

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології
кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР**

на тему:

«Технології управління будівельними відходами відповідно до
міжнародних стандартів»

Чуприна Ігор

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології
кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЗНСтаОП

_____ Т.М. Ткаченко

„___” _____ 2025 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО РІВНЯ МАГІСТР
«Технології управління будівельними відходами відповідно до
міжнародних стандартів»**

Виконав студент групи ТЗНСм-24

Чуприна Ігор

Спеціальність: 183«Технології захисту навколишнього середовища»

Керівники: д.т.н., проф. Кривомаз Т.І.

к.т.н. Перебинос А.Р.

Рецензент: _____

Київ 2025 р

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет інженерних систем та екології
Кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність: 183«Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЗНС та ОП

_____ Т.М. Ткаченко

„___” _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

- 1.Тема роботи: « Технології управління будівельними відходами відповідно до міжнародних стандартів »
керівники роботи: д.т.н. проф. Кривомаз Т.І., к.т.н. Перебинос А.Р.
затверджена наказом вищого навчального закладу від «___» _____
202__ р. №_____
- 2.Строк подання студентом роботи «___» _____ 2025 р.
- 3.Вихідні дані до роботи а) дані надані підприємством
- 4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Загальна характеристика системи управління будівельними відходами. Загальна характеристика об'єкта досліджень та території розташування. Технології утилізації будівельних та демонтажних відходів. Аналіз міжнародного та українського законодавства. Висновки. Список використаної літератури.
5. Перелік графічного матеріалу а) Таблиці; б) Рисунки; в) Схеми._____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Загальна характеристика системи управління будівельними відходами	березень	виконано
2	Загальна характеристика об'єкта досліджень та території розташування	березень	виконано
3	Технології утилізації будівельних та демонтажних відходів	квітень	виконано
4	Аналіз міжнародного та українського законодавства	травень	виконано
5	Рекомендації по утилізації будівельних відходів	травень	виконано
6	Класифікація та морфологічний склад будівельних відходів	травень	виконано
7	Висновки	червень	виконано
8	Список використаної літератури	вересень	виконано
9	Остаточне оформлення роботи	жовтень	виконано
10	Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	листопад	виконано
11	Попередній захист роботи на кафедрі	листопад	виконано

7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		Дата	Підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			
Розділ 4.			
Розділ 5.			
Розділ 6.			

8. Дата видачі завдання _____

Зав. кафедри _____

(підпис)

Ткаченко Т.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник _____

(підпис)

Кривомаз Т.І.

(прізвище та ініціали)

Студент _____

(підпис)

Чуприна І.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку використаної літератури та посилань, 2 рисунків та 6 таблиць, загальний обсяг – 70 сторінок.

Дипломна робота «Технології управління будівельними відходами відповідно до міжнародних стандартів» присвячена дослідженню сучасних підходів до поводження з будівельними та демонтажними відходами (CDW) у контексті вимог Європейського Союзу та міжнародних стандартів сталого розвитку. Актуальність теми зумовлена різким зростанням обсягів відходів руйнувань в Україні внаслідок воєнних дій, що створює серйозні екологічні, соціальні та техногенні ризики, а також потребує адаптації національної системи управління CDW до принципів циркулярної економіки та екологічної безпеки.

У роботі проаналізовано нормативно-правові засади ЄС і України у сфері управління будівельними відходами, розглянуто сучасні технології їх сортування, переробки та повторного використання, а також оцінено можливості впровадження міжнародних стандартів ISO та EN у практику відбудови. Особливу увагу приділено таким напрямкам, як створення національної мережі пунктів сортування CDW, впровадження переддемонтажного аудиту, розвиток цифрових інструментів (BIM-моделювання, цифрові паспорти матеріалів) та формування ринку вторинних будівельних матеріалів як складової зеленої відбудови України.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування та розробка комплексу технологічних і організаційних рішень для управління будівельними відходами на засадах міжнародних стандартів, а також оцінка їх екологічної та економічної ефективності. Для досягнення поставленої мети визначено наступні **завдання**:

- Провести критичний аналіз вітчизняних та зарубіжних літературних

джерел, а також нормативно-правової бази щодо поводження з будівельними відходами та принципів циркулярної економіки.

- Систематизувати та проаналізувати ключові міжнародні стандарти та директиви ЄС у сфері управління будівельними відходами.
- Надати характеристику об'єкту дослідження, кліматичним та геологічним особливості регіону дослідження (м. Дніпро) з точки зору їх впливу на процеси збору, зберігання та переробки будівельних відходів.
- Проаналізувати морфологічний склад та техніко-екологічна характеристику ключових фракцій дорожньо-будівельних відходів для обґрунтування впровадження обраної технології сортування та/або рециклінгу будівельних відходів.
- Оцінити екологічну та економічну ефективність запропонованих технологій та сформулювати практичні рекомендації щодо впровадження передових технологій управління будівельними відходами.

Основні результати роботи демонструють, що застосування міжнародних стандартів у сфері управління CDW дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів, мінімізувати екологічні наслідки руйнувань і забезпечити інтеграцію української системи управління відходами у європейський простір. Робота містить пропозиції щодо вдосконалення національної політики та технологічної інфраструктури управління будівельними відходами в умовах післявоєнної реконструкції.

Ключові слова: будівельні відходи, екологічне управління, екологічна безпека, технології будівництва, міжнародні стандарти

ЗМІСТ

Вступ	11
Розділ 1.	Аналіз міжнародного та українського законодавства у сфері управління будівельними відходами.....	14
1.1	Міжнародні стандарти та нормативні підходи до управління будівельними відходами.....	14
1.2	Виклики у сфері управління будівельними відходами в Україні.....	17
1.3	Огляд чинної нормативно-правової бази України щодо поводження з будівельними відходами.....	19
1.3.1.	Аналіз Закону України «Про управління відходами» та інших законодавчих ініціатив.....	19
1.3.2.	Ієрархія поводження з відходами в контексті євроінтеграційних процесів	22
Розділ 2.	Аналіз об'єкта дослідження та методичні засади управління будівельними відходами.....	28
2.1	Характеристика об'єкта дослідження.....	28
2.2	Методичні основи дослідження.....	30
2.3	Нормативні та технологічні засади верифікації.....	33
Розділ 3.	Результати аналізу системи поводження з будівельними відходами на об'єкті транспортної інфраструктури.....	65
3.1	Класифікація та морфологічний склад будівельних відходів.....	36
3.2	Аналіз існуючої системи поводження з будівельними відходами на об'єкті.....	42
3.3	Перспективи розвитку системи управління системи поводження з будівельними відходами на об'єкті реконструкції дорожньої інфраструктури.....	75

Розділ 4. Рекомендації по розвитку системи управління будівельними відходами.....	47
4.1 Впровадження сучасних технологій переробки та утилізації будівельних відходів.....	48
4.2 Технології сортування та первинної обробки будівельних відходів.....	50
4.3 Технології рециклінгу та матеріальної утилізації будівельних відходів.....	52
4.4 Повторне використання цілих конструкцій і елементів.....	55
4.5 Створення мережі пунктів сортування та переробки будівельних та демонтажних відходів.....	57
4.6 Впровадження цифрових інструментів управління відходами.....	59
4.7 Формування ринку вторинних будівельних матеріалів як елемент зеленої відбудови України.....	61
Висновки	65
Список використаної літератури	67

Вступ

Актуальність дослідження. Світова практика засвідчує, що будівельні відходи (БВ) складають одну з найбільших фракцій відходів за обсягами утворення, поступаючи лише промисловим відходам. Нераціональне поводження з будівельними відходами, а саме їх переважне захоронення, призводить до значного виснаження природних ресурсів (які могли б бути замінені вторинною сировиною) та критичного забруднення навколишнього природного середовища через несанкціоновані звалища та перевантаження полігонів.

Для України, в контексті євроінтеграційних процесів, прийняття стандартів ЄС (зокрема Директиви 2008/98/ЄС про відходи) та необхідності масштабної післявоєнної відбудови, проблема впровадження ефективних технологій управління БВ набуває стратегічного значення. Забезпечення високого рівня рециклінгу будівельних відходів та їх інтеграція у модель циркулярної економіки є критичним завданням для спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Це вимагає переходу від застарілих практик до сучасних технологічних рішень, що відповідають провідним міжнародним стандартам. Необхідність теоретичного обґрунтування та практичної адаптації таких технологій в українських умовах визначає актуальність обраної теми магістерської роботи.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування та розробка комплексу технологічних і організаційних рішень для управління будівельними відходами на засадах міжнародних стандартів, а також оцінка їх екологічної та економічної ефективності. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

1. Провести критичний аналіз вітчизняних та зарубіжних літературних джерел, а також нормативно-правової бази щодо поводження з будівельними відходами та принципів циркулярної економіки.

2. Систематизувати та проаналізувати ключові міжнародні стандарти та директиви ЄС у сфері управління будівельними відходами.

3. Надати характеристику об'єкту дослідження, кліматичним та геологічним особливості регіону дослідження (м. Дніпро) з точки зору їх впливу на процеси збору, зберігання та переробки будівельних відходів.

4. Проаналізувати морфологічний склад та техніко-екологічна характеристику ключових фракцій дорожньо-будівельних відходів для обґрунтування впровадження обраної технології сортування та/або рециклінгу будівельних відходів.

5. Оцінити екологічну та економічну ефективність запропонованих технологій та сформулювати практичні рекомендації щодо впровадження передових технологій управління будівельними відходами.

Об'єктом дослідження є процеси утворення, збору, сортування, переробки та повторного використання будівельних відходів на об'єктах будівництва та/або демонтажу на прикладі будівельного об'єкту транспортної інфраструктури міста Дніпро.

Предметом дослідження є технологічні, організаційні та економічні рішення та механізми управління будівельними відходами, що відповідають ієрархії поводження з відходами та міжнародним екологічним стандартам.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у:

- Систематизації та адаптації міжнародних моделей ієрархії поводження з БВ до національних нормативно-правових та природно-технічних умов.
- Розробці та вдосконаленні алгоритму вибору оптимальної технології переробки БВ, що враховує склад відходів, кліматичні та геологічні особливості регіону.
- Кількісному обґрунтуванні показників екологічної безпеки та ресурсозбереження внаслідок впровадження запропонованих технологічних рішень.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання:

- Розроблених технологічних схем та рекомендацій для впровадження на підприємствах будівельної галузі та підприємствах, задіяних у переробці відходів.
- Одержаних розрахункових даних для планування регіональних стратегій поводження з відходами будівництва та знесення.
- Результатів роботи в навчальному процесі підготовки магістрів за спеціальністю «Технології захисту навколишнього середовища».

Розділ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ І РІШЕНЬ У СФЕРІ УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ

Управління будівельними та демонтажними відходами (Construction and Demolition Waste, CDW) є одним із ключових напрямів екологічної політики ЄС та міжнародних стандартів сталого розвитку. Високий рівень утворення таких відходів, особливо в умовах воєнних руйнувань, вимагає впровадження технологій, що забезпечують повторне використання матеріалів, мінімізацію впливу на довкілля та зниження загального вуглецевого сліду будівельної галузі. Аналіз сучасних публікацій українських та європейських дослідників дозволяє окреслити комплекс технологічних рішень, які відповідають вимогам циркулярної економіки, стандартам ЄС, ISO 14001 та ISO 20887:2020 щодо оцінки придатності будівельних конструкцій до демонтажу та рециклінгу [45, 47].

Величезна кількість залишкових продуктів утворюється через існуючі обсяги первинного ресурсоспоживання та високу концентрацію промисловості, для більшості галузей якої характерні багатотоннажні технологічні процеси. Накопичення відходів у місцях їхнього утворення та зберігання спричиняє значні екологічні ризики для довкілля, включаючи атмосферне повітря, поверхневі й підземні природні води, ґрунти та рослинний покрив [40].

1.1 Аналіз міжнародних стандартів та директив ЄС щодо управління будівельними відходами та їх рециклінгу

Управління будівельними та демонтажними відходами (Construction and Demolition Waste, CDW) у міжнародній практиці ґрунтується на поєднанні технологічних рішень, циклічних бізнес-моделей та вимог

стандартів ЄС і ISO [47]. Європейський Союз визначає CDW одним із пріоритетних потоків у сфері циркулярної економіки, що зумовило формування інтегрованої системи стандартизації, моніторингу та технологій рециклінгу [43].

Європейський Союз формує вимоги до переробки CDW через Директиву 2008/98/ЄС (Waste Framework Directive), яка встановлює мінімальний рівень 70 % рециклінгу та повторного використання відходів будівництва і демонтажу [37]. Країни ЄС імплементують ці норми через національні плани, що передбачають обов'язкове сортування на будівельних майданчиках, створення центрів переробки та стимулювання вторинного ринку матеріалів.

Міжнародні стандарти передбачають впровадження ієрархії управління відходами: запобігання утворенню → повторне використання → рециклінг → енергетична утилізація → захоронення. Ключовою умовою реалізації цієї моделі є створення широко розгалуженої мережі локальних центрів прийому, сортування та обробки CDW. У країнах ЄС такі центри працюють відповідно до EN 50625, EN 15001, ISO 14001 та ISO 9001, що забезпечує контроль потоків відходів, простежуваність матеріалів та якість вторинних продуктів [33, 34, 35, 40].

Як показують дослідження Березюка, Лемешева і Боднара (2024), динаміка використання вторинних матеріалів у європейських країнах демонструє стабільне зростання, а найвищі показники спостерігаються у Нідерландах, Данії та Німеччині, де рівень повторного використання перевищує 85 % [1].

Ключові міжнародні стандарти та директиви ЄС у сфері управління будівельними відходами включають ISO-стандарти з екологічного менеджменту та низку рамкових і спеціалізованих директив ЄС (2008/98/ЄС, 1999/31/ЄС, 2010/75/EU тощо), які визначають принципи запобігання утворенню відходів, їх переробки, повторного використання та безпечного захоронення [37, 34, 38].

Міжнародна практика свідчить, що циркулярна економіка не може функціонувати без розвинутого ринку вторинних ресурсів. У ЄС цей ринок формують через:

- стандарти якості (EN 933, EN 13242 для вторинних заповнювачів) [46];
- екологічні декларації продукту (EPD) [44];
- податкові стимули на використання перероблених матеріалів;
- заборону або обмеження захоронення CDW.

Системи оцінки якості вторинних ресурсів у ЄС базуються на стандартах ISO 20887:2020 (оцінка можливості демонтажу та адаптивного повторного використання будівель) та EN 15804 (екологічні декларації для будівельних матеріалів) [40, 42]. У межах циркулярної політики ЄС ці стандарти забезпечують:

- оцінку потенціалу повторного використання матеріалів перед демонтажем;
- документування характеристик матеріалів та їх екологічного профілю;
- визначення відсотка матеріалів, придатних до циклічного використання.

Згідно з міжнародними стандартами ISO 19650, цифрові інструменти відіграють ключову роль у циклічному управлінні будівельними матеріалами. У країнах ЄС швидко поширюються цифрові паспорти матеріалів (Material Passports), що містять дані про склад, характеристики, можливості рециклінгу та екологічні показники матеріалів [43].

ВІМ-моделювання у цьому контексті забезпечує:

- точний облік матеріалів на етапі проєктування;
- можливість оцінки майбутніх обсягів CDW;
- планування демонтажу з урахуванням циклічного використання;
- простежуваність матеріальних потоків.

Таким чином, міжнародні стандарти задають загальні принципи екологічного менеджменту, а директиви та регламенти ЄС формують конкретні

вимоги до запобігання утворенню, переробки, транспортування та захоронення будівельних відходів. Це створює комплексну систему, яка поєднує екологічну безпеку з економічними стимулами для повторного використання ресурсів.

1.2 Виклики у сфері управління будівельними відходами в Україні

Ситуація з управлінням відходами в Україні є однією з найгостріших соціально-економічних проблем, що стосується кожної людини. Вона стала предметом особливої уваги органів влади на загальнодержавному та місцевому рівнях. Тривалий час економічна система України створювала умови для нераціонального використання практично всіх сировинних матеріалів, надмірного споживання енергії та не сприяла їхньому збереженню [40].

Щороку до господарського обігу в країні залучається понад 1 млрд тонн природних речовин [33]. Рівень техногенного навантаження на природне середовище в Україні донині перевищує аналогічні показники в розвинених європейських країнах у 4–5 разів. Використання застарілих технологій і обладнання, висока концентрація потенційно небезпечних промислових об'єктів в окремих регіонах, а також значне спрацювання технічних фондів зумовлюють високу ймовірність критичного забруднення різних об'єктів довкілля.

Будівельні відходи (БВ) є однією з критичних фракцій у загальному потоці, хоча вони і не завжди враховуються в статистиці як токсичні відходи. До категорії відходів належать будь-які речовини та матеріали, які утворюються в процесі діяльності людини і не мають подальшого використання, і яких власник має намір або повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення [12].

В Україні, за висновками Курепіна (2024), система управління

будівельними відходами перебуває на етапі трансформації, однак нормативні вимоги поступово наближаються до європейських, зокрема у частині паспортизації відходів, обов'язкового роздільного збирання та розвитку інфраструктури переробки [15]. Публікація Нонік, Пацевої і Пічкур (2023) підкреслює, що умови воєнного стану створили необхідність для стратегічного планування управління відходами руйнувань, яке повинно поєднувати міжнародний досвід з реаліями масштабних руйнувань міст [23].

Антонюк і Костюк (2024) зазначають, що в умовах воєнної відбудови особливо важливо розвиток технології сортування та первинної обробки будівельних відходів, оскільки відходи руйнувань характеризуються високою неоднорідністю та наявністю небезпечних домішок [32]. Наявність попереднього сортування зменшує ризики забруднення ґрунтів і вод та дозволяє збільшити частку придатних до повторного використання матеріалів.

Загалом визначають такі ключові проблеми у сфері управління будівельними відходами в Україні:

- Низький рівень використання: Рівень утилізації відходів загалом ніколи не перевищував 25–30% від їхнього загального обсягу, тоді як у розвинених країнах цей показник сягає 60–65%.
- Необхідність комплексної переробки: Для утилізації відходів, включно з будівельними, потрібні ефективні технологічні схеми.
- Законодавче регулювання: Чинне законодавство України у сфері поводження з відходами має недоліки, зокрема відсутність або нечіткість положень, які регламентують основи державної політики з організації збирання, переробки відходів з метою їхнього повторного використання.

З огляду на євроінтеграційні процеси та необхідність післявоєнної відбудови, яка неминуче призведе до колосальних обсягів будівельних відходів, застосування міжнародних стандартів та технологій управління БВ стає ключовим елементом забезпечення екологічної безпеки та ресурсозбереження. Екологічна стандартизація та запобігання впливу

відходів на довкілля : навч. посіб. / В. К. Хільчевський, М. Р. Забокницька, Р. Л. Кравчинський. Київ : Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2016. 192 с..

1.3 Огляд чинної нормативно-правової бази України щодо поводження з будівельними відходами

1.3.1. Аналіз Закону України «Про управління відходами» та інших законодавчих ініціатив

Головним законодавчим документом України щодо поводження з відходами, включаючи будівельні відходи є Закон України № 2320-IX «Про управління відходами» від 20.06.2022, який закладає системний підхід до управління будівельними/демонтажними відходами, орієнтований на зменшення утворення відходів, повторне використання матеріалів, переробку, і лише після цього безпечне видалення [13].

Закон дає визначення: «Відходи будівництва та знесення» — як відходи, що утворилися внаслідок діяльності з капітального ремонту, будівництва або знесення будівель і споруд. Закон встановлює, що управління відходами має здійснюватися за «ієрархією управління відходами» — де пріоритети віддаються запобіганню утворенню відходів, їхньому повторному використанню та відновленню (рециклінгу), а лише потім – видаленню/захороненню. Для суб'єктів, які здійснюють будівництво або знесення, передбачено обов'язок забезпечити роздільне збирання, облік і передачу таких відходів суб'єктам господарювання у сфері управління відходами для подальшого оброблення. Відходи будівництва та знесення, які не є небезпечними, підлягають підготовці до повторного використання, рециклінгу або іншому матеріальному відновленню, включно зі зворотним заповненням (наприклад, як заповнювачі пустот чи для рекультивації) замість простого утилізації або захоронення. Видалення (наприклад,

захоронення) має застосовуватися лише до відходів, які непридатні до рециклінгу чи повторного використання з технічних або економічних причин.

Переваги для управління відходами руйнування та демонтажу

- 1. Чітка класифікація** – визнання «відходів будівництва та знесення» як окремої категорії (з відповідним визначенням) створює правову основу для їх специфічного регулювання. Це важливо, тому що будівельні відходи за складом й сценаріями поводження суттєво відрізняються від побутових чи промислових.
- 2. Заохочення переробки та повторного використання** – через ієрархію (reuse → recycling → disposal) закон стимулює оптимізацію ресурсів, зменшення навантаження на довкілля, а також потенційно зниження обсягів захоронень.
- 3. Відповідальність для утворювачів** – зобов'язання забудовників/демонтажників роздільно збирати, обліковувати і передавати відходи відповідним операторам створює механізм контролю і підзвітності. Це може мінімізувати хаотичне засипання, несанкціоновані звалища або «сірий» вивіз сміття.
- 4. Гнучкість у поводженні з небезпечними відходами** – закон дає можливість використовувати відходи як вторинну сировину (наприклад, для заповнення пустот), що може бути корисним у контексті відновлення територій після руйнувань (зокрема в умовах війни).
- 5. Підстави для розвитку інфраструктури** – закон передбачає, що на його основі будуть розроблені додаткові нормативні акти, створено об'єкти для збору, переробки, зберігання і захоронення відходів, що може стимулювати розвиток ринку переробки будівельних відходів.

Обмеження та проблемні моменти з огляду на демонтаж та руйнування

- Закон в основному уніфікований та розрахований на стандартні процеси будівництва/ремонт/знесення у мирний час. Як зазначають експерти, норми можуть бути недостатніми для фактів масових руйнувань

(наприклад, внаслідок бойових дій) – у таких випадках може знадобитися окремий регламент.

- Якщо матеріали містять небезпечні компоненти (азбест, небезпечні хімічні речовини тощо), їх статус у законі як «будівельні відходи» потребує чіткої ідентифікації, маркування, класифікації. Закон дозволяє, але не деталізує, яким чином має відбуватися цей розподіл (особливо для змішаних відходів), що може спричиняти юридичну невизначеність. (“порушення принципу правової визначеності” при змішаних або небезпечних будівельних відходах).
- Інституційна й інфраструктурна непропрацьованість: хоча закон передбачає створення об’єктів для збирання/оброблення/переробки, на практиці це потребує часу, ресурсів, належного контролю – і у багатьох регіонах України така інфраструктура може бути відсутня або недостатньо розвинута.
- Відсутність чітких норм для надзвичайних ситуацій або масштабних руйнувань – закон не містить спеціальної процедури для поводження з великою кількістю будівельних відходів, утворених внаслідок екстремальних подій (воєнні дії, масове руйнування). Як наслідок – може виникати правова невизначеність при застосуванні закону в таких обставинах.

Але загалом Закон 2320-IX є суттєвим кроком уперед у системному врегулюванні питання управління будівельними та демонтажними відходами в Україні. Він:

- формалізує категорію «відходів будівництва та знесення»;
- вводить сучасну європейську ієрархію поводження з відходами (з акцентом на запобігання, повторне використання, рециклінг);
- покладає відповідальність на забудовників/демонтажників щодо обліку, збирання і передачі відходів;
- створює правові передумови для розвитку інфраструктури переробки;
- відкриває можливості практичного застосування залишків демонтажу

(матеріалів) як ресурсів — що особливо важливо при відновленні після руйнувань.

Проте для реалізації цих переваг на практиці необхідне:

- чітке розмежування небезпечних і не небезпечних будівельних відходів;
- розроблення секторальних підзаконних актів — стандартів, технологій, порядків;
- створення відповідної інфраструктури переробки;
- врахування спеціальних процедур в умовах масштабних руйнувань або надзвичайних ситуацій.

Крім того, в останні роки прийнята низка інших регламентуючих документів, зокрема Накази Міндовкілля № 1534, 1003, 729, 455, 403, 288, 263; Постанови КМУ № 1102, 1073, 667, 556, а також розпорядження КМУ № 1353-р від 27.12.2024 Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року [16, 17, 19, 20, 21, 22, 28]. ДСТУ 9171:2021 «Настанова щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів під час проектування споруд» діятиме до 01.01.2026, а на зміну підготовлено ДСТУ 9171:2025 «Настанова щодо забезпечення сталого використання природних ресурсів під час проектування споруд» [10]. Наразі розглядається Проект ЗУ «Про засади зеленого відновлення України», який стане нормативним підґрунтям для та може кардинально змінити напрямок розвитку всієї будівельної галузі України.

Наразі перелічені законодавчі ініціативи можна розглядати як суттєвий крок до національної трансформації в напрямку принципів циркулярної економіки та сталого поводження з відходами, що потенційно наближає українське регулювання до стандартів ЄС.

1.3.2. Ієрархія поводження з відходами в контексті євроінтеграційних процесів

У контексті євроінтеграційних процесів та необхідності формування еколого-орієнтованої політики, фундаментом для управління будівельними відходами (БВ) є Директива Європейського Парламенту та Ради 2008/98/ЄС (Рамкова Директива про відходи, РДВ) [37]. Основна мета цього документа — максимальне зниження негативного впливу на здоров'я людини та довкілля, забезпечення збереження природних ресурсів, а також чітке регламентування питань утворення і поводження із відходами. Директива запроваджує чітку ієрархію поводження з відходами як обов'язковий пріоритет, що має дотримуватися у порядку: запобігання утворенню, підготовка до повторного використання, переробка (рециклінг), інша утилізація (наприклад, для відновлення енергії) і, як найнижчий пріоритет, видалення (захоронення) [40].

Важливою є відмінність між двома вищими пріоритетами, що стосуються повернення матеріалів в обіг (табл. 1). Підготовка до повторного використання — це здійснення операцій, спрямованих на продовження життєвого циклу продукту, наприклад, використання цілої, неушкодженої цеглини чи балки, що передбачає мінімальне втручання або відсутність зміни структурної цілісності. Натомість, переробка (рециклінг) — це обробка відходів, включно з подрібненням та хімічною обробкою, для їхнього перетворення на вторинну сировину (наприклад, рецикльований щебінь) з метою заміщення первинних матеріалів, що вимагає додаткових енерговитрат [37].

Таблиця 1.

Порівняння основних пріоритетів ієрархії поводження з будівельними відходами

Критерій	Підготовка до повторного використання	Переробка (Рециклінг)
----------	---------------------------------------	-----------------------

Визначення	Здійснення операцій, що дає змогу використовувати продукт або компонент повторно без значної переробки	Обробка відходів для їхнього перетворення на вторинну сировину (матеріал чи субстанцію) з метою заміщення первинних матеріалів
Ступінь втручання	Мінімальне втручання або відсутність зміни структурної цілісності матеріалу	Зміна фізичних, хімічних чи біологічних властивостей (наприклад, подрібнення, дроблення, сортування)
Приклад (БВ)	Повторне використання цілої, неушкодженої цеглини, демонтованої металевої балки	Подрібнення бетонних відходів для отримання рецикльованого щебеню
Енергоефективність	Вищий рівень збереження втіленої енергії (найвищий пріоритет після запобігання)	Нижчий рівень збереження втіленої енергії, оскільки потрібні додаткові енерговитрати на переробку

Ключовим імперативом для національних систем управління відходами, включно з Україною, є кількісний показник РДВ щодо БВ: мінімум 70% (за вагою) будівельних відходів повинні бути підготовлені до повторного використання, перероблені або утилізовані іншим чином. При цьому, у цей цільовий показник не включається використання матеріалів для засипки, що вимагає від підприємств зосередження на виробництві високоякісної вторинної сировини для повноцінного заміщення первинних матеріалів у будівництві. Досягнення цього показника вимагає обов'язкового роздільного збору БВ на місці їхнього утворення та впровадження потужних мобільних і стаціонарних переробних комплексів. Суттєвий вплив на сферу БВ має також Директива 1999/31/ЄС про захоронення відходів, яка встановлює

суворі вимоги до полігонів та вимагає попередньої обробки відходів (сортування, зменшення об'єму чи небезпечної природи) перед їхнім розміщенням, що посилює необхідність розвитку переробних потужностей [34]

Ефективне впровадження європейських директив неможливе без інтеграції систем екологічного та технічного менеджменту, зокрема міжнародних стандартів ISO. Застосування ISO 14001 (Система екологічного менеджменту) на будівельних майданчиках і переробних підприємствах дозволяє вести точний облік і контроль утворення та сортування БВ, забезпечуючи екологічну безпеку процесів. Особливо критичним є стандарт ISO 9001 (Система менеджменту якості), який забезпечує стабільність якісних характеристик вторинної сировини (наприклад, рецикльованого щебеню), що є обов'язковою умовою для її повноцінного використання у виробництві будівельних матеріалів та конструкцій [12].

Незважаючи на формальну імплементацію, фактичний рівень утилізації відходів в Україні залишається низьким (до 30%) , що пояснюється низкою прогалин: 1) Недієвість законодавчих положень та відсутність дієвих економічних важелів (низька вартість захоронення), що призводить до порушення ієрархії на користь найдешевшого видалення. 2) Відсутність належної системи сертифікації та контролю якості вторинної сировини, що перешкоджає її широкому використанню. 3) Недостатнє врахування превентивних заходів у національних будівельних нормах (наприклад, дизайн для демонтажу), що ускладнює роздільний збір та повторне використання БВ [11].

На основі проведеного критичного аналізу встановлено ключові розбіжності між європейськими стандартами (ієрархія відходів, ціль 70% рециклінгу БВ) та поточною українською практикою (переважне захоронення, слабкі механізми стимулювання (табл. 2). Це обґрунтовує необхідність розробки технічних та організаційних рішень для створення системи управління будівельними відходами.

Таблиця 2.

Аналіз перспектив імплементації стандартів ЄС у сфері управління будівельними в Україні

Критерій порівняння	Міжнародні стандарти (ЄС)	Фактичний стан в Україні
Ключова мета (РДВ)	Максимальне зниження негативного впливу на довкілля та збереження ресурсів.	Низький рівень утилізації; перевага найдешевшого видалення.
Пріоритет поводження	Суворі ієрархія (Запобігання > Повторне використання > Рециклінг...).	Формальне дотримання ієрархії; фактичне порушення на користь захоронення.
Кількісний цільовий показник (БВ)	Мінімум 70% підготовка до повторного використання, переробка, утилізація (за вагою).	Рівень утилізації всіх відходів не перевищує 25–30% .
Економічні важелі	Впровадження Розширеної відповідальності виробника (РВВ); високі тарифи за захоронення .	Низькі тарифи на захоронення (понад 93% відходів складується); відсутність дієвих економічних важелів.
Вимоги до якості (ISO)	Обов'язкова інтеграція ISO 9001 для сертифікації якості вторинної сировини.	Відсутність належної системи сертифікації та контролю якості вторинної сировини (недостатність ДСТУ).

У контексті України, особливо в умовах післявоєнної відбудови, адаптація міжнародних стандартів має критичне значення для зниження екологічних ризиків, підвищення ефективності ресурсів та створення ринку вторинних матеріалів [31]. Аналіз досліджень Антонюк і Костюк (2024) свідчить, що в Україні практики переддемонтажного аудиту застосовуються

фрагментарно, переважно в міжнародних проєктах [32]. Їх широке впровадження дозволить інтегрувати українську систему управління CDW у європейський простір та забезпечити відповідність вимогам сталого будівництва.

У дослідженнях Курепіна (2024) підкреслюється, що цифровізація є критичною умовою модернізації системи управління CDW в Україні, оскільки вона дозволяє мінімізувати втрати ресурсів, оптимізувати логістику та знизити рівень нелегального захоронення [15].

Березюк та ін. (2024) вказують, що економічна доцільність використання перероблених матеріалів суттєво зростає за умов державного стимулювання та стандартизації [1]. Дослідження Ноніка, Пацевої і Пічкур (2023) показують, що під час війни формування ринку вторинних матеріалів стає одним із ключових інструментів скорочення екологічного навантаження на території руйнувань [23].

В Україні необхідність формування пунктів сортування та переробки CDW обумовлена не лише темпами руйнувань, а й необхідністю зменшення ризиків воєнного екоциду [31]. Серед критичних завдань – створення регіональних пунктів сортування, обладнаних дробильними лініями, мобільними сортувальними станціями та майданчиками зберігання фракцій. Для України створення системи управління відходами є частиною стратегії зеленої відбудови та відповідає підходам ЄС щодо декарбонізації та ефективного використання ресурсів. Серед ключових напрямів – сертифікація вторинних матеріалів, створення цифрових платформ торгівлі CDW-фракціями та інтеграція вимог щодо мінімального вмісту рециклінгу у будівельні норми.

Адаптація міжнародних стандартів управління CDW є необхідною умовою модернізації будівельної галузі України та реалізації принципів сталого розвитку. Створення мережі пунктів сортування, впровадження стандартів ЄС та ISO, цифровізація потоків матеріалів та розвиток ринку вторинної сировини формують цілісну систему управління будівельними

відходами, сумісну з європейськими вимогами. Це забезпечує ресурсоефективну та екологічно безпечну відбудову України.

Розділ 2

АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ

2.1. Характеристика об'єкта дослідження

Об'єктом дослідження є процеси утворення, збору, сортування, переробки та повторного використання будівельних відходів на об'єктах будівництва та/або демонтажу на прикладі будівельного об'єкту транспортної інфраструктури міста Дніпро. На об'єкті транспортної інфраструктури в межах міста Дніпро реалізуються роботи з реконструкції та нового улаштування дорожніх конструкцій із використанням вторинної мінеральної сировини. Цей об'єкт обрано як локальну модельну базу для практичної апробації та економічного обґрунтування інноваційних технологій управління будівельними відходами (БВ).

Вибір об'єкта транспортної інфраструктури в умовах м. Дніпро має високу стратегічну значущість, оскільки він дозволяє безпосередньо інтегрувати принципи циркулярної економіки у процес відбудови України.

1. Реалізація європейських цілей. В умовах відновлення країни після конфлікту, обсяги утворення БВ є безпрецедентними. Використання даного об'єкта як прикладу дозволяє продемонструвати практичне досягнення цільових показників ЄС (70% рециклінгу БВ), які задекларовані у Рамковій директиві про відходи [6].

2. Пріоритет дорожнього будівництва. Дорожній сектор є найбільшим споживачем мінеральних агрегатів (щебеню, піску). Інтеграція вторинної мінеральної сировини (ВМС) у дорожній одяг не лише скорочує обсяги відходів, які йдуть на полігони, але й забезпечує економічну та логістичну стійкість проєкту за рахунок зменшення потреби у видобутку та транспортуванні первинних матеріалів [9].

3. Верифікація розрахунків. Аналіз конкретного об'єкта, а не абстрактної галузі, дозволяє провести точні розрахунки матеріального балансу (Розділ 4), встановити обґрунтовані технологічні параметри та оцінити реальну економічну ефективність рециклінгової установки.

Діяльність об'єкта відбувається на території, що характеризується високим техногенним навантаженням і складними інженерно-геологічними умовами, що накладає додаткові екологічні та технічні вимоги на процес поводження з БВ.

1. Забруднення ґрунтів і вод. Дніпро є великим промисловим центром. У процесі реконструкції дорожнього полотна можуть бути виявлені ґрунти, забруднені важкими металами або нафтопродуктами, що вимагає їхньої класифікації як небезпечних фракцій і відокремлення від інертних БВ. Крім того, на об'єктах у міській забудові необхідно суворо дотримуватися ДБН В 1.1-25:2009 для інженерного захисту від підтоплення та затоплення, що критично важливо при організації майданчиків тимчасового зберігання відходів та їхньої подальшої обробки, щоб уникнути вимивання забруднюючих речовин [3]

2. Атмосферні викиди. Об'єкт є потенційним джерелом викидів забруднюючих речовин у повітря. Основним екологічним ризиком є пилоутворення (тверді суспендовані частки) під час демонтажу, навантаження, транспортування та, головне, дроблення бетону та асфальтобетону мобільною установкою. Діяльність об'єкта мусить відповідати гігієнічним регламентам гранично допустимих концентрацій (ГДК) хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць.

3. Геологічна складність. Проектування та проведення робіт у місті Дніпро часто пов'язане з необхідністю врахування вимог ДБН В.1.1-45:2017 щодо будівництва та реконструкції в складних інженерно-геологічних умовах (зокрема, роботи з ґрунтами з особливими властивостями та підроблюваними територіями). Це впливає на вимоги до якості ВМС, що застосовується у дорожніх основах [4].

Екологічна діяльність на об'єкті транспортної інфраструктура м. Дніпро спрямована на реалізацію пріоритетів ієрархії поводження з відходами (табл. 3).

Таблиця 3.

Екологічна діяльність в ієрархії поводження з відходами

Сфера екологічної діяльності	Мета	Нормативне забезпечення
Управління відходами	Забезпечення кількісного та якісного обліку всіх утворених фракцій БВ.	ДСТУ 3911–99: Виявлення відходів і подання інформаційних даних про відходи.
Ресурсоефективність	Заміщення первинних матеріалів ВМС, що відповідає принципам циркулярної економіки.	ДСТУ (відповідні стандарти): Вимоги до якості вторинного щебеню для дорожніх конструкцій.
Охорона повітря	Мінімізація розсіювання пилу та аерозолів під час роботи дробильно-сортувального комплексу.	Наказ МОЗУ № 52 (ГДК): Контроль за перевищенням гранично допустимих концентрацій пилу.
Захист ґрунту	Запобігання забрудненню території майданчика та навколишніх ділянок.	ДБН В 1.1-25:2009: Інженерний захист територій від підтоплення.

2.2. Методичні основи дослідження

Для теоретичного обґрунтування та розробці комплексу технологічних і економічних рішень для управління будівельними відходами (БВ), використовувалася сукупність розрахункових, аналітичних і експериментально-аналітичних методів [11]. Методичний апарат дослідження забезпечує

комплексну оцінку ефективності використання вторинної сировини на обраному об'єкті транспортної інфраструктури в м. Дніпро, інтегруючи вимоги екологічної безпеки та будівельного нормування. Методичні основи структуруються відповідно до ключових завдань, поставлених у Вступі, починаючи з теоретичного аналізу та завершуючи практичною верифікацією результатів (табл. 4).

Таблиця 4.

Методичні основи для практичної верифікації результатів

Група методів	Назва методу	Напрямок застосування
Аналітичні	Системний аналіз	Аналіз та порівняння міжнародних стандартів (Директива 2008/98/ЄС) і національних норм (ДБН, ДСТУ) у сфері поводження з БВ [8, с. 10; 6, с. 24].
Експериментально-аналітичні	Морфологічний аналіз	Визначення кількісних та якісних характеристик (складу) утворених БВ (бетон, асфальтобій) для подальшого вибору технології
Розрахункові	Метод матеріального балансу	Ресурсні розрахунки: визначення маси, обсягів утворених відходів, необхідної потужності рециклінгової установки та кількості вторинної сировини, що заміщує первинну
Розрахункові	Економічне моделювання (порівняльних витрат)	Обґрунтування фінансової ефективності впровадження мобільної рециклінгової установки шляхом порівняння сценаріїв: базового (захоронення) та альтернативного (рециклінг)

Експериментально-аналітичні	Сценарний аналіз	Прогнозування екологічного ефекту від впровадження вторинної сировини (наприклад, зниження викидів CO ₂ , зменшення техногенного навантаження)
-----------------------------	------------------	---

Системний аналіз використовується для формування теоретичної основи роботи шляхом порівняння міжнародної ієрархії поводження з відходами з національною нормативною базою. Це дозволяє обґрунтувати необхідність впровадження інноваційних технологій, які б відповідали не лише загальноєвропейським цілям, але й конкретним вимогам до будівництва в Україні, таким як ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [5] та ДБН В 1.1-45:2017 «Складні інженерно-геологічні умови» [4]

Метод матеріального балансу є фундаментальним для розрахункової частини. Він дає можливість кількісно визначити вхідні та вихідні потоки матеріалів на об'єкті, а саме: загальний обсяг утворених БВ, частку рецикльованої сировини, та обсяг первинних матеріалів, які можуть бути заміщені, що є ключовим для оцінки ресурсозбереження.

2.3. Нормативні та технологічні засади верифікації

Верифікація процесів управління будівельними відходами посідає центральне місце у забезпеченні відповідності національних підходів до міжнародних екологічних стандартів. У контексті інтеграції України до європейського правового поля та впровадження принципів циркулярної економіки необхідність формування прозорої, відтворюваної та технічно обґрунтованої системи підтвердження достовірності даних щодо утворення, класифікації, транспортування та перероблення відходів стає визначальною передумовою ефективної політики управління ресурсами. Нормативні та технологічні засади верифікації визначаються сукупністю регуляторних вимог,

методологічних підходів та цифрових інструментів, що забезпечують прос-тежуваність потоків відходів і достовірність екологічної інформації.

Обов'язковою умовою є застосування нормативної бази для верифікації отриманих результатів і забезпечення їхньої достовірності.

1. Технологічна верифікація: Якісні характеристики вторинної сировини (рецикльованого щебеню, асфальтогрануляту) повинні відповідати нормативним вимогам до матеріалів для основ дорожнього одягу. При цьому, у Розділі 4 буде обґрунтовано, що ВМС, отримана на об'єкті, відповідає вимогам ДБН В.1.2-2:2006 щодо міцності та здатності сприймати навантаження, що є критичним для дорожніх конструкцій [5]

2. Екологічна та інженерна верифікація: Оцінка екологічної безпеки та інженерної стійкості об'єкта проводиться з урахуванням регіональної специфіки м. Дніпро. Це включає:

- Захист від небезпечних процесів: Врахування вимог ДБН В 1.1-25:2009 (Інженерний захист територій від підтоплення) та ДБН В 1.1-45:2017 (Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах) при проектуванні майданчиків тимчасового зберігання БВ та подальшому використанні ВМС у дорожніх на-сипах [3, 4]
- Контроль якості ВМС: Екологічна верифікація забезпечує, що ВМС, застосована в дорожніх шарах, не посилює негативний вплив на ґрунтові води, що є одним із завдань екологічної безпеки [30].

На нормативному рівні верифікація ґрунтується на положеннях між-народного та європейського права, насамперед Директиви 2008/98/ЄС про відходи, Регламенту (ЄС) № 2020/852 (таксономія сталих інвестицій), Регламенту щодо моніторингу та звітності парникових газів, а також ISO-стандартів серії 14000, які встановлюють принципи екологічного менеджменту, оцінки життєвого циклу та екологічного маркування. Вони визначають фунда-ментальні вимоги до ідентифікації відходів, їх класифікації відповідно

до Європейського каталогу відходів (EWC), форм обліку та процедур контролю. В українському законодавстві нормативні засади верифікації закріплені Законом України «Про управління відходами» № 2320-IX, який імплементує принципи ієрархії поводження з відходами та зобов'язує утворювачів забезпечувати достовірний облік і передавати відходи уповноваженим операторам. Закон закладає регуляторні рамки для простежуваності потоків відходів, встановлює критерії небезпечності, вимоги до паспортів відходів і процедури документального підтвердження операцій з оброблення.

Технологічні засади верифікації формуються на основі стандартизованих методів вимірювання, аналітичних підходів та цифрових систем управління. Вимірювання кількості та складу будівельних відходів здійснюється відповідно до ISO 20904, ISO 14040/44 (LCA-методологія), європейських стандартів щодо демонтованих матеріалів (CEN/TC 350) та національних технічних регламентів [36]. Особливе значення має методологія оцінки утворених фракцій, що передбачає контроль обсягів матеріалів під час демонтажу, використання вагового та лабораторного аналізу, а також застосування типових норм утворення відходів для різних конструктивних систем будівель. Технологічна верифікація також включає застосування геоінформаційних систем (GIS), автоматизованих платформ обліку відходів, блокчейн-інструментів для забезпечення незмінності даних і систем IoT-моніторингу, які дають змогу відстежувати рух відходів від місця утворення до об'єктів перероблення.

Важливим компонентом технологічної верифікації є оцінка відповідності операцій управління відходами вимогам екологічної безпеки та циркулярності. Для цього застосовуються такі інструменти, як верифікація екологічних заяв (ISO 14021), аудит систем екологічного менеджменту (ISO 14001), а також незалежне оцінювання процесів перероблення і матеріального відновлення згідно з європейськими технічними специфікаціями [38]. Технологічна верифікація включає аналіз екологічних показників, таких як

відсоток відновлюваних матеріалів, рівень підготовки до повторного використання, вуглецевий слід операцій зі збирання й перероблення, а також відповідність технологічних процесів найкращим доступним технологіям (НДТМ, ВАТ).

Комплексність нормативних і технологічних механізмів забезпечує інтегровану основу для достовірного підтвердження інформації щодо управління будівельними відходами. Це, у свою чергу, робить верифікацію ключовим елементом переходу до циклічних моделей використання ресурсів та формує передумови для гармонізації українських практик з європейськими стандартами у сфері екологічного управління.

Розділ 3

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З БУДІВЕЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ НА ОБ'ЄКТІ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

3.1. Класифікація та морфологічний склад будівельних відходів

Будівельні відходи, що утворюються під час реконструкції, капітального ремонту або демонтажу об'єктів транспортної інфраструктури (доріг, мостів, тунелів, естакад), характеризуються специфічним морфологічним профілем, обумовленим конструктивними особливостями таких споруд. Згідно з міжнародною практикою (CEN/TC 351, EWC), вони класифікуються на інертні, неінертні та потенційно небезпечні фракції [37].

Основу морфологічного складу становлять мінеральні матеріали, які можуть досягати 70–90 % загальної маси: бетонні та залізобетонні уламки, асфальтобетон, щебеневі та піщані суміші, цементні стяжки. Відходи металів (арматура, сталеві елементи мостів, кріплення, кабельні системи) становлять у середньому 5–15 %, причому значна частина придатна до вторинної переробки. Деревина, пластики, полімерні мембрани, ізоляційні матеріали та геотекстиль утворюють дрібні фракції (до 5 %), але потребують окремого збирання через різні шляхи подальшої обробки. Потенційно небезпечні компоненти включають залишки бітумних матеріалів, фарб, мастик, епоксидних смол, азбестових виробів або контамінованих ґрунтів, що вимагають спеціального поводження та документованої ідентифікації.

Основою ефективного управління будівельними відходами (БВ) на об'єкті транспортної інфраструктури є їхня чітка класифікація та паспортизація. Ключовими методологічними вимогами до поводження з БВ є:

1. Ідентифікація та паспортизація (ТПО): На кожен фракцію відходів, утворених внаслідок демонтажу та реконструкції, складається Технічний паспорт відходу (ТПО). ТПО містить дані про походження, кількісні характеристики, морфологічний склад, клас небезпеки та фізико-хімічні властивості [41].

2. Застосування принципу ієрархії відходів: усі управлінські рішення щодо БВ повинні базуватися на ієрархії пріоритетів (запобігання, підготовка до повторного використання, переробка, інша утилізація, видалення), як того вимагає Рамкова директива ЄС [6]. В контексті дорожнього будівництва, ці вимоги забезпечують можливість для об'єкта в м. Дніпро перейти від ліквідації відходів до максимального рециклінгу інертних матеріалів.

Морфологічний склад відходів на об'єкті дорожньої реконструкції є відносно гомогенним і складається переважно з інертних мінеральних матеріалів, які утворюються при демонтажі та фрезеруванні існуючого дорожнього одягу (табл. 5).

Таблиця 5.

**Морфологічний склад та техніко-екологічна характеристика
ключових фракцій дорожно-будівельних відходів**

Фракція відходів	Частка від загальної маси, % (орієнтовно)	Технічна придатність до рециклінгу	Екологічна особливість
Асфальтобетонний бій (АББ)	20 – 30%	Висока. Використовується для виробництва асфальтогрануляту (РАР), який є ключовим компонентом	Містить бітум, який слугує в'язучим компонентом. Може виділяти леткі органічні сполуки при нагріванні.

		для холодного ре-сайклінгу дорожніх шарів	
Бетон та залізобетон (ЗБ)	50 – 65%	Висока. Виробництво рецикльованого щебеню (ВМС) для улаштування шарів основи дорожнього одягу	Інертний матеріал. Ризик: пилоутворення (дрібнодисперсні аерозолі), що вимагає контролю згідно з Наказом МОЗУ № 52
Ґрунти надлишкові	5 – 10%	Задовільна (за умови відсутності забруднення). Використовуються для зворотного засипання, планування території, або інженерного захисту.	Критично важливий хімічний аналіз на вміст нафтопродуктів та важких металів у зоні транспортних комунікацій.
Інші (деревина, пластик, метал)	До 5%	Низька (потребує окремого сортування та утилізації).	Органічні домішки знижують якість вторинного щебеню та є небажаними для дорожніх шарів.

Таким чином, будівельні відходи транспортних об'єктів становлять переважно мінеральні масиви високої густини, доповнені металевими та полімерними компонентами, а їх морфологічний склад визначає потребу у диференційованих технологіях сортування, перероблення та екологічно безпечного видалення.

Глибокий аналіз складу відходів необхідний для забезпечення не лише технічних, але й екологічних вимог до кінцевого продукту – вторинної мінеральної сировини (ВМС), що буде застосовуватися у дорожньому будівництві.

1. Фізико-механічні вимоги: ВМС (рецикльований щебінь, асфальтогранулят) повинна відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-119:2011 (зі змінами) щодо зернового складу, морозостійкості та міцності, необхідних для шарів основи дорожнього одягу [9].

2. Екологічна безпека ВМС: Небезпека БВ визначається ризиком міграції забруднюючих речовин у навколишнє середовище.

Наведена діаграма ієрархії відходів є інструментом для визначення пріоритетності стратегій управління відходами. Вона ранжує їх за впливом на навколишнє середовище у вигляді перевернутої піраміди, де найбільш екологічно чисті варіанти знаходяться зверху, а найменш – знизу (рис. 1).



Рис 1. Діаграма ієрархії відходів

Ця діаграма надає чітке візуальне керівництво для розуміння «3R»:

зменшення, повторне використання та переробка, а також їхнього місця в ширшому процесі управління відходами.

Найбажаніший варіант (Most Preferable) - на вершині піраміди, яскраво-зеленого кольору, знаходиться найбажаніший варіант. Яскравий колір символізує його позитивний вплив на навколишнє середовище та високий пріоритет. У цьому розділі наголошується на проактивних заходах щодо мінімізації відходів ще до їх утворення.

Уникайте та зменшуйте відходи (Avoid and Reduce Waste) - цей головний напрямок діяльності виступає за повне уникнення утворення відходів та зменшення споживання. Цього можна досягти шляхом усвідомлених покупок, вибору продуктів з меншою кількістю упаковки та вибору міцних, довговічних предметів замість одноразових. Ідея полягає в тому, щоб вирішити проблему в її витoku.

Повторне використання відходів (Reuse Waste) - другий рівень, трохи темніше зелений, зосереджений на повторному використанні предметів. Це означає пошук нових цілей для речей, які інакше могли б бути викинуті, наприклад, використання скляних банок для зберігання або ремонт зламаних предметів замість їх заміни. Повторне використання подовжує термін служби продуктів і зменшує потребу в нових ресурсах.

Переробка відходів (Recycle Waste) - далі йде переробка, знайома багатьом концепція. Це передбачає переробку відходів для створення нових продуктів, таких як перетворення пластикових пляшок на флісові куртки або паперу на нові паперові вироби. Хоча переробка корисна, вона вимагає енергії та ресурсів, тому її ранжують нижче рівня уникнення та повторного використання.

Відновлення енергії (Recover Energy) - рухаючись вниз по піраміді, варіанти стають менш екологічними. Відновлення енергії передбачає перетворення неперероблюваних відходів на корисне тепло, електроенергію або паливо за допомогою таких процесів, як спалювання або анаеробне розкладання. Це крок вище захоронення на сміттєзвалищі, але все ще має

вплив на навколишнє середовище.

Обробка відходів (Treat Waste) – це різні фізичні, хімічні або біологічні процеси, які змінюють характеристики відходів, щоб зробити їх менш небезпечними або зменшити їх об'єм. Це важливий крок для управління певними видами відходів, особливо з промислових джерел, перед остаточною утилізацією.

Утилізація відходів (Dispose of Waste) - останній і найменш бажаний варіант – це утилізація, що зазвичай означає відправку відходів на сміттєзвалище або спалювання без рекуперації енергії. Це крайній захід, оскільки він не передбачає відновлення ресурсів і може призвести до довгострокових екологічних проблем, таких як забруднення ґрунту та води.

Найменш бажаний (Least Preferable) - у самому низу піраміди, пофарбований у темно-червоний колір, знаходиться найменш бажаний варіант. Це означає найбільш шкідливий для навколишнього середовища результат і підкреслює важливість уникнення цього етапу, коли це можливо. Вузька точка піраміди візуально показує, що це має бути найменший компонент наших відходів (рис. 2).



Рис 2. Процес поводження з відходами

Для ВМС, що укладається в дорожнє полотно, критично важливим є відсутність фільтрату та мінімізація вмісту органічних домішок. Бетон може містити незначні кількості важких металів, які можуть вилуговуватися (виділятися у воду). Відповідно, технологічна схема мусить передбачати:

- Ефективне сортування для видалення всіх немінеральних компонентів.
 - Контроль якості ВМС шляхом лабораторних випробувань (перевірка показника рН, вмісту сульфатів та хлоридів), що гарантує екологічну інертність матеріалу в шарах дорожнього одягу.
3. Управління пилом: Враховуючи велику частку бетону та асфальту, процес дроблення і сортування створює значне пилоутворення. Екологічна діяльність на об'єкті має включати обов'язкове гідропилоподавлення (зрошення) для зниження концентрації твердих часток до рівня, що відповідає Гігієнічним регламентам ГДК [8], забезпечуючи таким чином екологічну безпеку для найближчих житлових зон.

3.2. Аналіз існуючої системи поводження з будівельними відходами на об'єкті

Аналіз існуючої системи поводження з будівельними відходами (БВ) на об'єкті реконструкції дорожньої інфраструктури в м. Дніпро дозволяє визначити базовий сценарій управління відходами, який є типовим для більшості будівельних майданчиків в Україні. Цей сценарій характеризується домінуванням найменш пріоритетних методів, що суперечить вимогам європейської ієрархії поводження з відходами [30].

Типова схема поводження з БВ на об'єкті дорожнього будівництва передбачає мінімальну обробку відходів та їхнє переважне видалення.

1. Неналежне роздільне збирання: На майданчику проводиться лише первинний, часто неповний, збір за фракціями. Фактично, більшість цінних інертних матеріалів (бетон, асфальтобетонний бій, цегла), що становлять до 95% маси відходів, збираються як мішана фракція. Єдиним винятком є металевий брухт, який здається на вторинну переробку [22].

2. Відсутність обробки: Відходи не проходять жодних операцій з оброблення (Treatment), як-от подрібнення, сортування або зменшення об'єму, що є обов'язковим згідно з європейськими стандартами [3, с. 10].

3. Домінування транспортування та захоронення: Основна маса мішаних БВ транспортується на ліцензовані полігони або звалища. Це є прямим наслідком того, що низькі тарифи на захоронення в Україні досі роблять його найдешевшим методом, на відміну від економічних моделей ЄС, які стимулюють переробку [17].

Базова схема поводження з БВ призводить до значних екологічних, економічних та ресурсних втрат, що створює обґрунтовану проблемну ситуацію для даного дослідження (табл. 6).

Таблиця 6

Базова схема поводження з будівельними відходами на об'єкті

Наслідок	Опис негативного впливу
Еко-логічний ризик	Порушення ієрархії відходів: Невиконання зобов'язань щодо 70% матеріальної утилізації БВ. Захоронення цінних інертних матеріалів призводить до нераціонального використання земельних ресурсів та збільшення техногенного навантаження в регіоні Дніпра
Ресурсний дисбаланс	Виснаження природних ресурсів: Об'єкт змушений закупувати та транспортувати первинний щебінь та пісок для укладання нових дорожніх шарів, тоді як аналогічні матеріали (рецикльований щебінь) відправляються на полігон.
Економічні втрати	Високі транспортні та сировинні витрати: Основні економічні витрати припадають на оплату тарифів за захоронення та логістику (транспортування відходів до полігонів і первинної сировини на майданчик).

Техно-логічні бар'єри	Відсутність ВАТ (ВАТ): Існуюча схема не відповідає принципам Найкращих доступних технологій, оскільки вона не застосовує інноваційні та ресурсоефективні методи обробки, які вимагає інтегрований екологічний дозвіл.
-----------------------	---

Типова схема поводження з будівельними відходами на об'єкті дорожнього будівництва характеризується низкою системних недоліків, що знижують ефективність ресурсного використання та посилюють екологічні ризики. Передусім процес формування відходів часто не супроводжується належною первинною ідентифікацією та роздільним збиранням, унаслідок чого різномірні мінеральні, асфальтобетонні, металеві та полімерні фракції змішуються, втрачаючи потенціал для подальшої переробки. Крім того, у більшості випадків відсутні стандартизовані процедури кількісного та якісного обліку, що унеможлиблює достовірне визначення обсягів матеріальних потоків та контроль за їх подальшим рухом. Поширеною проблемою є також недосконалість логістичних рішень: втрата матеріалів під час транспортування, відсутність маркованих майданчиків тимчасового зберігання та неналежне укладання змішаних фракцій призводять до погіршення їх технічних характеристик і збільшення витрат на оброблення. Додатковою вадою є те, що значна частина існуючих операцій з перероблення не відповідає вимогам найкращих доступних технологій, що обмежує можливість високоякісного матеріального відновлення асфальтобетону, мінеральних сумішей або металів. Нарешті, у типовій схемі недостатньо враховуються екологічні аспекти та ризики, зокрема потенційне забруднення ґрунтів і води при зберіганні відходів, викиди пилу та вторинного мікропластику при механічному дробленні, а також відсутність процедур контролю за наявністю небезпечних компонентів. Сукупність цих недоліків свідчить про потребу у формуванні інтегрованої системи управління відходами, що спиратиметься на стандартизовані методики,

технологічно оснащену інфраструктуру та прозорі механізми верифікації матеріальних потоків.

3.3. Перспективи розвитку системи управління системи поводження з будівельними відходами на об'єкті реконструкції дорожньої інфраструктури

Розвиток системи управління поводженням з будівельними відходами у сфері реконструкції дорожньої інфраструктури є важливим напрямом забезпечення екологічної та економічної ефективності будівельних процесів. Зростання масштабів дорожніх робіт супроводжується утворенням значних обсягів відходів, серед яких переважають асфальтобетон, бетонні конструкції, ґрунти та металеві елементи. Рациональне поводження з цими матеріалами потребує впровадження сучасних технологій сортування, переробки та повторного використання.

Перспективним напрямом є створення мобільних сортувально-переробних комплексів безпосередньо на будівельному майданчику. Це дозволяє зменшити витрати на транспортування відходів, скоротити навантаження на полігони та забезпечити оперативне отримання вторинних матеріалів для повторного використання у дорожньому будівництві. Особливого значення набуває застосування технологій дроблення асфальтобетонних покриттів з метою отримання рециклінгових сумішей, які можуть бути використані при укладанні нових шарів дорожнього полотна.

Важливим елементом перспективного розвитку є інтеграція цифрових систем моніторингу та обліку відходів. Використання інформаційних технологій дозволяє здійснювати контроль за обсягами утворення, маршрутами транспортування та ефективністю переробки матеріалів. Це сприяє підвищенню прозорості процесів та відповідності європейським екологічним стандартам.

Подальший розвиток системи управління відходами у дорожньому будівництві передбачає активне впровадження принципів циркулярної економіки. Використання вторинних матеріалів у виробництві дорожніх конструкцій знижує потребу у природних ресурсах та формує нові економічні можливості для підприємств. Водночас це відповідає стратегічним цілям Європейського Союзу щодо зменшення обсягів захоронення відходів та підвищення рівня їх переробки.

Таким чином, перспективи розвитку системи управління будівельними відходами на об'єктах реконструкції дорожньої інфраструктури пов'язані з технологічною модернізацією, цифровізацією процесів та впровадженням екологічно орієнтованих підходів. Реалізація цих напрямів забезпечить не лише екологічну безпеку, але й економічну доцільність дорожніх проектів у довгостроковій перспективі.

Розділ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО РОЗВИТКУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ

Ефективне управління будівельними відходами у післявоєнний період дозволяє суттєво зменшити ризики воєнного екоциду, оскільки неконтрольоване накопичення відходів руйнування спричиняє забруднення повітря, ґрунтів і поверхневих вод [31]. Рециклінг будівельних відходів стає стратегічним компонентом економічної відбудови та формує новий сегмент ринку вторинних будівельних матеріалів [32]. У європейських країнах розвиток технологій рециклінгу супроводжується державними стимулами, податковими пільгами та суворими екологічними вимогами до будівельних компаній [1]. Це дозволяє поєднати економічну вигоду з екологічною безпекою.

Враховуючи міжнародний досвід і наукові дослідження, Україна має можливість швидко інтегрувати передові технології управління будівельними відходами, зокрема:

- впровадження стандартів ЄС та ISO для оцінки повторного використання матеріалів;
- створення національної мережі пунктів сортування та переробки CDW;
- розвиток цифрових інструментів (BIM-моделювання, паспорти матеріалів);
- формування ринку вторинних будматеріалів як частини зеленої відбудови України;
- застосування біотехнологічних методів у рециклінгу відходів руйнувань.

4.1 Впровадження сучасних технологій переробки та утилізації будівельних відходів

Впровадження ефективної системи управління будівельними відходами (БВ) вимагає застосування Найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) (англ. *Best Available Techniques*, BAT), які мінімізують негативний вплив на довкілля та забезпечують високий рівень рециклінгу відповідно до цілей Директиви 2008/98/ЄС. У контексті БВ, НДТМ охоплює управлінські, організаційні та технологічні аспекти, які можна класифікувати як превентивні та технологічні практики. Ці практики спрямовані на реалізацію вищих щаблів ієрархії відходів (запобігання та повторне використання) та є критичними для підвищення якості вторинної сировини [30Тимощук Л. Європейські стандарти у галузі поводження з відходами: що це таке і як вони реалізуються в Україні? / Л. Тимощук. Київ : МБО «Екологія-Право-Людина», 2017. [Б. с.].].

Превентивні та технологічні практики управління будівельними відходами передбачають запобігання утворенню відходів та сортування на місці утворення. Для запобігання утворенню відходів (Prevention) на етапі проєктування застосовується концепція Дизайну для циркулярності (*Design for Circularity*). Це включає:

- Дизайн для демонтажу (DfD): Проєктування будівель із застосуванням модульних конструкцій та механічних з'єднань, що дозволяють легко та без пошкоджень відокремлювати компоненти (наприклад, металеві балки, панелі) для їхнього прямого повторного використання або сортування [6].
- Картування матеріалів (Material Mapping): Створення детального реєстру матеріалів, використаних у будівництві, для полегшення їхньої ідентифікації та поводження під час знесення. Це підвищує економічну цінність відходів.

Сортування на місці утворення (On-site Sorting) передбачає Роздільний

збір БВ безпосередньо на будівельному майданчику є ключовою управлінською НДТМ. Відходи мають бути розділені на фракції (бетон, цегла, деревина, ґрунт, метал) для запобігання їхньому забрудненню та збереження ресурсної цінності. Чистота фракцій є визначальною для якості вторинної сировини [30].

Технологічний аспект НДТМ спрямований на перетворення БВ на високоякісну вторинну сировину (ВВ), що відповідає вимогам стандарту ISO 9001.

А. Переробка інертних матеріалів (Бетон, Цегла, Камінь). Інертна фракція становить найбільший обсяг БВ і має найвищий потенціал рециклінгу (до 90%) [12].

- Мобільні дробильно-сортувальні комплекси (МДСК): Це НДТМ, що передбачає використання пересувного обладнання (дробарок, грохотів, магнітних сепараторів) безпосередньо на місці демонтажу. Це значно знижує логістичні витрати та екологічне навантаження від транспортування.

- Процес: Сортування = Попереднє подрібнення = Видалення металу (магнітна сепарація) = Основне дроблення = Калібрування (грохочення) = Виробництво вторинного щебеню (ВЩ).

- Отриманий продукт: Рецикльований заповнювач (*Recycled Aggregates, RA*), що використовується у будівництві доріг, у виробництві низькомарочних бетонів, а також для засипки.

Б. Переробка неінертних матеріалів.

- Деревина: Після сортування деревина може бути використана для виробництва біопалива (тріски, пелет) або деревних плит. Це відповідає пріоритету відновлення енергії над захороненням.

- Метал: Відокремлення металобрухту є високорентабельним і має найвищий рівень рециклінгу.

- Гіпс та сухі суміші: Гіпсокартонні відходи можуть бути перероблені в гіпсовий порошок для повторного використання у виробництві нових гіпсових виробів.

В. Утилізація з відновленням енергії (Energy Recovery).

Для тих фракцій БВ (наприклад, забруднені полімери, ізоляційні матеріали), які неможливо переробити, НДТМ передбачає термічну утилізацію.

- Термічна обробка: Здійснюється у спеціалізованих сміттєспалювальних установках (ССУ) з метою відновлення енергії¹³. Вимоги до викидів від таких установок суворо регламентуються Директивою 2010/75/ЄС про промислові викиди.

НДТМ вимагає суворого контролю якості вторинної сировини, що підтверджується стандартами:

- ISO 9001 (Якість): Встановлює вимоги до QMS переробних підприємств, забезпечуючи, що ВЩ має стабільні та прогнозовані фізико-механічні характеристики.

- Технічні умови (ТУ): Рецикльовані матеріали повинні мати ТУ, які регламентують можливість їхнього застосування у різних галузях (наприклад, як заповнювач для бетону або матеріал для дорожніх насипів).

Таким чином, сучасні технології управління БВ – це комплекс інтегрованих рішень, спрямованих на досягнення 70% рециклінгу за умови суворого дотримання екологічних та якісних стандартів ЄС.

4.2. Технології сортування та первинної обробки будівельних відходів

Технології сортування та первинної обробки будівельних відходів становлять ключовий етап у системі їх раціонального управління. Вони забезпечують відокремлення придатних до повторного використання матеріалів та мінімізацію екологічних ризиків. Сортування будівельних

відходів є базовою операцією, що визначає подальші напрями їх утилізації та переробки. На цьому етапі здійснюється розділення матеріалів за фізико-хімічними властивостями, а також ідентифікація небезпечних компонентів. Такий підхід дозволяє зменшити обсяг відходів, що потрапляють на полігони, підвищити частку матеріалів, придатних для повторного використання, та забезпечити відповідність екологічним стандартам і директивам ЄС.

Первинна обробка охоплює технології, що готують відходи до подальшої переробки або утилізації. До основних належать механічне дроблення та подрібнення, що застосовується для бетону, цегли та каменю з метою отримання вторинного щебеню. Магнітна сепарація використовується для вилучення чорних металів із суміші відходів. Сита та грохоти забезпечують класифікацію матеріалів за гранулометричним складом. Ручне сортування актуальне для невеликих обсягів або специфічних матеріалів, що потребують точного відбору. Видалення небезпечних домішок включає спеціальні процедури для азбестових матеріалів та фарб із вмістом важких металів.

Сучасні підприємства застосовують мобільні та стаціонарні сортувально-переробні лінії, які поєднують кілька технологій у єдиному процесі. Такі комплекси дозволяють автоматизувати сортування, отримувати стандартизовану вторинну сировину та інтегрувати процеси переробки у систему циркулярної економіки. Впровадження технологій сортування та первинної обробки сприяє зниженню навантаження на довкілля через скорочення обсягів захоронення, економії природних ресурсів завдяки повторному використанню матеріалів та створенню ринку вторинної сировини. Таким чином, ці технології є фундаментом сучасної системи управління будівельними відходами, що поєднує екологічні та економічні цілі та забезпечує перехід до моделі циркулярної економіки.

Першим етапом управління CDW відповідно до міжнародних стандартів є сортування на джерелі утворення, що дає можливість

підвищити чистоту фракцій та зменшити вартість подальшої переробки. Європейські практики передбачають застосування мобільних сортувальних ліній, технологій автоматичного розпізнавання матеріалів (NIR-сенсори, магнітні сепаратори), а також BIM-моделювання для прогнозування структури майбутніх відходів ще на етапі проєктування.

Замість класичного демонтаж і руйнування тепер все частіше застосовують вибіркового розбір споруд: знімають, розбирають конструкції, зберігають цінні чи придатні для повторного використання елементи (деревина, двері, вікна, деякі конструктивні матеріали, ін.). Такий підхід зменшує обсяг «відходів», дає змогу повторно використовувати матеріали й значно зменшує екологічний та ресурсний навантаження.

Після збирання будівельного бою (бетон, цегла, асфальт, ін.) відбувається сортування, видалення арматури, металу, сторонніх домішок, після чого дроблення, поділ по фракціях, очищення. Отриманий вторинний матеріал (щебінь, дрібний гравій, заповнювачі) може використовуватись у дорожньому будівництві, при підсіпках, засіпках, для виробництва нових бетонних/цементних сумішей.

4.3. Технології рециклінгу та матеріальної утилізації будівельних відходів

Технології рециклінгу та матеріальної утилізації будівельних відходів є ключовим елементом переходу будівельної галузі до моделі циркулярної економіки, у межах якої матеріальні потоки не виводяться з обігу, а повертаються у виробничий цикл у вигляді вторинних ресурсів. Ефективне застосування таких технологій дозволяє не лише зменшити обсяги відходів, що підлягають захороненню, але й скоротити споживання первинних природних ресурсів, знизити екологічні ризики та оптимізувати економічні витрати у масштабах усього життєвого циклу будівельної продукції.

Одним із базових напрямів є механічний рециклінг, що передбачає дроблення, подрібнення, сортування та сепарацію будівельних відходів для отримання вторинних заповнювачів. Залізобетонні, бетонні та кам'яні фрагменти підлягають первинному відділенню металевої арматури, після чого подаються на подрібнення з подальшим фракціонуванням відповідно до технічних вимог. Отримані матеріали можуть застосовуватися у дорожньому будівництві, приготуванні сухих будівельних сумішей, виробництві бетонів із частковою заміною природного заповнювача тощо. Поширення технологій високоточного сортування — оптичного, магнітного, електростатичного підвищує якість кінцевої продукції та розширює сфери її застосування.

Іншим перспективним напрямом є термічна та фізико-хімічна утилізація, що включає технології термооброблення, спікання, очищення та активації матеріалів. Наприклад, термічне очищення деревини або органічно забруднених компонентів дозволяє отримати безпечну сировину для виготовлення будівельних плит чи біокомпозитів. Водночас процеси активації мінеральних відходів — промислових зол, шламів, бетонного пилу забезпечують можливість їх використання у виробництві цементів, геополімерів або нових композиційних матеріалів, що мають нижчий вуглецевий слід порівняно з традиційними цементними продуктами.

Особливу увагу у сучасних дослідженнях приділено комбінованим технологіям, які поєднують механічні, хімічні та цифрові методи контролю якості. Вони забезпечують більш точну класифікацію фракцій, зменшують частку невикористовуваних відходів та дозволяють отримати вторинні матеріали високої якості, придатні для застосування у нових конструкціях. Такий підхід є необхідним для підвищення довіри з боку проєктних організацій і замовників, особливо при виробництві матеріалів з високими вимогами до міцності, морозостійкості та довговічності.

У контексті відбудови України технології рециклінгу відіграють системоутворюючу роль, оскільки дозволяють перетворити значні обсяги

будівельних відходів, утворених унаслідок руйнувань, на ресурс для подальших будівельних робіт. Масштабне впровадження матеріальної утилізації знижує навантаження на полігони, мінімізує екологічні наслідки та сприяє розвитку внутрішнього ринку вторинних матеріалів. Крім того, застосування сучасних технологій рециклінгу відповідає європейським екологічним стандартам, що є важливим чинником інтеграції України у єдиний екологічний та економічний простір ЄС.

Найпоширеніший метод: відходи (бетон, цегла, асфальт, метал, дерево тощо) сортують, очищують, подрібнюють — і повертають у виробництво як вторинну сировину. Наприклад, бетонний або цегляний бій дроблять і використовують як щебінь, який йде на будівництво доріг, підсіпки, засипки, підготовку основ, — або як заповнювач у нових бетонних/будівельних сумішах. За відповідної рецептури й контролю складу, вторинний щебінь (з бетону/цегли) може замінити природний гравій чи щебінь у деяких видах конструкцій, що зменшує потребу в первинних матеріалах.

Мінеральні будівельні відходи (бетон, цегла, будівельний камінь) становлять до 80–85 % маси CDW. Публікації Фісуненка і Герасимової (2022) підкреслюють, що перероблення мінеральних відходів у контексті воєнного екоциду є не лише екологічно доцільним, а й критично важливим для мінімізації наслідків руйнувань та зменшення обсягу полігонного зберігання. Міжнародна практика використовує такі рішення:

- дроблення та грануляція для отримання вторинного щебеню різних фракцій;
- пневмосепарація та гідросепарація для очищення від пилу та домішок;
- мікробіальна мінералізація (МІСР) для зміцнення вторинних агрегатів та підвищення їх придатності для бетону;
- CO₂-карбонізація для зменшення пористості та покращення характеристики вторинного щебеню.

Біотехнологічні методи переробки. Сучасні міжнародні підходи

враховують перспективу застосування біотехнологій:

- мікробіальна карбонізація для зв'язування CO₂ в бетонних відходах;
- ферментативна деструкція полімерів (ПВХ, ППУ, епоксидних смол);
- біолуження металів із забруднених мінеральних фракцій;
- грибні композити (mushroom-composites) для оброблення деревинних відходів та створення нових матеріалів.

Ці технології відповідають принципам low-carbon circularity, які активно впроваджуються в країнах Північної Європи.

Таким чином, технології рециклінгу та матеріальної утилізації будівельних відходів становлять основу сталого управління ресурсами в будівельній галузі. Їх розвиток і впровадження забезпечують зменшення антропогенного впливу, покращення ефективності будівельних процесів та створення передумов для формування конкурентоспроможного ринку вторинних матеріалів.

4.4. Повторне використання цілих конструкцій і елементів

Повторне використання цілих конструкцій та окремих будівельних елементів розглядається у сучасній практиці сталого будівництва як один із найбільш ефективних способів зниження матеріаломісткості та вуглецевого сліду будівельних проєктів. На відміну від перероблення, яке передбачає трансформацію матеріалів у новий продукт, повторне використання сприяє максимально повному збереженню первинної функціональності виробів, що дозволяє уникнути додаткових витрат на енергетичні та технологічні процеси. Такий підхід є ключовим елементом циркулярної економіки, адже забезпечує подовження життєвого циклу ресурсів та зменшення утворення відходів на етапі демонтажу.

З технічної точки зору, найбільш перспективними для повторного використання є конструкції, що зберегли несучу здатність і мають стандартизовані геометричні параметри, зокрема металеві балки, ферми,

плити перекриття, модульні елементи, дерев'яні конструкції та інженерні вузли. Важливим етапом є їх попередня оцінка, що включає інструментальну діагностику, аналіз фізичного стану, визначення залишкового ресурсу та відповідність сучасним нормам безпеки. Розвиток методів селективного демонтажу сприяє збереженню цілісності таких елементів і зменшує ризик їх пошкодження.

Впровадження практик повторного використання вимагає також наявності інституційної та цифрової інфраструктури, зокрема складів повторного застосування, електронних платформ обліку доступних елементів та паспортів конструкцій, які містять інформацію про їх технічні характеристики, історію експлуатації та можливі сфери застосування. Наявність таких інструментів забезпечує прозорість походження елементів, зменшує невизначеність для проєктувальників і полегшує включення повторно використаних елементів у нові будівельні проєкти.

З екологічної точки зору повторне використання цілих конструкцій дозволяє досягти значного скорочення вбудованого вуглецю, оскільки виключає енергоємні процеси виробництва нових матеріалів. Економічні вигоди полягають у зменшенні витрат на закупівлю нових конструкцій, скороченні обсягів відходів і, відповідно, витрат на їх видалення. У масштабах національної відбудови, як у випадку України, така практика може стати чинником стабілізації ринку будівельних матеріалів та зменшення залежності від імпорту.

Отже, повторне використання конструкцій і будівельних елементів є важливим напрямом упровадження принципів циркулярності у будівельну галузь. Його реалізація потребує розвитку технологічних рішень, якісної нормативної бази та ринкової інфраструктури, що забезпечують безпечно, ефективно та економічно обґрунтоване повторне застосування ресурсів у нових проєктах.

Відповідно до ISO 20887:2020 і принципів «design for deconstruction», сучасні стандарти рекомендують не тільки переробляти матеріали, але й

повторно використовувати цілі конструктивні елементи [39]:

- сталеві балки та колони;
- залізобетонні плити та блоки після оцінки міцності;
- дерев'яні конструкції після біологічної дезінфекції;
- дверні та віконні блоки.

Дослідження в ЄС підтверджують, що повторне використання елементів може скоротити вуглецеві викиди до 60 % у порівнянні з традиційною утилізацією.

Відходи, які пройшли переробку, використовують як наповнювачі у сухих будівельних сумішах (розчини, суміші), у виробництві бетонних блоків, доріжок, для фундаментів, підсіпок. Це дозволяє зменшити залежність від природного щебеню/гравію та знизити витрати ресурсів. Використання нестандартних техногенних відходів (наприклад, промислові шлами, попели, відходи хімічної промисловості) у виробництві будівельних матеріалів: як складові в'язучих, наповнювачів, спеціальних бетонів чи сумішей.

Ефективна переробка будівельних відходів є частиною переходу до економіки замкнутого циклу, де основний принцип – спочатку скорочення, потім повторне використання, потім рециклінг. В умовах індустріалізації, масштабних забудов чи відновлення такі підходи мають особливу цінність: вони знижують екологічне навантаження, зменшують потребу у природних матеріалах, скорочують обсяги звалищ.

4.5. Створення мережі пунктів сортування та переробки будівельних та демонтажних відходів

Для України ключовим є врахування того, що більшість будівельних та демонтажних відходів (CDW) утворюється внаслідок руйнувань житлової та промислової забудови, що потребує особливої уваги до процедур переддемонтажного аудиту, радіаційного та хімічного контролю, а також

лабораторної верифікації матеріалів. Створення пунктів сортування має передбачати встановлення мобільних і стаціонарних ліній, здатних обробляти бетон, цеглу, метал, дерево та змішані відходи, а також технології видалення домішок, що впливають на відповідність матеріалів європейським нормам EN 206, EN 12620 та вимогам ISO 14001 і ISO 20887 [34]. Впровадження таких пунктів дозволить забезпечити стандартизоване сортування CDW, мінімізувати витрати на транспортування та підвищити частку відходів, що переходять у вторинну переробку.

Створення мережі пунктів сортування будівельних та монтажних відходів (CDW) в Україні потребує системного підходу, що враховує як міжнародні стандарти, так і особливості післявоєнної відбудови. Досвід країн Європейського Союзу, зокрема Нідерландів, Данії та Німеччини, демонструє, що ефективність системи управління CDW визначається не лише рівнем технологічного оснащення таких пунктів, а й інтегрованістю їх у загальну інфраструктуру циркулярної економіки. У цих країнах пункти сортування функціонують як проміжні логістично-переробні хаби, які забезпечують відокремлення матеріальних потоків, первинну очистку фракцій, класифікацію компонентів за стандартами повторного використання та формування товарних партій вторинної сировини.

Важливим елементом міжнародного досвіду, який доцільно адаптувати в Україні, є інтеграція пунктів сортування з цифровими інструментами управління матеріальними потоками. У більшості держав ЄС впроваджено системи електронної ідентифікації партій CDW, включно з цифровими паспортами матеріалів, що забезпечують простежуваність від моменту демонтажу до повторного використання. Адаптація таких рішень сприятиме підвищенню довіри до вторинних матеріалів на ринку, а також відповідності відбудови стандартам ESG-звітності.

З огляду на масштаби руйнувань та просторову нерівномірність їх концентрації, для України оптимальною є комбінована модель розміщення пунктів сортування, що включає регіональні стаціонарні центри у великих

містах та мобільні модулі для оперативної обробки відходів у громадах, де ведуться роботи з розбору завалів. Світовий досвід показує, що саме така модель забезпечує найкраще співвідношення економічної ефективності та екологічного контролю.

Створення мережі пунктів CDW-сортування є стратегічною передумовою екологічно безпечної та ресурсоефективної відбудови України. Аналіз найкращих світових практик показує, що оптимальною для України є комбінована модель, яка поєднує муніципальні центри, регіональні переробні хаби та мобільні станції, підтримані стандартизацією, цифровізацією та розвитком ринку вторинних матеріалів. Таким чином, створення мережі пунктів CDW-сортування в Україні на основі кращого міжнародного досвіду є необхідною умовою переходу до циркулярної моделі відбудови, підвищення якості вторинної сировини та забезпечення відповідності процесів управління відходами міжнародним екологічним стандартам.

4.6. Впровадження цифрових інструментів управління відходами

Цифровізація процесів управління будівельними відходами стає ключовою передумовою підвищення прозорості, простежуваності та ефективності операцій у сфері циркулярної економіки. У контексті міжнародних стандартів, зокрема вимог ЄС щодо електронного обліку потоків відходів та впровадження Building Information Modeling (BIM), цифрові інструменти забезпечують системну підтримку рішень на всіх етапах життєвого циклу будівельних матеріалів — від проєктування до демонтажу.

Одним із ключових елементів такої цифрової екосистеми є електронні платформи відстеження потоків відходів, що дають змогу у реальному часі фіксувати їх походження, обсяги, морфологічний склад та маршрути переміщення. Інтеграція даних із системами підрядників, перевізників і

переробних підприємств мінімізує ризики несанкціонованого видалення та сприяє дотриманню вимог екологічного законодавства. Такі системи також дозволяють автоматизувати формування звітності та оптимізувати логістичні схеми, знижуючи витрати на транспортування й утилізацію.

Важливою складовою сучасного підходу є використання BIM-моделей як інструменту прогнозування майбутніх потоків будівельних відходів. Завдяки цифровим двійникам будівель можливо ідентифікувати матеріали, обсяги та потенційні варіанти повторного використання задовго до початку робіт з демонтажу. Це створює принципово нові можливості для планування ресурсоефективних рішень і підвищення частки матеріалів, придатних для рециклінгу.

Особливе значення у міжнародній практиці має впровадження паспортів будівельних матеріалів (Materials Passports). Ці цифрові документи містять структуровану інформацію про походження, матеріальний склад, екологічні характеристики та можливі сценарії повторного використання або перероблення конкретних компонентів будівлі. Матеріальні паспорти, інтегровані в BIM- або інші цифрові системи, забезпечують прозору історію матеріалів протягом усього їх життєвого циклу та формують основу для майбутнього вилучення матеріальної цінності під час реконструкції або демонтажу. Таким чином, вони стають ключовим інструментом переходу від лінійної до циркулярної моделі управління ресурсами.

Узагальнюючи, впровадження цифрових рішень у сфері управління будівельними відходами створює технологічні умови для суттєвого підвищення ефективності матеріальних потоків, зменшення екологічних ризиків та посилення відповідності міжнародним стандартам сталого будівництва. Для України такі інструменти є особливо актуальними в умовах масштабної відбудови, адже забезпечують якісний перехід до сучасної системи ресурсоефективного управління будівельними матеріалами та відходами.

4.7. Формування ринку вторинних будівельних матеріалів як елемент зеленої відбудови України

Формування повноцінного ринку вторинних будівельних матеріалів є одним із ключових чинників переходу України до моделей ресурсоефективності та циркулярної економіки в умовах масштабної післявоєнної відбудови. Значні обсяги будівельних відходів, утворених унаслідок руйнувань та демонтажу застарілої інфраструктури, створюють безпрецедентний потенціал для заміщення первинних природних ресурсів продуктами перероблення. Водночас перетворення цього потенціалу на економічно життєздатний ринок потребує створення регуляторних, технологічних та інституційних умов, здатних забезпечити стабільний попит, стандартизовану якість і прозорі механізми обігу вторинної продукції.

Однією з першочергових передумов є уніфікація технічних вимог і стандартів для вторинних матеріалів, що використовуються у дорожньому, житловому та промисловому будівництві. Визначення чітких критеріїв якості, строків придатності, фізико-механічних властивостей та екологічних обмежень дозволяє мінімізувати технологічні ризики та забезпечує довіру з боку проєктувальників і підрядників. Наявність таких стандартів, гармонізованих із вимогами ЄС, сприятиме також розширенню ринку збуту та інтеграції української будівельної галузі у міжнародні ланцюги постачання.

Важливим чинником є створення економічних стимулів, що забезпечують конкурентоспроможність вторинних матеріалів порівняно з продукцією з первинної сировини. Сюди належать механізми «зелених» закупівель, податкові інструменти, компенсаційні програми для інвесторів у переробні комплекси та вимоги до мінімального вмісту рециклінгу в будівельних проєктах. Такі заходи формують передбачуваний попит,

необхідний для залучення приватних інвестицій і розвитку виробничих потужностей.

Не менш важливим елементом є простежуваність і цифрова підтримка ринкових операцій. Електронні реєстри потоків відходів та змін матеріальних циклів, а також цифрові платформи торгівлі вторинними матеріалами забезпечують прозорість їх походження та технічних характеристик. Це є критичним для запобігання нелегальним практикам, зниження транзакційних витрат і підвищення довіри з боку замовників, особливо у великих інфраструктурних проєктах.

У процесі відбудови України ринок вторинних матеріалів набуває не лише економічної, а й стратегічної цінності. Він створює можливості для зменшення залежності від імпорту та відновлення порушених ланцюгів постачання, сприяє розвитку локальних підприємств і забезпечує глибше залучення місцевих громад. Крім того, використання продуктів перероблення дозволяє значно знизити вуглецевий слід будівельних проєктів та оптимізувати споживання природних ресурсів.

Таким чином, формування ринку вторинних будівельних матеріалів є невід'ємною складовою зеленої відбудови України. Його розвиток забезпечує не лише екологічну стійкість та економічну ефективність будівельної галузі, але й сприяє інтеграції країни у європейський простір циркулярної економіки. У результаті такий ринок стає інструментом, що поєднує екологічні пріоритети, інноваційний розвиток та довгострокову економічну стабільність держави.

Застосування технологій повторного використання та перероблення будівельних відходів забезпечує істотне скорочення обсягів відходів, що направляються на полігони, та, відповідно, зменшує навантаження на існуючу інфраструктуру видалення. Використання вторинної сировини знижує потребу у видобутку природних нерудних матеріалів, що сприяє зменшенню втручання у геологічне середовище та збереженню природних

ресурсів. Завдяки нижчій вартості вторинних матеріалів зменшуються сукупні витрати на будівельні роботи, що підвищує економічну ефективність проєктів. Крім того, впровадження циркулярних підходів у будівництві підтримує принципи екологічної сталості, сприяє зменшенню вуглецевого сліду та відповідає сучасним європейським екологічним вимогам.

Разом із тим, широке впровадження технологій рециклінгу та повторного використання обмежується низкою факторів. Значна частина будівельних відходів потребує попереднього сортування, очищення або спеціальної підготовки, оскільки не всі фракції є придатними для прямого повторного застосування. Вторинні матеріали можуть демонструвати нижчі показники міцності чи довговічності порівняно з первинними аналогами, що зумовлює потребу у коригуванні технологічних рецептур або додатковому технічному контролі. Для забруднених, небезпечних або змішаних відходів процеси перероблення є технологічно складними або економічно нерентабельними. Крім того, ефективна реалізація циркулярних підходів неможлива без розвиненої інфраструктури – сучасних сортувальних пунктів, дробильних та сепараційних комплексів, а також стабільних ринків збуту вторинної продукції.

На сучасному етапі розвитку будівельної галузі переважає тенденція максимізації повторного використання матеріалів та розширення практик матеріального рециклінгу. Технології механічного дроблення, сортування та перетворення будівельних відходів на вторинні щебеневі та заповнювальні матеріали вже становлять базовий елемент інфраструктури сталого будівництва. Паралельно розвиваються інноваційні форми ресурсної утилізації, що передбачають використання техногенних шламів, промислових побічних продуктів і комбінованих матеріалів у складі сучасних будівельних сумішей.

Для України, де обсяги будівництва, реконструкції та відновлення інфраструктури є потенційно значними, такі підходи відкривають

можливість суттєво зменшити екологічний тиск, підвищити ресурсну ефективність та скоротити фінансові витрати, пов'язані з придбанням матеріалів і видаленням відходів. У довгостроковій перспективі це формує засади переходу до повноцінної циркулярної економіки в будівельному секторі.

Висновки

1. Аналіз міжнародних та національних нормативних документів свідчить, що система управління будівельними відходами в Україні істотно відстає від вимог директив ЄС і стандартів ISO, що обґрунтовує необхідність законодавчої гармонізації для забезпечення прозорості матеріальних потоків, екологічної безпеки та інтеграції у європейську практику циркулярної економіки.

2. Дослідження технологій поводження з будівельними та демонтажними відходами показало, що найвищу ефективність забезпечує багатоступенева система, заснована на сортуванні, мобільному дробленні та повторному використанні мінеральних фракцій, що свідчить про доцільність створення національної мережі пунктів сортування будівельних і демонтажних відходів (Construction and Demolition Waste Sorting Facilities, CDW-centers), як базової інфраструктури для зеленої відбудови.

3. Внаслідок аналізу європейського досвіду визначено, що впровадження стандартів ISO 20887, EN 15804 та ISO 14001 дозволяє підвищити якість переддемонтажного аудиту та оцінки матеріалів, що, у свою чергу, дає змогу збільшити частку повторного використання будівельних елементів і оптимізувати планування демонтажу.

4. Обґрунтовано використання BIM-моделювання та цифрових паспортів матеріалів для забезпечення точного документування характеристик будівельних конструкцій протягом життєвого циклу, що дозволяє підвищити прогнозованість потоків будівельних і демонтажних відходів та мінімізувати нецільове захоронення відходів.

5. На основі економічних механізмів рециклінгу в країнах ЄС відзначено, що ринок вторинних будівельних матеріалів формується лише за умов стандартизації якості, екологічної сертифікації та наявності стимулів для їх використання, що свідчить про необхідність розвитку в Україні системи EPD-декларацій і цифрових платформ торгівлі CDW-фракціями.

6. На основі узагальнення українських та зарубіжних досліджень запропоновано, системну інтеграцію європейських стандартів і технологій переробки CDW, що може зменшити екологічні наслідки воєнних руйнувань, забезпечити ресурсозбереження та підвищити стійкість будівельної галузі, а також відкриває нові можливості для поетапного переходу до моделі зеленої відбудови.

Список використаних джерел

1. Березюк, О. В., Лемешев, М. С., & Боднар, П. С. (2024). Динаміка поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 36(1), 34-40.
2. ДБН В 1.1-25:2009 : Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. — Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. — 33 с. (Чинний від 01.07.2010).
3. ДБН В 1.1-25:2009 : Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. — Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. — 33 с. (Чинний від 01.07.2010)
4. ДБН В 1.1-45:2017 : Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення. — Київ : Мінрегіон України, 2017. — 33 с. (Чинний від 01.07.2017).
5. ДБН В.1.2-2:2006 : Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. — Київ : Мінбуд України, 2006. — 132 с. (Чинний від 01.07.2007).
6. ДИРЕКТИВА № 2008/98/ЄС ПРО ВІДХОДИ (РАМКОВА ДИРЕКТИВА ПРО ВІДХОДИ). Проект фінансується Європейським Союзом. Київ : МБО «Екологія-Право-Людина», [б. р.]. 11 с..
7. Директива Європейського Парламенту та Ради 2008/98/ЄС від 19 листопада 2008 року про відходи та скасування деяких Директив // Екологія-Право-Людина : [Електронний ресурс]. — Режим доступу:
8. ДСТУ 3911-99 (ГОСТ 17.9.0.1-99). Охорона природи. Поводження з відходами. Виявлення відходів і подання інформаційних даних про відходи. Загальні вимоги. [Чинний від 1999-07-01]. Київ : Держстандарт України, 1999. 18 с.

9. ДСТУ 7234:2011. Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки. [Чинний від 2011–08–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 19 с.
10. ДСТУ 9171:2021 Настанова щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів під час проектування споруд
11. Екологічна безпека : конспект лекцій для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» / О. С. Волошкіна, В. Трофімович, Ю. О. Березницька. Київ : КНУБА, 2014. 44 с.
12. Екологічна стандартизація та запобігання впливу відходів на довкілля : навч. посіб. / В. К. Хільчевський, М. Р. Забокрянська, Р. Л. Кравчинський. Київ : Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2016. 192 с.
13. Закон України № 2320-ІХ від 20.06.2022 Про управління відходами
14. Закон України № 922-VIII від 25.12.2015 Про публічні закупівлі,
15. Курепін, В. М. (2024). Рециклінг та утилізація будівельних відходів в Україні: виклики та перешкоди.
16. Наказ Міндовкілля "№ 288 від 15.03.2024 Про затвердження Методичних рекомендацій з розроблення місцевих планів управління відходами
17. Наказ Міндовкілля № 263 від 10.02.2025 Про затвердження Правил технічної експлуатації полігонів, припинення експлуатації, рекультивациі та догляду за полігонами після припинення їх експлуатації
18. Наказ Міндовкілля № 1003 від 09.08.2024 Про затвердження Порядку розроблення планів управління відходами підприємств, установ та організацій
19. Наказ Міндовкілля № 1534 від 26.11.2024 Про затвердження Порядку ведення державного обліку відходів та подання звітності та Типової форми обліку відходів

20. Наказ Міндовкілля № 403 від 16.04.2024 Про затвердження Методичних рекомендацій з розроблення регіональних планів управління відходами
21. Наказ Міндовкілля № 455 від 29.04.2024 Про затвердження Вимог до плану приведення місця розміщення відходів у відповідність з вимогами законодавства
22. Наказ Міндовкілля № 729 від 31.10.2023 Про затвердження Порядку здійснення перевірки відповідності матеріально-технічної бази здобувача ліцензії технологічним вимогам до здійснення господарської діяльності з управління небезпечними відходами, правилам технічної експлуатації установок та технологічним регламентами
23. Нонік, Л. Ю., Пацева, І. Г., & Пічкур, Т. В. (2023). Розроблення стратегії управління відходами руйнацій в умовах воєнного стану.
24. Постанова КМУ № 1102 від 20.10.2023 Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів
25. Постанова КМУ № 556 від 07.05.2022 Деякі питання подання декларації про відходи
26. Постанова КМУ № 667 від 30.06.2023 Про затвердження Порядку розроблення та затвердження регіональних планів управління відходами
27. Постанова КМУ № 1073 від 27.09.2022 Про затвердження Порядку 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 та внесення змін до деяких постанов КМУ
28. Розпорядження КМУ № 1353-р від 27.12.2024 Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033
29. Технології захисту навколишнього середовища : навч. підруч. / Т. М. Ткаченко, О. С. Волошкіна, І. Б. Кордуба, О. Г. Жукова, А. В. Ковальова. Київ : КНУБА, 2024. 235 с.

30. Тимощук Л. Європейські стандарти у галузі поводження з відходами: що це таке і як вони реалізуються в Україні? / Л. Тимощук. Київ : МБО «Екологія-Право-Людина», 2017. [Б. с.].
31. Фісуненко, П. А., & Герасимова, О. Л. (2022). Напрями зменшення ризиків воєнного екоциду за допомогою рециклінгу будівельних відходів в девелопменті нерухомості. *Економіка та суспільство*, (45).
32. Antoniuk, N., & Kostiuk, V. (2024). Рециклінг будівельних відходів під час війни в Україні. *Aktual'ni Problemy Ekonomiky= Actual Problems in Economics*, (277), 130-142.
33. Circular Economy Action Plan – План дій щодо циркулярної економіки, включно з відходами та переробкою.
34. Directive 1999/31/EC on the Landfill of Waste (Landfill Directive) – Директива щодо захоронення відходів на полігонах.
35. Directive 2000/53/EC on End-of-Life Vehicles (ELV) – Директива щодо утилізації транспортних засобів, що вийшли з експлуатації.
36. Directive 2006/66/EC on Batteries and Accumulators – Директива про батареї та акумулятори.
37. Directive 2008/98/EC on Waste (Waste Framework Directive) – Основна директива ЄС про управління відходами.
38. Directive 2010/75/EU on Industrial Emissions (IED) – Регламент промислових викидів, включаючи поводження з небезпечними відходами.
39. Directive 2012/19/EU on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) – Директива про відходи електричного та електронного обладнання.
40. Directive 2018/851/EU amending the Waste Framework Directive – Оновлення рамкової директиви про відходи щодо рециклінгу та обмеження захоронення.
41. Directive 2018/852/EU amending the Packaging and Packaging Waste Directive – Оновлення директиви щодо упаковки та відходів упаковки.

42. Directive 2019/904/EU on the Reduction of the Impact of Certain Plastic Products on the Environment (Single-Use Plastics Directive) – Директива щодо одноразових пластикових виробів.
43. Directive 94/62/EC on Packaging and Packaging Waste – Директива щодо пакувальної продукції та відходів упаковки.
44. EU Waste Statistics (Eurostat) – Офіційна статистика щодо утворення та переробки відходів в ЄС.
45. European Green Deal – Стратегія ЄС щодо сталого розвитку та циркулярної економіки, включно з управлінням відходами.
46. Regulation (EC) No 1013/2006 on Shipments of Waste – Регламент щодо транспортування та перетину кордону відходів.
47. Regulation (EU) 2019/1021 on Persistent Organic Pollutants (POPs) – Регламент щодо поводження з постійними органічними забруднювачами.