.2024).

6. Bjerregaard, M. Debris management guidelines [Електронний ресурс] // Humanitarian Library, 2010. Режим доступу: <https://www.humanitarianlibrary.org/resource/debris-management-guidelines-1>

7. Сатін І., Панченко О., Фляшовський В. Методичні рекомендації щодо визначення обсягів утворення відходів, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій.

8. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 № 5403-17 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>.

9. Про управління відходами: Закон України від 21.06.2020 № 2320-20 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>.

10. Про компенсацію за пошкодження та знищення окремих категорій об'єктів нерухомого майна внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій, спричинених збройною агресією Російської Федерації проти України, та Державний реєстр майна, пошкодженого та знищеного внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій, спричинених збройною агресією Російської Федерації проти України: Закон України від 23.03.2023 № 2923-20 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2923-20#Text>.

11. Про затвердження Порядку виконання робіт з демонтажу об'єктів, пошкоджених або зруйнованих внаслідок надзвичайних ситуацій, воєнних дій або терористичних актів: Постанова Кабінету Міністрів України від 25.04.2022 № 474 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/474-2022-п#Text>.

12. Мельничук С.І. Рекультивация техногенно порушенных ландшафтов: навч. посіб. – Біла Церква: БНАУ, 2018. – 204 с.

13. ДСТУ 7705:2015 «Захист довкілля. Рекультивація земель. Терміни та визначення понять» ДП «УкрНДНЦ», Київ, 2016
14. Рамкова директива Європейського Парламенту та Ради від 19 листопада 2008 року «Про відходи та скасування деяких Директив» (2008/98/ЄС) https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/direktiva_2008_98_es.pdf
15. Директива 2004/35/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 21 квітня 2004 року про екологічну відповідальність <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32004L0035>
16. Стратегія ЄС щодо ґрунтів до 2030 року https://environment.ec.europa.eu/publications/eu-soil-strategy-2030_en
17. Науково-теоретичні основи рекультивації техногенно порушених ландшафтів. Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 206 – «Садово-паркове господарство» / уклад. В.М. Хрик, В.С. Хахула, Т.П. Лозінська, С.М. Левандовська, І.В. Кімейчук, В.М. Бойко. Біла Церква, 2021.
18. ДСТУ 7141-2015
19. Краткий толковый словарь по рекультивации земель». Составители: Б.Э. Безганс, Н.Е. Бекаревич, Н.П. Васильева, М.Б. Витт. Издано в 1980 году Институтом почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Академии наук СССР под редакцией С.С. Трофимова и Л.В. Моториной.
20. Ковров, О.С., & Колісник, К.В. (2023). Біологічна рекультивація гірничопромислових земель біогумусовими матеріалами. Міжнародна науково-технічна конференція «MININGMETALTECH 2023 – Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу, технологій та освіти», 29–30 листопада 2023 року, 196–199.
21. Мальований М. С., Білокур М., Тимчук І. С., Жук В. М., Бордун І. М., Бойко Р. Я. Субстрати на основі компостованих органовмісних відходів і природних сорбентів – ефективний матеріал для реанімації порушених воєнними діями земель // Сталий розвиток – стан та перспективи : збірник

матеріалів IV Міжнародного наукового симпозиуму в рамках Еразмус+ Модуль Жан Моне «Концепція екосистемних послуг: Європейський досвід» («EE4CES»), 13–16 лютого 2024, Україна, Львів – Славське. – 2024. – С. 26–30.

22. Богомол Д. С., Денисенко С. А., Черепньов І. А. Використання відходів сільськогосподарської продукції для біоремедіації ґрунту. Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті: матеріали XX Міжнар. форуму молоді, 4-5 квіт. 2024 р. Харків: ДБТУ, 2024. С. 58.

23. Weinfurtner H. et al. (2018). *Recycling Building Materials for Land Reclamation: Case Studies from Germany*. Journal of Environmental Engineering.

24. European Commission (2020). *Construction and Demolition Waste: Recovery and Utilisation in Land Reclamation*.

25. Городній, І. В. Проблеми утилізації та переробки будівельних відходів / І. В. Городній // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2017. – №59. – С. 321–324. URL: <https://science.lpnu.ua>.

26. Поліщук, О. С. Потенціал утилізації бетонних відходів на деокупованих територіях: екологічні та економічні аспекти / О. С. Поліщук // Дослідження сталого розвитку. – 2023. – Т. 4, № 1. URL: <https://dspace.snu.edu.ua>.

27. Варталян, Т. В. Переробка будівельних відходів від руйнувань / Т. В. Варталян // Екологія та економіка. – 2022. – №3. URL: <https://www.bdo.ua>.

28. Іванова, Н. Г. Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві / Н. Г. Іванова, П. М. Сидоренко // Технології дорожнього будівництва. – 2021. – №2. URL: <https://dorongimosti.org.ua>.

29. ДСТУ Б В.2.7-75-98. Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=4674 2.

30. ДБН В.1.2-8:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Гігієна, здоров'я та захист довкілля. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074174554558432858?doc_type=2
31. ДСТУ Б В.2.7-35-95. Будівельні матеріали. Щебінь, пісок та щебенево-піщана суміш з доменних та сталеплавильних шлаків для загальнобудівельних робіт. Загальні технічні умови. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4046
32. Екологічні стандарти будівельних матеріалів: що потрібно знати? URL: <https://novatorstroy.com/ua/pres-relizi/ekologichni-standarti-budivelnih-materialiv-sho-potribno-znati/>
33. Solís-Guzmán, J., Marrero, M., Montes-Delgado, M. V., Ramírez-de-Arellano, A. Іспанська модель для кількісної оцінки та управління будівельними відходами [Електронний ресурс] // Waste Management. – 2009. – № 29(9). – С. 2542–2548. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.09.005>.
34. Cochran, K. M., Townsend, T. G. Оцінка утворення будівельних і знесених відходів за допомогою матеріального потоку [Електронний ресурс] // Waste Management. – 2010. – № 30(11). – С. 2240–2246. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.07.010>.
35. Hiete, M., Stengel, J., Ludwig, J., Schultmann, F. Відповідність будівельних відходів попиту на переробку: регіональна модель управління [Електронний ресурс] // Waste Management. – 2011. – № 31(3). – С. 557–569. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.06.004>.
36. Yuan, H., Shen, L. Тенденція досліджень у сфері управління будівельними та знесеними відходами [Електронний ресурс] // Waste Management. – 2011. – № 31(4). – С. 670–679. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.10.030>.
37. Poon, C. S., Yu, A. T. W., Ng, L. H. Сортування будівельних і знесених відходів на місці у Гонконзі [Електронний ресурс] // Resources,

Conservation and Recycling. – 2001. – № 32(2). – С. 157–172. – Режим доступу: [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00052-0).

38. Tam, V. W. Y., Tam, C. M., Zeng, S. X., Chan, K. K. Показники екологічної продуктивності у будівництві [Електронний ресурс] // *Building and Environment*. – 2006. – № 41(12). – С. 1642–1656. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.02.008>.

39. Nunes, K. R., Mahler, C. F., Valle, R., Neves, C. Оцінка інвестицій у центри переробки будівельних відходів у Бразилії [Електронний ресурс] // *Waste Management*. – 2007. – № 27(1). – С. 153–161. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.03.012>.

40. Європейська комісія Будівельні та знесені відходи: виклики та можливості у циркулярній економіці [Електронний ресурс] // Офіційний вебсайт Європейської комісії. – 2021. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en.

41. Kumar, S., Pandey, D. Переробка будівельних і знесених відходів: огляд [Електронний ресурс] // *Journal of Environmental Management*. – 2022. – № 301. – С. 113513. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113513>.

42. Gálvez-Martos, J. L., Styles, D., Schoenberger, H., Zeschmar-Lahl, B. Найкращі практики управління будівельними відходами в Європі [Електронний ресурс] // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2018. – № 136. – С. 166–178. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.016>.