МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Факультет економіки та екології моря

Кафедра екології та природоохоронних технологій

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

«09» 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: **Екологічно орієнтовані підходи до управління будівельними відходами післявоєнної відбудови**

Виконав студент 6 курсу, групи 6271м

_____ Кірток А. В.
(підпис)

Керівник роботи: викладач кафедри
екології та природоохоронних технологій

_____ Недорода В. М.
(підпис)

Миколаїв 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Факультет: факультет економіки та екології моря

Кафедра: екології та природоохоронних технологій

Спеціальність: 101 «Екологія»

Освітня програма: Екологія та охорона навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

«09» 12 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студенту: Кіртоку Артему Володимировичу

1. Тема роботи: Екологічно орієнтовані підходи до управління будівельними відходами післявоєнної відбудови

керівник роботи Недорода В. М., PhD.

затверджені наказом ректора № 1312-УЧ від «31» жовтня 2025 р.

2. Термін подання роботи 10.12.2025 р.

3. Вихідні дані по роботі: статистичні дані та аналітичні звіти про обсяги руйнувань та утворення будівельних відходів в Україні та Миколаївській області; нормативно-правові акти у сфері управління відходами (Закон України «Про управління відходами»); результати власного соціологічного опитування населення м. Миколаїв; технічні характеристики мобільного обладнання для рециклінгу; наукові методики оцінки життєвого циклу матеріалів; дані про фізико-механічні властивості вторинної будівельної сировини.

4. Перелік питань, що належать до розробки: провести аналіз масштабів утворення та морфологічного складу відходів руйнувань, оцінити екологічні ризики існуючих практик поводження з будівельними відходами; дослідити рівень екологічної свідомості та готовність стейкхолдерів до впровадження

нових моделей управління відходами руйнувань; розробити алгоритм вибору оптимальних технологій переробки залежно від обсягів та логістики; обґрунтувати ефективність використання мобільних рециклінгових комплексів та вторинних матеріалів.

5. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу складає 17 аркушів А4.

6. Дата видачі завдання 01.09.25

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел за темою дослідження, актуальність дослідження переробки будівельних відходів	18.09.25	
2	Аналіз масштабів утворення відходів руйнувань та обґрунтування методології системного аналізу проблеми	27.09.25	
3	Проведення соціологічного опитування у м. Миколаєві, обробка даних та оцінка отриманих результатів	05.10.25	
4	Розробка рекомендацій та алгоритму вибору технологій переробки для покращення системи поводження з будівельними відходами	24.10.25	
5	Подання КР на допуск до захисту	08.12.25	
6	Захист КР	24.12.25	

Студент _____ (підпис) Кірток А. В.

Науковий керівник _____ (підпис) Недорода В. М.

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної роботи «Екологічно орієнтовані підходи до управління будівельними відходами післявоєнної відбудови»

студента Кіртока Артема Володимировича

У кваліфікаційній роботі представлено результати комплексного дослідження проблеми поводження з відходами руйнувань, що утворилися внаслідок бойових дій на території України.

Викладено сучасний стан системи управління будівельними відходами та оцінено екологічні ризики традиційної моделі їх захоронення. Встановлено, що значна частина уламків (до 85%) є цінним вторинним ресурсом, придатним для повторного використання у процесах відбудови.

Проаналізовано рівень екологічної свідомості населення та готовність стейкхолдерів (бізнесу, влади, громади) до впровадження циркулярних моделей на прикладі м. Миколаїв. Виявлено основні бар'єри, серед яких: нормативна неврегульованість, брак спеціалізованої інфраструктури та дефіцит інформації.

Обґрунтовано алгоритм вибору технологій переробки залежно від обсягів руйнувань та доведено економічну доцільність використання мобільних рециклінгових комплексів. Розроблено рекомендації щодо нормативно-правової імплементації, цифровізації моніторингу та впровадження інноваційних технологій виробництва будівельних матеріалів із вторинної сировини.

Ключові слова: будівельні відходи, відходи руйнувань, циркулярна економіка, рециклінг, післявоєнна відбудова, мобільні комплекси, вторинна сировина.

SUMMARY

to the qualification work «Ecologically oriented approaches to construction waste management in the context of post-war recovery» Kirtok Artem

The qualification work presents the results of a comprehensive study on the management of destruction waste generated as a result of hostilities in Ukraine.

The current state of the construction waste management system is described, and the ecological risks of the traditional disposal model are assessed. It has been established that a significant part of the debris (up to 85%) is a valuable secondary resource suitable for reuse in reconstruction processes.

The level of environmental awareness of the population and the readiness of stakeholders (business, government, community) to implement circular models were analyzed using the example of Mykolaiv city. The main barriers were identified, including regulatory uncertainty, lack of specialized infrastructure, and information deficit.

An algorithm for selecting recycling technologies based on the volume of destruction is substantiated, and the economic feasibility of using mobile recycling complexes is proven. Recommendations have been developed for regulatory implementation, digitalization of monitoring, and the introduction of innovative technologies for producing construction materials from secondary raw materials.

Keywords: construction waste, demolition waste, circular economy, recycling, post-war reconstruction, mobile complexes, secondary raw materials.

ЗМІСТ

ВСТУП …….. 7
РОЗДІЛ 1. МАСШТАБИ УТВОРЕННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ ……. 9
1.1 Загальна характеристика управління будівельними відходами в Україні в сучасних умовах ……. 9
1.2 Аналіз досліджень з тематики повторного використання та переробки будівельних матеріалів після катастроф …….. 13
1.3 Циркулярна економіка та ресурсне відновлення у контекстні переробки будівельних відходів …… 15
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА БАЗА ДОСЛІДЖЕННЯ …… 27
2.1 Концептуальна модель та алгоритм системного аналізу проблеми …. 27
2.2 Методика проведення соціологічного опитування та збору емпіричних даних ……. 32
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ГРОМАДСЬКОЇ ОБІЗНАНОСТІ ЩОДО ПЕРЕРОБКИ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ ТА ЇЇ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗНАЧЕННЯ …… 37
3.1 Оцінка рівня екологічної свідомості населення у сфері переробки будівельних відходів …….. 37
3.2 Аналіз готовності адміністративного та бізнес-сектору …….. 48
3.3 Висновки по результату опитувань різних груп та співвідношення їх розуміння сфери поводження з будівельними відходами ……. 52
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ СТРАТЕГІЇ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ РУЙНУВАНЬ ……. 55
4.1 Комплексна оцінка обсягів, морфології та ідентифікація бар'єрів переробки ……... 55
4.2 Алгоритм вибору технологічних рішень та підбір обладнання …….. 60
4.3 Нормативно-правова імплементація та інноваційні напрями використання вторинної сировини …….. 68
ВИСНОВКИ …… 76
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ …… 78

ВСТУП

Актуальність. Повномасштабна військова агресія проти України спричинила безпрецедентні руйнування цивільної та промислової інфраструктури, що призвело до утворення колосальних обсягів відходів руйнувань. Традиційна лінійна модель поводження з такими відходами, яка передбачає їх екстрене вивезення та захоронення на полігонах, в умовах війни виявилася як екологічно небезпечною, так і економічно неспроможною через вичерпання ємності сміттєзвалищ та високі логістичні витрати.

Водночас, морфологічний склад завалів (до 85% бетону, цегли та металу) свідчить про значний ресурсний потенціал цих матеріалів. В умовах дефіциту будівельної сировини та обмеженого фінансування відбудови, критично важливим стає перехід до принципів циркулярної економіки. Впровадження технологій рециклінгу дозволяє трансформувати проблему накопичення відходів у драйвер відновлення, забезпечуючи виробництво вторинного щебеню, бетонів та стінових матеріалів безпосередньо на місцях руйнувань. Проте цей процес гальмується нормативною неврегульованістю, відсутністю інфраструктури та низькою обізнаністю стейкхолдерів, що зумовлює необхідність розробки комплексних екологічно орієнтованих підходів до управління цією сферою.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та обґрунтування комплексної стратегії управління відходами руйнувань, що базується на принципах циркулярної економіки, для мінімізації негативного впливу на довкілля та забезпечення ресурсної підтримки післявоєнної відбудови.

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні завдання:

– Проаналізувати масштаби утворення та морфологічний склад відходів руйнувань, оцінити екологічні ризики існуючих практик їх захоронення.

– Дослідити рівень екологічної свідомості населення та готовність ключових стейкхолдерів до впровадження роздільного збору та переробки відходів.

– Розробити алгоритм вибору оптимальних технологічних рішень для переробки відходів залежно від обсягів руйнувань та логістичних умов.

– Сформувати рекомендації щодо використання інноваційних матеріалів (композитної цегли, геополімерів) на основі вторинної сировини.

Об’єкт дослідження – система управління відходами будівництва та знесення, що утворилися внаслідок бойових дій та руйнувань інфраструктури.

Предмет дослідження – екологічно орієнтовані методи, технології та організаційно-економічні механізми переробки та повторного використання відходів руйнувань у процесах відновлення.

Методи дослідження. У роботі застосовано комплексний методологічний підхід: системний аналіз для оцінки поточного стану управління відходами; соціологічні методи (анкетування, експертні інтерв’ю) для визначення поведінкових патернів стейкхолдерів; матричний аналіз для класифікації бар’єрів; метод моделювання для розробки алгоритмів вибору технологій та розрахунку матеріальних балансів; порівняльний аналіз для оцінки фізико-механічних властивостей вторинних матеріалів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці адаптивної матриці вибору технологічних сценаріїв поводження з відходами руйнувань, яка, на відміну від існуючих, враховує логістичне плече та обсяги утворення відходів у специфічних умовах воєнного стану. Запропоновані рекомендації щодо впровадження мобільних переробних комплексів та стандартів виробництва будівельних матеріалів із вторинної сировини можуть бути використані органами місцевого самоврядування при розробці регіональних планів управління відходами та стратегій відновлення територіальних громад.

РОЗДІЛ 1
МАСШТАБИ УТВОРЕННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ

1.1 Загальна характеристика управління будівельними відходами в Україні в сучасних умовах

Протягом історії України, як і інших країн світу, населення неодноразово переживало, виживало та відновлювалося після катастроф – як природних, так і спричинених війною. У багатьох випадках люди, що опинилися в зоні лиха, зазнають не лише прямих фізичних втрат через руйнування будівель та інфраструктури, але й часто змушені самостійно нести витрати на відбудову та відновлення.

Ресурси, за своєю природою, мають обмежений запас, особливо коли йдеться про тонни видобутих і перероблених корисних копалин, барелі нафти, або гектари землі, придатні для продуктивного використання. Ще в середині XX століття ідея індустріальної екології пропонувала розглядати Землю як космічний корабель із чітко визначеним, обмеженим запасом життєво необхідних ресурсів та енергії [1, 2]. З часом ця концепція стала частиною ширшого екологічного руху, а зусилля щодо раціонального використання ресурсів були формалізовані через популяризацію принципу "Reduce, Reuse, Recycle" – скорочення використання, повторне застосування та переробка, що перетворило ідею сталого розвитку на доступний споживачеві формат.

Масштабні руйнування інфраструктури внаслідок бойових дій в Україні створили безпрецедентний виклик для національної системи управління відходами. Після завершення рятувальних операцій критичним стає питання оперативного прибирання та утилізації величезних обсягів уламків, що вимагає переходу від традиційного захоронення до раціонального використання ресурсів [46].

В Україні станом на 2025 рік, за офіційними оцінками, обсяг будівельного сміття, пов’язаний із руйнаціями, становить щонайменше 6–10 млн тонн, тоді як

окремі регіони, як Київщина, накопичили понад 180 тис. тонн уламків тільки на локальних майданчиках [3, 4]. Загалом частка будівельних і демонтажних відходів значно зросла у 2022-2024 роках від загального обсягу всіх відходів (Рис 1.1).

Будівельні відходи часто містять не лише інертні матеріали (бетон, цеглу), а й токсичні компоненти – наприклад, фарби, важкі метали, нафтопродукти, азбест. Особливо небезпечним є азбестовмісний пил: достатньо кількох мікрочастинок у повітрі, щоб викликати рак легень [6, 7]. У будівлях, зведених до 1990-х років, азбест використовувався повсюдно – в теплоізоляції, плитах, трубах. За оцінками Міндовкілля, шкода від несанкціонованого складування або спалювання будівельних відходів (включно з забрудненням ґрунтів, повітря, підземних вод) може сягати понад 900 млрд грн [8]. Утворення стихійних звалищ біля міських зон сприяє накопиченню фільтратів, що несуть у собі важкі метали та канцерогенні речовини.

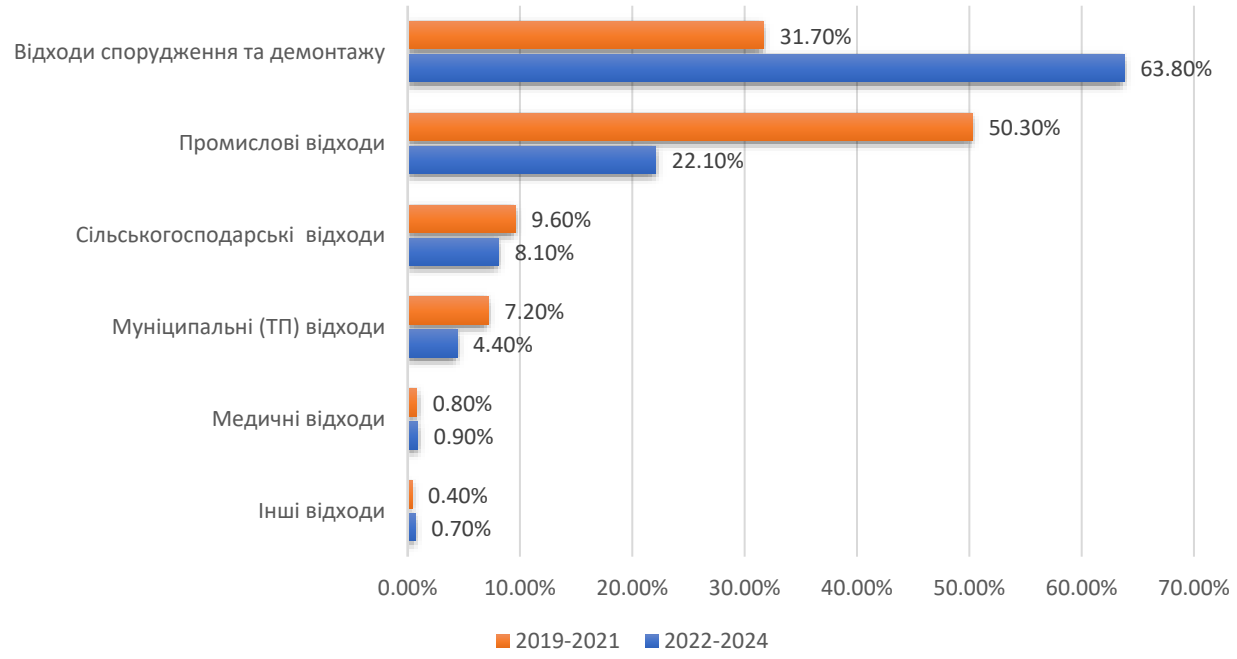

Рис. 1.1 – Загальна кількість твердих відходів за секторами в Україні у порівнянні між 2019-2021 рр. та 2022-2024 рр [9, 10].

** Для 2019-2021 повні розрізи за галузями є у публікаціях Державної служби статистики України «Довкілля України». Для 2022 (і, тим більше, 2023–2024) державна публікація містить неповні розрізи по галузях (багато значень позначено як «…/не оприлюднено»).*

З липня 2023 року в Україні діє оновлений Закон «Про управління відходами», який передбачає, що щонайменше 10% будівельних відходів мають бути перероблені до 2025 року [11]. Постанова Кабінету Міністрів №1073 визначає класифікацію відходів руйнувань та базові принципи їх сортування і повторного використання [12]. Україна також гармонізує національні норми з політикою ЄС, яка встановлює планку переробки будівельних відходів на рівні не менше 70% [5]. Утилізація будівельних відходів базується на:

- Первинному сортуванні на місці з відокремленням металів, дерева, бетону, скла, пластику;
- Механічному подрібненні фракцій бетону та цегли у щебінь, що може використовуватись як основа для доріг чи бетонних сумішей;
- Вилученні небезпечних компонентів, таких як азбест, із передачею їх на високотемпературну утилізацію;
- Використанні вторинної сировини в реальному секторі.

Наприклад, у Бучі техніка ООН перетворює руїни на придатні до повторного використання фракції. Успішним прикладом є проєкт Neo-Eco у Гостомелі, де рівень переробки сягнув понад 90%, зокрема бетон подрібнено в щебінь, а метал – спрямовано на переплавку [31].

Проте, незважаючи на окремі успішні ініціативи, більшість утворених будівельних відходів досі опиняється на полігонах, через такі причини як:

1) Логістичні бар’єри. Відсутність розвиненої мережі стаціонарних та мобільних пунктів прийому і переробки у віддалених районах призводить до значних витрат на транспортування уламків (до 30 % загальних витрат на їх утилізацію) й часто змушує відправляти відходи на найближчі звалища без попереднього сортування [13].

2) Недостатність інвестицій. За розрахунками галузевих експертів, потужності існуючих дробильно-сортувальних комплексів дозволяють переробляти лише 40–50 % необхідного обсягу матеріалів у центральних та східних регіонах України, тоді як на заході країни цей показник подекуди сягає 60–65 % завдяки підтримці міжнародних донорів [14].

Важливо також враховувати подальші екологічні загрози:

1) Забруднення ґрунтів і водних систем. Під час дощових опадів на полігонах утворюються токсичні фільтрати, що містять розчинені важкі метали (Pb, Cd, Cr) та органічні сполуки (феноли, ПАР), їх концентрація іноді перевищує гранично допустимі норми в 2–5 разів, що загрожує підземним водам у радіусі до 1 км.

2) Атмосферне забруднення. Сильний вітер піднімає пил від невідсортованих уламків, що збільшує вміст дрібнодисперсних частинок (PM_{10} та $PM_{2.5}$) в повітрі на 15–20 % у радіусі 500 м навколо звалищ.

3) Вуглецевий слід. Спалювання або нерегламентоване зберігання фракцій, що містять органічні домішки й будівельні клеї, призводить до викидів CO_2 і токсичних газів (CO, NO_x), що еквівалентно 50–70 кг CO_2 на тонну неутилізованих відходів [17].

Таким чином, масштаби утворення будівельних відходів унаслідок воєнних дій створюють низку довгострокових екологічних загроз, усунення яких вимагає як технологічних рішень, так і удосконалення політики та механізмів фінансування.

Окрім прямих державних дотацій і пільгових кредитів, успішними виявляються моделі державно-приватного партнерства. Наприклад, у Польщі муніципалітет Варшави уклав контракт із приватним оператором на 15 років, за умовами якого останній інвестував 12 млн євро у мобільні комплекси переробки відходів спорудження та демонтажу, а виготовлена вторинна сировина використовувалась у комунальних дорожніх проектах зі знижкою 20 % від ринкової ціни первинного щебню [18]. Подібні механізми можуть бути адаптовані для українських реалій із урахуванням грантових програм міжнародних фінансових інститутів.

Для ефективної реалізації великих проєктів з переробки необхідно готувати фахівців із міждисциплінарною експертизою: інженерів-екологів, фахівців із матеріалознавства та логістики. Вже зараз у низці українських університетів запроваджено курси з «Циркулярної економіки в будівництві»

(Рис. 1.2), також з цією задачею здатні впоратися фахівці які проходять курси з маловідходних технологій, проте бракує практичних лабораторій із обладнанням для подрібнення та тестування матеріалів. Розбудова таких науково-дослідних майданчиків прискорить впровадження інновацій і дозволить адаптувати міжнародні рішення до вітчизняних умов.

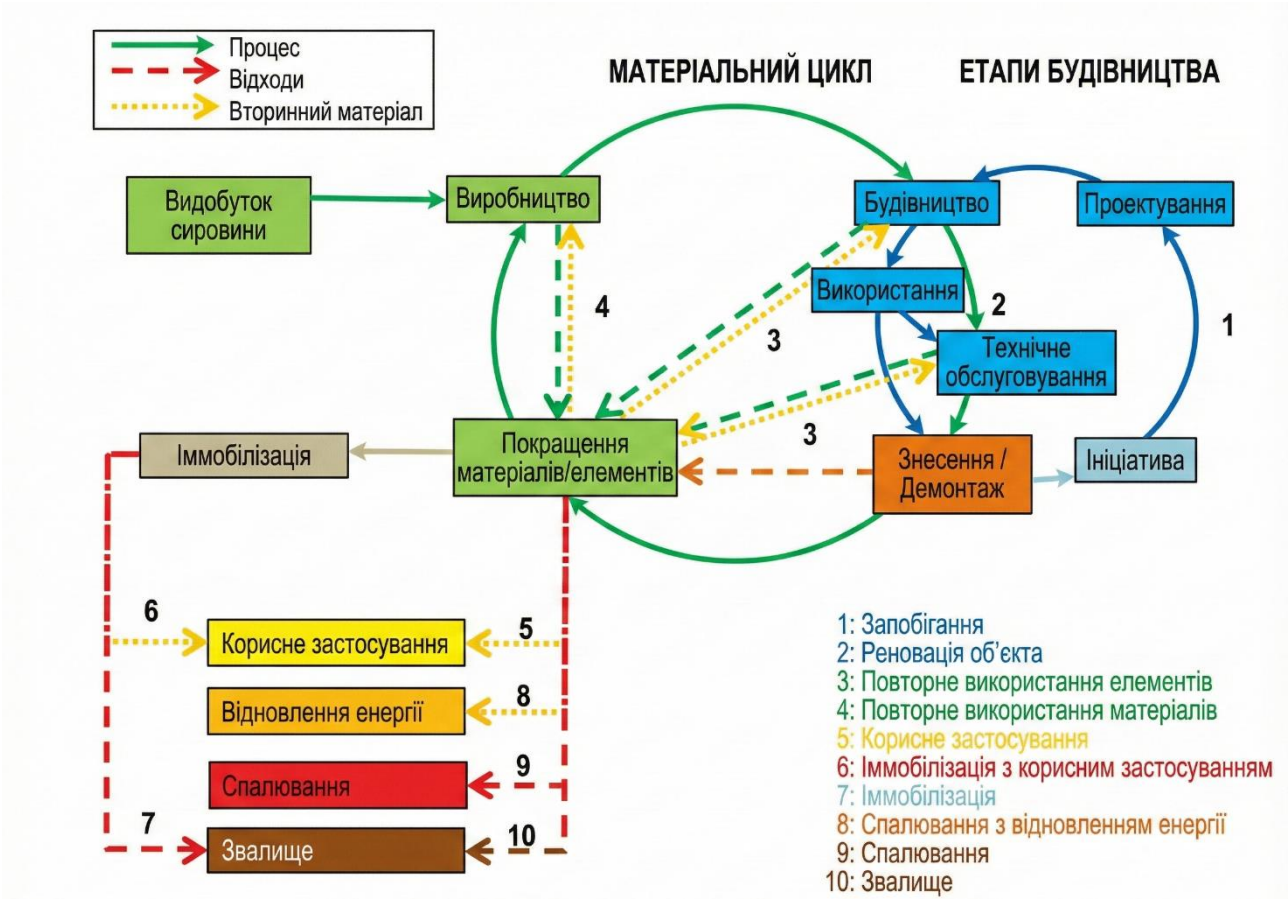

Рис. 1.2 – Життєвий цикл матеріалів

1.2 Аналіз досліджень з тематики повторного використання та переробки будівельних матеріалів після катастроф

Літературний огляд зосереджувався на виявленні бар'єрів, що заважають запровадженню стійких стандартів, які мають жорсткі вимоги, що забезпечують їхню сталість у часі, але водночас є адаптивними, щоб враховувати гнучкість впровадження альтернативних рішень. Значну увагу було приділено вивченню успішних політик, ефективного управління матеріалами та механізмів донесення ключових ідей на кожному етапі реагування на наслідки руйнувань та подальших дій. Основні методи подолання логістичних труднощів, пов'язаних із

відновленням ресурсів, зосереджувалися на аналізі ринку матеріалів, що можуть бути повторно використані, впровадженні кращих практик для процесів переробки, дослідженні нових технологій, здатних змінити підхід до утилізації, а також створенні інноваційних рішень для інтеграції відновлених матеріалів у виробничі ланцюги [32].

На ринку повторного використання матеріалів будівельна галузь та її вузькоспеціалізована клієнтська база легко ідентифікуються за такими елементами, як освітлювальні та сантехнічні пристрої, повторне використання меблів, а навіть електропроводка може бути продана як брухт. У таких випадках матеріали проходять декілька етапів повторного використання, перш ніж зрештою опинитися на звалищі [15].

Переробка матеріалів знесених будівель чи цілих районів також дозволяє відновлювати конструктивні елементи для подальшого використання [19]. Інженерні дослідження у сфері оцінки життєвого циклу матеріалів сьогодні охоплюють цілі системи, включаючи складні будівельні конструкції, що дозволяє попередньо визначати їхній склад та призначення, щоб у разі катастрофи інвентаризація матеріалів вже була готова до їхнього наступного життєвого циклу. Одне з досліджень розглядало концепцію циркулярної економіки через призму будівельної галузі, проводячи оцінку значущості її впровадження через опитування ролей, пов’язаних із сприйняттям впливу моделі циркулярної економіки на робочих майданчиках [20]. Хоча дослідження не є остаточним, його висновки вказують на необхідність впровадження циркулярної економіки як моделі виживання, що є актуальним не лише для будівельної галузі, але й для управління відходами після катастроф, як це передбачено в дослідженні.

Інший приклад, де після потрійної катастрофи – землетрусу та цунамі у Тохоку у 2011 році, що спричинили аварію на АЕС "Фукусіма", уряд Японії співпрацював із науковцями для розробки інструкцій щодо повторного використання та переробки змішаних уламків, включно з радіоактивними

матеріалами. Це забезпечило їхню безпечну утилізацію та дозволило уникнути масового захоронення на звалищах, зберігаючи цінну земельну площу [21].

Коли політичні рішення щодо впровадження стійких підходів до управління великомасштабними відходами після катастроф суперечать кількісним методам оцінки, швидке повернення до нормальної діяльності не відображає повного масштабу події, що в перспективі призводить до значних витрат для регіону. Водночас це ігнорує сучасні наукові дослідження та передові управлінські практики [22]. Якщо залучити відповідних фахівців до процесу ухвалення рішень у сфері екології, політична складова реагування може бути оснащена актуальними знаннями для впровадження гнучких стратегій, спрямованих не лише на розчищення територій, а й на ефективне відновлення їхньої працездатності – на місцевому, регіональному та загальнонаціональному рівнях.

Інше дослідження розглядало питання правильного розміщення тимчасових майданчиків для сортування відходів у безпосередній близькості до зони руйнувань, а саме створення тимчасових об’єктів для скорочення обсягів зберігання та утилізації, що підтримують операції з очищення від катастрофічних відходів [23]. Консолідація нинішніх фрагментарних і малоефективних підходів дозволяє оптимізувати потоки матеріалів – від зруйнованих територій до об’єктів подальшої обробки, що створює передумови для їхнього повторного використання в промисловому, аграрному та будівельному секторах.

1.3 Циркулярна економіка та ресурсне відновлення у контекстні переробки будівельних відходів

Інтеграція принципів циркулярної економіки у сферу управління будівельними відходів відкриває нові можливості для мінімізації екологічних ризиків та максимальної ресурсоефективності [16].

По-перше, проєктування будівель із урахуванням принципу «дизайну для розбирання» дозволяє одразу планувати розміщення несучих елементів, стиків

та кріплень таким чином, щоб у кінці життєвого циклу споруди матеріали можна було легко розділити та передати на переробку без додаткового забруднення.

По-друге, концепція індустріального симбіозу сприяє тому, що відходи однієї галузі стають цінною сировиною для іншої: подрібнені бетонні фрагменти можуть використовуватися у виробництві дорожнього щебеню, а цегляна крихта – у виробництві легких бетонних блоків. Такий міжпідприємницький обмін матеріалами знижує транспортні витрати, скорочує обсяг нововидобутої сировини та посилює локальні ланцюги постачання. Запровадження розширеної відповідальності виробника означає, що компанії – виробники будівельних матеріалів – несуть відповідальність не лише за якість продукції на етапі продажу, а й за її утилізацію у кінці життєвого циклу. Це стимулює їх розробляти легкозбірні конструкції, обирати менш токсичні компоненти та організовувати систему зворотного збору відпрацьованих елементів [40].

Новими бізнес-моделями можуть стати оренда та лізинг будівельних елементів: наприклад, окремі модулі фасадів чи покрівельних панелей можуть повертатися виробнику після демонтажу, відновлюватися та використовуватися в інших проєктах. Подібні «product-as-a-service» рішення, які набирають популярності у Японії, США та країнах ЄС, знижують загальний рівень відходів і перетворюють матеріали на багаторазовий актив [33].

Щоб вимірювати успіх переходу до циркулярності, запроваджують індикатори: коефіцієнти повторного використання, вуглецевий слід вторинних матеріалів та відсоток вторсировини у нових спорудах. Підтримку цьому дають «зелені» державні закупівлі, де у тендерах на будівництво обов’язково вказується вимога щодо частки вторинних матеріалів, а також екологічні фінансові інструменти – «зелені облігації» або гранти, що покривають частину витрат на переробку [34].

Нарешті, виповнення цих підходів безпосередньо впливає на реалізацію цілей сталого розвитку ООН: від створення безпечних і стійких міст до відповідального споживання та виробництва, а також боротися зі зміною клімату

через зниження викидів парникових газів на всіх етапах життєвого циклу будівельних конструкцій.

Концепція циркулярної економіки, що набуває глобального масштабу (Рис. 1.3), базується на трьох принципах: уникнення відходів, подовження життєвого циклу матеріалів та відновлення природних систем [24, 25].

Основні принципи циркулярної економіки визначено так:

- Уникнення утворення відходів та забруднення.
- Максимальне продовження використання продуктів і матеріалів.
- Відновлення природних систем.

Розвиток циркулярної економіки набуває глобального масштабу: від муніципальних ініціатив до міжнародних стратегій [45]. Виклики впровадження можуть бути технічно складними, а економічні процеси – довготривалими.

Рис. 1.3 – Схематичне зображення циркулярної економіки за визначенням ЮНІДО

На сьогодні стандартний підхід до управління відходами після ракетних ударів полягає у швидкому прибиранні уламків та їх подальшій утилізації шляхом захоронення на полігонах або іноді частково спалювання. Однак цей підхід має значний недолік: території, що систематично зазнають ударів, постійно стикаються з масовим накопиченням відходів, втрачаючи при цьому цінні та придатні для повторного використання матеріали. Звалища швидко займають корисні ділянки, які могли б використовуватися продуктивно, а також створюють ризики довготривалого забруднення ґрунтових вод, погіршення якості повітря та нестабільності ландшафту.

У науковій літературі представлено низку досліджень, що вказують на успішні приклади застосування принципів сталого відновлення ресурсів навіть у таких випадках. Одним із ключових факторів ефективного управління відходами є активна участь громад у процесі відновлення, а не виключна залежність від зовнішньої допомоги, що є особливо актуальним для України [26]. Коли місцеве населення залучається до процесу відновлення, ефективність реалізації програм значно зростає. Один із прикладів–розвиток механізмів самозарадності та впевненості у власних силах у межах громадських ініціатив, що зміцнюють здатність до адаптації та трансформують наслідки катастрофи у можливість для подальшого розвитку [27].

Готовність до кризи – це не випадковість, а результат стратегічного планування та інвестицій у заходи підготовки. Спільноти, що швидко відновлюються після ударів, демонструють ефективність такого підходу на практиці, адже попередні дії та ретельно розроблені механізми реагування суттєво скорочують час на ліквідацію наслідків і оптимізують використання ресурсів.

Ще одна проблема це коли ухвалюються рішення у екологічній сфері, що конфліктують із науково обґрунтованими підходами до управління великомасштабними відходами, швидке відновлення інфраструктури залишається поверховим та не враховує реального масштабу наслідків. У результаті це призводить до значних витрат у довгостроковій перспективі,

оскільки ігнорується актуальна наука та найкращі практики управління ресурсами [28]. Залучення відповідних фахівців до ухвалення рішень дозволяє політичній складовій реагування спиратися на актуальні наукові знання та впроваджувати гнучкі підходи не лише для розчищення територій, а й для ефективного повернення їх до робочого стану – на місцевому, регіональному та національному рівнях.

Одне з досліджень аналізує питання правильного розташування тимчасових зон для сортування та утилізації відходів у безпосередній близькості до місць руйнувань. Йдеться про створення тимчасових центрів для скорочення обсягів зберігання та утилізації, що підтримують операції з прибирання та переробки відходів після атак [23]. Консолідація неефективних та розрізнених політик, які зараз залишаються хаотичними, може значно покращити рух матеріалів від зруйнованих територій до наступних етапів обробки та повторного використання.

Впровадження сталих практик є економічно обґрунтованим, дослідження доводять ефективність сортування після катастроф для збереження ресурсів, та підтверджують, що використання сертифікованих вторинних матеріалів підвищує ринкову вартість нерухомості та спрощує отримання екологічних сертифікатів [29, 30].

Втілення цих практик раціонального поводження з демонтажними відходами створює інтегровану систему, що відповідає ключовим засадам сталого розвитку. Поєднання економічної ефективності – скорочення витрат на первинні матеріали та зниження логістичних витрат – з екологічними перевагами, такими як зменшення утворення відходів і викидів парникових газів, закладає основу для довгострокового зростання без збільшення навантаження на екосистеми.

Водночас циркулярні моделі управління будівельними матеріалами дозволяють замкнути потоки ресурсів: «дизайн для розбирання» забезпечує легке вилучення цінних фракцій при демонтажі, індустріальний симбіоз перетворює відходи однієї галузі на сировину іншої, а розширена

відповідальність виробника стимулює випуск продукції з урахуванням її подальшого вторинного використання. Такий підхід не лише знижує потребу у видобутку нових ресурсів, але й створює додаткові джерела доходу для підприємств – від продажу вторинної сировини до надання сервісів з керованого повернення матеріалів у виробництво.

Крім того, застосування зеленої держзакупівлі та податкових стимулів підсилює мотивацію бізнесу інвестувати в інноваційні переробні комплекси та цифрові рішення для моніторингу ланцюгів утилізації. Така синергія економічних, екологічних та регуляторних механізмів відповідає вимогам цілі 12 глобальних цілей ООН («Відповідальне споживання й виробництво») і сприяє зменшенню вуглецевого сліду сектору будівництва, водночас закладаючи перехід до більш стійких, замкнутих виробничих циклів у масштабах національної економіки.

Використання перероблених будівельних відходів може зменшити екологічне навантаження, а й у певних випадках покращити фізико-механічні характеристики матеріалів. На сучасному етапі розвитку технологій вторинна сировина дедалі частіше розглядається не як компромісна альтернатива, а як повноцінна заміна первинним матеріалам.

Наприклад, подрібнений бетон після попереднього сортування і очищення здатен демонструвати високу несучу здатність, близьку до природного щебеню, особливо у дорожньому будівництві. При правильному фракціонуванні, контрольованій вологості та змішуванні з цементом, перероблений бетон може мати підвищену адгезію та кращу зчіплюваність, що позитивно впливає на міцність кінцевої конструкції.

У сфері теплоізоляції та акустичних рішень використовуються плити з переробленого деревного наповнювача, які мають хороші теплофізичні властивості та додаткові переваги, наприклад зниження викидів формальдегідів у порівнянні з традиційними матеріалами. Також гранульоване скло, отримане шляхом подрібнення будівельних вікон і фасадних систем, використовується в

якості наповнювача для легких бетонів і забезпечує кращу термоізоляцію та довговічність.

Окрему увагу слід звернути на можливості модифікації характеристик вторинної сировини за допомогою сучасних добавок. Наприклад, активовані летючі золі (продукти спалювання вугільних електростанцій) можуть використовуватись у цементних сумішах разом із подрібненим бетоном, що підвищує тріщиностійкість і морозостійкість. Таким чином, правильно організована система переробки будівельних відходів сприяє скороченню споживання природних ресурсів та відкриває нові шляхи для покращення якості будівельних матеріалів, роблячи їх більш адаптивними до сучасних вимог енергоефективності, безпеки та довговічності [48].

Використання перероблених будівельних матеріалів має значний економічний потенціал і сприяє підвищенню ефективності екологічних ініціатив не лише з погляду ресурсозбереження, а й у контексті скорочення витрат на всіх етапах життєвого циклу будівництва.

По-перше, зниження витрат на закупівлю первинної сировини є одним із найважливіших факторів економії. Видобуток і транспортування природного щебеню, піску чи глини супроводжується високими енерговитратами, тоді як перероблені матеріали, особливо при локальній обробці на місці демонтажу, дають змогу уникнути цих витрат. За оцінками [5], повторне використання та переробка таких відходів дозволяє скоротити витрати на закупівлю сировини до 30–40% у великих проєктах.

По-друге, зменшення обсягів захоронення відходів знижує витрати на транспортування та плату за полігони. У багатьох країнах, включаючи Україну, очікується посилення екологічного регулювання у вигляді екологічного податку на захоронення, що робить альтернативні шляхи обробки відходів більш привабливими для бізнесу. Крім того, попереднє сортування матеріалів ще на місці розбирання дає змогу продавати вторинну сировину або використовувати її повторно у межах того самого будівельного об'єкта, що сприяє формуванню замкненого економічного циклу [41].

По-третє, будівлі, що зводяться з використанням рециркульованих матеріалів, мають кращі позиції для проходження екологічної сертифікації (наприклад, BREEAM, LEED, DGNB), що підвищує їхню ринкову вартість і привабливість для інвесторів. Це створює додану вартість, яка стає відчутною в екологічному та у фінансовому балансі проєкту. У довгостроковій перспективі ефективне управління будівельними відходами забезпечує створення стабільного ринку вторинних матеріалів, сприяє розвитку нових бізнес-моделей і створює робочі місця в секторах сортування, переробки, логістики та контролю якості. В результаті, екологічні ініціативи в галузі будівництва набувають самодостатнього економічного підґрунтя, що забезпечує їх масштабування без необхідності постійної державної дотації.

Наступним ключовим елементом ефективного управління будівельними відходами є створення повноцінного ринку вторинної сировини, який здатен забезпечити реальну економічну мотивацію для переробки. Попри наявність великої кількості потенційно придатних до повторного використання матеріалів (бетон, метал, скло, цегла), в Україні ринок таких ресурсів залишається слабко розвиненим. Це іноді пов’язано як з недовірою до якості перероблених матеріалів, так і з відсутністю технічних стандартів, логістики та стимулів для виробників.

Успішні міжнародні приклади демонструють, що вторинні матеріали можуть конкурувати з первинними не лише за ціною, але й за якістю – за умови належної сертифікації та технічного контролю. Наприклад: У Швейцарії бетон, виготовлений із перероблених фракцій (Recycled Concrete – RC), використовують у соціальному житлі, школах та громадських спорудах. В Женеві існує норма, що принаймні 10% цементу в новобудовах має бути з переробленої сировини. У Німеччині державні замовлення передбачають обов’язкове використання певної частки матеріалів із повторним вмістом – зокрема асфальтобетону, металів та термоізоляційних панелей. У Фінляндії стимулюється використання переробленого гіпсокартону, а окремі

муніципалітети мають власні платформи для обміну та реалізації матеріалів, демонтованих під час реконструкцій.

Ринок перероблених матеріалів – це важливий механізм зменшення залежності від імпорту сировини, стабілізації цін та зниження тиску на довкілля. Особливо в умовах післявоєнного відновлення, коли обсяги будівництва будуть стрімко зростати, роль такого ринку буде критично важливою.

Переробка будівельних відходів має вирішальне значення для зменшення негативного впливу на довкілля, особливо у частині скорочення токсичного навантаження на ґрунти, повітря та водні ресурси. Значна частка відходів руйнувань містить потенційно небезпечні речовини – азбест, свинець, ртуть, ПХБ, нафтопродукти, формальдегіди, які при неконтрольованому складуванні або спалюванні забруднюють середовище.

Переробка дозволяє:

✓ Ідентифікувати і вилучати небезпечні компоненти на етапі сортування. Наприклад, азбестовмісні матеріали можуть бути направлені на спеціалізовані підприємства для високотемпературної утилізації або безпечного захоронення в герметичних контейнерах.

✓ Зменшити утворення фільтратів, які виникають у стихійних звалищах і потрапляють у ґрунтові води, розносячи важкі метали й канцерогени.

✓ Попередити потрапляння пилу з небезпечних матеріалів у повітря, особливо в густонаселених районах. Наприклад, при подрібненні забрудненого бетону без відповідної фільтрації частинки можуть стати джерелом вторинного забруднення. У містах, де після атак або демонтажу зберігаються гори уламків, переробка – це ще й умова санітарної безпеки.

Тривале перебування токсичних матеріалів під відкритим небом може призвести до зараження міського середовища, погіршення здоров’я мешканців та зростання онкологічних захворювань у майбутньому. За даними досліджень Європейського агентства з довкілля, контрольована переробка демонтажних відходів знижує показники загальної токсичності у 4–6 разів у порівнянні з неконтрольованим накопиченням або спалюванням. Крім того, екологічний

аудит на місцях демонтажу дозволяє виявляти джерела забруднення та оцінювати ризики для довкілля, що в перспективі може бути інтегровано у процеси екологічної сертифікації будівництва, тому системний підхід до переробки – це ефективний інструмент екологічної профілактики, який мінімізує довгострокові ризики для здоров'я населення та стабільності екосистем.

Також, розбудова системи переробки будівельних відходів створює суттєві мультиплікативні ефекти для місцевої економіки, стимулюючи розвиток нових галузей, залучення інвестицій та підвищення зайнятості. На відміну від лінійної моделі, що зосереджена на добуванні сировини та утилізації, циркулярна модель зосереджується на максимізації цінності матеріалів протягом усього їхнього життєвого циклу, що відкриває нові економічні можливості.

Ключовими аспектами цього впливу є :

1) Створення нових підприємств і послуг. Переробні підприємства, центри сортування, мобільні установки для подрібнення та очищення будівельного сміття, лабораторії контролю якості – усе це потребує спеціалізованої інфраструктури та кваліфікованого персоналу. В Україні вже з'являються приклади, як-от мобільні дробильні комплекси в Ірпені та Бучі, які не тільки зменшують логістичні витрати, а й забезпечують місцеву зайнятість.

2) Залучення малого та середнього бізнесу. Дрібні компанії можуть надавати послуги з демонтажу, логістики, сортування, тестування, переробки окремих фракцій (дерева, металу, скла тощо) або виготовлення будматеріалів з вторинної сировини (наприклад, блоків із переробленого бетону). Такі послуги особливо важливі в регіонах, де велике будівництво чи відновлення ведеться переважно локальними підрядниками.

3) Розширення можливостей для інновацій. Переробка стимулює розвиток технологій – від цифрових систем контролю та трекінгу відходів до новітніх методів знезараження та рекомбінації матеріалів. Це дає поштовх для розвитку стартапів і технопарків, а також зміцнює науково-технічний потенціал країни.

4) Підвищення бюджетних надходжень. Легалізація ринку переробки дозволяє контролювати обіг матеріалів, справедливо оподатковувати послуги з

утилізації та створювати прозорі тендерні умови для муніципалітетів. Наприклад, муніципальні програми, що зобов'язують будівельні компанії подавати плани поводження з відходами, можуть забезпечити стабільне наповнення місцевих бюджетів.

Переробка будівельних відходів дозволяє суттєво зменшити витрати, пов'язані з транспортуванням, захороненням та обслуговуванням полігонів. У багатьох випадках саме логістика та зберігання відходів стають найбільш затратними елементами управління відходами, особливо в умовах масштабних руйнувань, як це спостерігається в Україні з початку повномасштабної війни. Будівельні відходи (особливо бетон, цегла, деревина) займають значні об'єми. Їх утилізація на полігонах не лише знижує доступний простір, а й потребує регулярного обслуговування, що в умовах воєнних дій та післякатастрофного відновлення є обтяжливим. Переробка на місці дозволяє мінімізувати ці витрати, зменшуючи навантаження на існуючу інфраструктуру [49].

Транспортування важких матеріалів на великі відстані потребує значних ресурсів (пальне, техніка, персонал), що також створює додаткові викиди CO_2. Якщо ж відходи сортуються і обробляються безпосередньо поблизу місця демонтажу або будівництва, це значно зменшує транспортне плече і знижує витрати компаній. Утворення локальних пунктів переробки, як у випадку проєкту Neo-Eco в Гостомелі, дозволяє скоротити замкнені логістичні цикли: від демонтажу – до повторного використання без зайвої логістики. Це підвищує економічну ефективність і скорочує терміни будівельних процесів.

У країнах, де діє суворе регулювання поводження з відходами, недотримання правил щодо сортування або зберігання матеріалів призводить до штрафів. Навіть в Україні, де система санкцій ще розвивається, ухилення від належної утилізації може обернутися витратами на ліквідацію стихійних звалищ або забруднення, що юридично покладаються на відповідальних суб'єктів.

У багатьох регіонах полігони перевантажені або не призначені для великомасштабних відходів руйнувань. Переробка зменшує тиск на них, знижує потребу в розширенні або будівництві нових потужностей, що є вкрай затратним

та складним з екологічної точки зору. Таким чином, переробка будівельних відходів стає не лише екологічно доцільним, а й логістично ефективним рішенням, особливо в умовах післявоєнного відновлення або масштабної реконструкції інфраструктури.

З появою постійних переробних потужностей і відповідної лабораторної бази з'являється можливість впроваджувати державні стандарти (ДСТУ) або інші галузеві норми для перероблених матеріалів – зокрема, для щебеню з подрібненого бетону, деревини, металу тощо. Це дозволяє класифікувати продукт за міцністю, фракційністю, хімічним складом і відповідністю екологічним критеріям. Стабільна якість – передумова масштабного використання. Забудовники та архітектори з більшою ймовірністю включатимуть вторинну сировину в проєкти, якщо вона має гарантовані параметри. Це особливо важливо для несучих елементів або дорожніх конструкцій, де недопустимі коливання міцності, зчеплення чи вміст шкідливих домішок.

Відомі системи екологічної сертифікації, наприклад українська «Green Building Standard», вимагають використання екологічно безпечних, локальних і вторинних матеріалів. За умови стандартизації, перероблена продукція може офіційно бути включена до таких систем, що підвищує ринкову вартість об'єктів і відкриває доступ до міжнародного фінансування. Стандартизація передбачає ведення обліку походження сировини, умов обробки та лабораторного контролю.

Усталені технічні вимоги дозволяють створити регульований ринок вторинних будівельних матеріалів, де ціни формуються на основі якості, доступності та логістичних витрат. Це стимулює конкуренцію, інновації та створення нових робочих місць. У результаті, стандартизація переробленої будівельної сировини є ключем до її масштабного застосування, підвищення довіри до циклічних матеріалів та переходу від фрагментарної утилізації до повноцінної циркулярної моделі в будівельному секторі.

РОЗДІЛ 2
МЕТОДОЛОГІЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА БАЗА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Концептуальна модель та алгоритм системного аналізу проблеми

Методологічна основа даного дослідження базується на принципах системного аналізу, що дозволяє розглядати управління будівельними відходами не як ізольовану технічну проблему, а як комплексний процес, що включає екологічні, економічні та соціальні складові. Складність та багатофакторність проблеми поводження з відходами руйнувань в умовах післявоєнної відбудови вимагає застосування міждисциплінарного підходу, який поєднує теоретичний аналіз нормативної бази, емпіричні дослідження готовності стейкхолдерів та моделювання матеріальних потоків. Для досягнення мети роботи було розроблено загальну схему дослідження, яка передбачає послідовний перехід від вивчення світового досвіду та бар'єрів до польового етапу збору даних і, зрештою, до синтезу практичних рекомендацій.

Зосередившись на проблемі невідкладного використання ресурсів, та розуміючи, що цей процес охоплює цілу мережу логістичних викликів та фінансових потоків, що перетинаються з "шматками" нормативно-правових вимог на національному, регіональному та місцевому рівнях, було змоделювати взаємозв’язок усіх цих компонентів, як це представлено на рисунку 2.1.

Дослідницький план почав набувати чітких контурів, оскільки ключові напрями, визначені у рисунку 2.1, висвітлили найбільш значущі фактори впровадження та активних дій у цій галузі – як у науковій літературі, так і на практиці. Не всі аспекти, отримані з академічних джерел, урядових політик та виробничих практик, безпосередньо стосувалися напрямку роботи, однак саме ці системні вузли сформували логіку дослідження у форматі, зручному для дослідницької групи та контактних осіб у галузі для подальшого аналізу.

Зокрема, запропонована модель візуалізує критичну відмінність між традиційним "лінійним" усуненням наслідків руйнувань та екологічно

орієнтованим підходом. Включення до схеми блоків "Дослідження матеріалів" та "Ринок збуту" підкреслює, що процес не завершується на етапі розчищення території. Навпаки, саме на етапі "Розчищення", під впливом "Стандартів", відбувається трансформація будівельного сміття з категорії відходів у категорію вторинного ресурсу.

Таким чином, схема демонструє, що ефективна відбудова можлива лише за умови інтеграції наукової експертизи матеріалів у ринкові механізми, що дозволяє мінімізувати обсяги захоронень відходів.

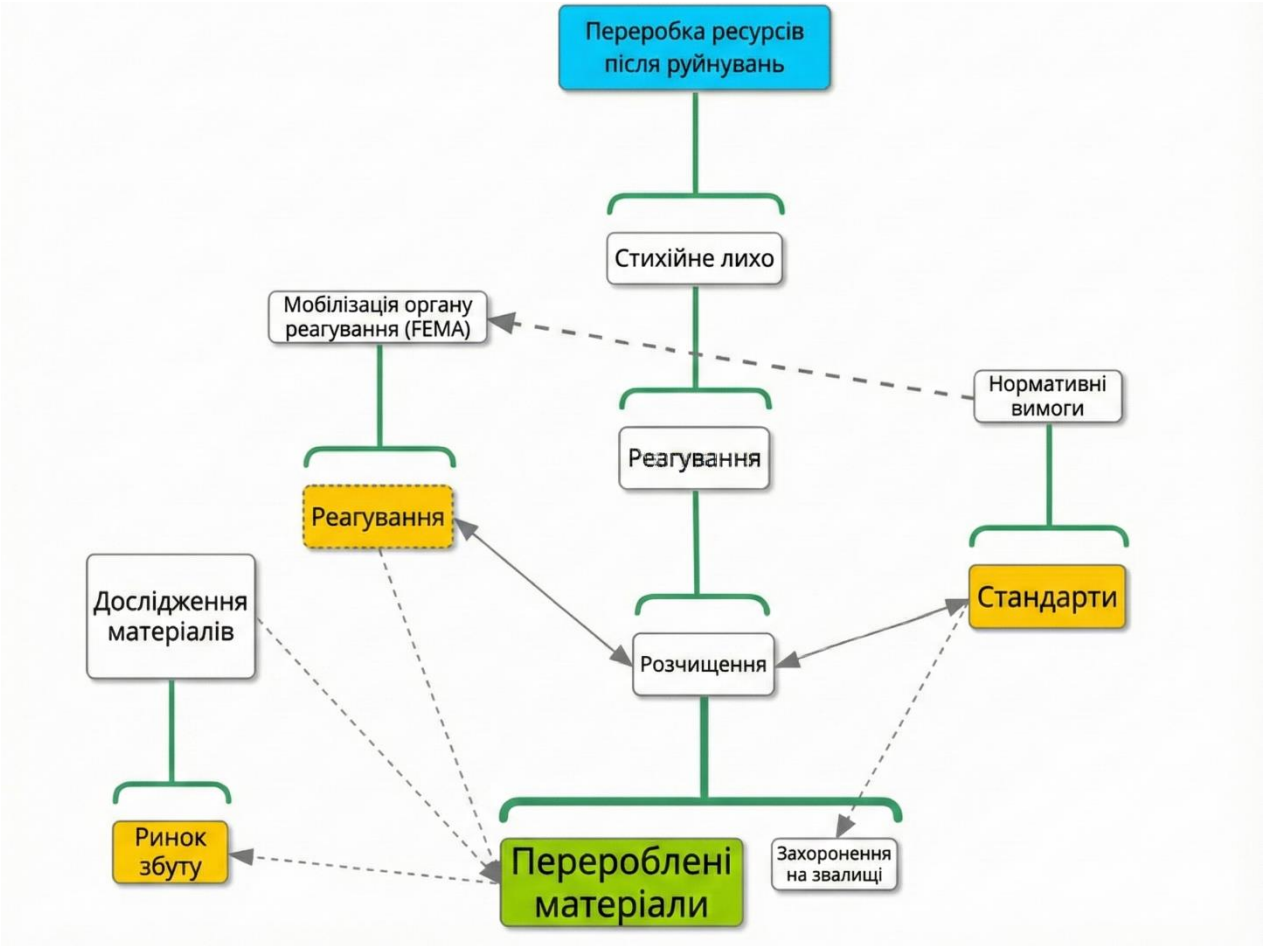

Рис. 2.1 – Концептуальна модель взаємозв’язку нормативних та операційних компонентів управління відходами руйнувань

Для збору даних використовувалися бібліотечні бази даних, Google Scholar, Scopus та Web of Science, де Scopus став найбільш продуктивним полем пошуку. У межах обраної основної бази Scopus, пошукова стратегія початково

мала широкий діапазон і поступово звужувалася відповідно до наступних ключових термінів, які наведені в таблиці 2.1 нижче.

Таблиця 2.1. Пошукові терміни Google Scholar, Scopus, Web of Science та показники корисних результатів

Пошукові запити	**Знайдено записів**	**Відібрано для аналізу**
Стійкість та катастрофа	35	8
Переробка та катастрофа	36	7
"Катастрофічні відходи" та переробка	13	5
Екологічність та катастрофа	12	0
Стійкість та відновлення	26	2
Катастрофа та звалища	23	3
Екологічність та стійкість	15	0
Катастрофа та відходи	24	0
Відходи та комунікація	30	0
Відходи та переробка	17	2
Відходи та стимули	8	2
Відходи та обізнаність	19	2
Загалом	**258**	**31**

*Примітка. Пошукові запити були згруповані та відсортовані за кількістю цитувань, після чого здійснено відбір до **топ-50** найбільш релевантних результатів.*

Одним із найефективніших підходів виявилося використання операторів для пошуку оптимальної зони перетину тем, які визначають збалансований підхід до нового етапу впровадження принципів сталого розвитку у сфері управління відходами після катастроф.

Оскільки кількість досліджень з управління будівельними та демонтажними матеріалами досягала сотень, багаторівневе фільтрування дозволило суттєво покращити якість огляду літератури та прискорити процес аналізу. Рисунок 2.2 демонструє методи дослідження, за допомогою яких виявлено приклади застосування принципів циркулярної економіки та переробки, які, хоча й мають лише опосередковане відношення до управління катастрофічними відходами, уже ефективно працюють у локальних і національних ринках.

Діаграма показує спільні риси цих успішних досліджень, що простежуються у науковій літературі. Основні теми – екологія, освіта та управління матеріалами – стали основою концептуальної структури подальшого дослідження. У пропозиції підходів, описаних у 4 розділі, також було підтверджено, що саме ці три напрями є найбільш перспективними для потенційних подальших досліджень.

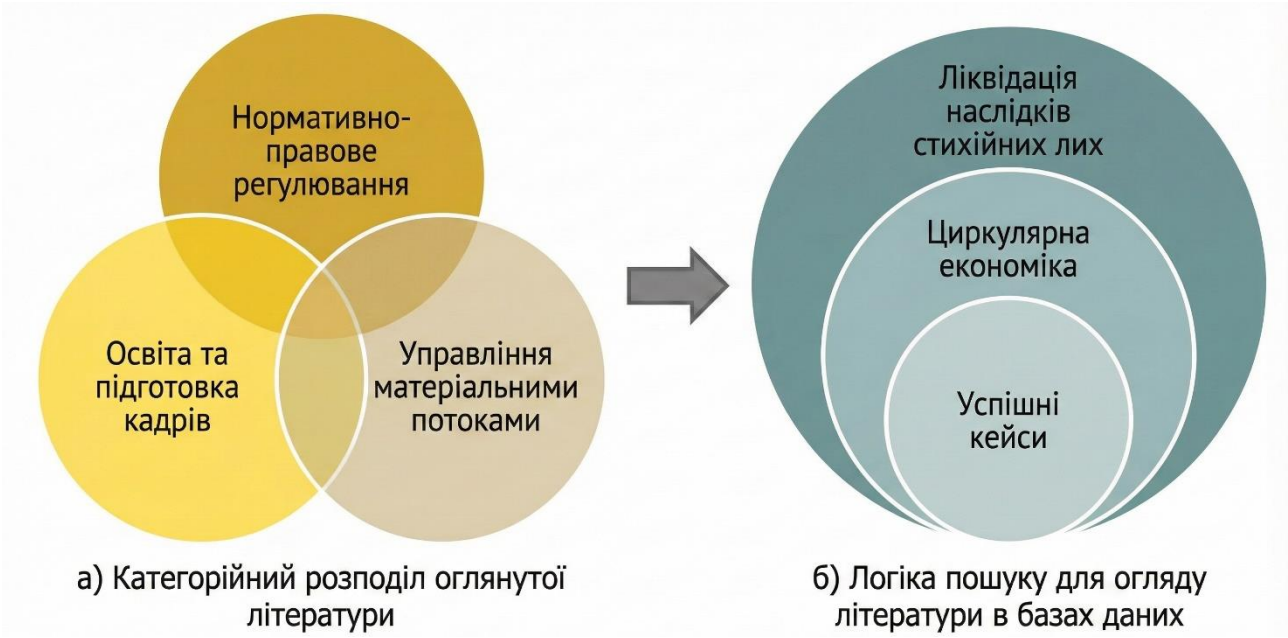

Рис. 2.2 – Методологія відбору та тематичної структуризації літературних джерел

Перша гіпотеза, яку дослідження прагнуло перевірити, полягає в тому, що якщо підрядники з ліквідації наслідків руйнувань почнуть розглядати уламки після обстрілів як ресурс, а не проблему, це може спричинити фундаментальну зміну у сфері утилізації та переробки матеріалів. Наприклад, контрольоване знесення та управління будівельними відходами можуть стати новими стандартами бізнесу. Такий підхід дозволяє перейти від сприйняття наслідків катастрофи як економічного та екологічного тягаря до використання їх як можливості для розвитку інших галузей, які можуть інтегрувати принципи повторного використання у власні постачальні ланцюги.

Друга гіпотеза передбачала перевірку того, чи ринок відновлених будівельних матеріалів зможе ефективно використати новий надлишок ресурсів

та інтегрувати їх у виробничі процеси. Щоб повністю реалізувати принципи циркулярної економіки, матеріали та ресурси повинні залишатися у постійному циклі очікування наступного застосування. Це означає, що замість того, щоб стати відходами на звалищі, уламки після атак можуть отримати нове життя у нових проектах. Такий підхід забезпечує економічну ефективність та збереження ресурсів, та сприяє мінімізації екологічного впливу. Це змінює традиційні моделі поводження з відходами та формує нові можливості для інфраструктурного розвитку, навіть у складних умовах.

У роботі було застосовано двоетапний підхід.

Перший етап передбачав використання обґрунтованої теорії та включав аналіз чинних рекомендацій і проведення напівструктурованих інтерв'ю за тематикою галузі, щоб оцінити поточні та запропоновані зміни у політиці для ширшого впровадження відновлення ресурсів як основного принципу в управлінні відходами після катастроф. Цей етап, який більше стосувався аспекту дослідження пов'язаного з екологічною освітою, базувався на стратегії опитування. Суть полягала у виявленні тенденцій кращих практик щодо відновлення матеріалів після катастроф, а також отриманні глибшого розуміння про мотивацію громадян. Значна частина населення може просто не усвідомлювати потенційних можливостей, які приховані у відновлених матеріалах. Опитування допомогли розробити запропоновану концептуальну структуру та зосередити увагу на практичних аспектах виконання та дотримання нормативних вимог. Зібрані дані опитувань дозволили оцінити поточний та проаналізувати ставлення до впровадження нової практики та визначити перспективи для розвитку у сфері поводження з відходами після атак [29, 31].

Другий етап дослідження був спрямований на практичну реалізацію отриманих теоретичних даних та розробку прикладних механізмів поводження з відходами руйнувань. Методологічною основою цього етапу став системний аналіз та моделювання, що дозволило сформувати матрицю вибору оптимальних технологій переробки залежно від логістичних, об'ємних та якісних характеристик об'єкта руйнування.

Для обґрунтування ресурсної доцільності запропонованих підходів було застосовано методи розрахункового моделювання, за допомогою яких оцінено потенційні обсяги утворення вторинної сировини на прикладі типових об'єктів забудови (малоповерхових та багатоповерхових будівель). Окрім цього, використовувався метод порівняльного аналізу для зіставлення фізико-механічних характеристик традиційних та відновлених будівельних матеріалів, а також метод оцінки життєвого циклу для визначення екологічного ефекту, зокрема розрахунку скорочення вуглецевого сліду та зменшення логістичного навантаження на інфраструктуру регіонів.

Комплексне поєднання цих методів дозволило трансформувати виявлені теоретичні принципи у конкретні алгоритми дій для післявоєнного відновлення.

2.2 Методика проведення соціологічного опитування та збору емпіричних даних

Одним із ключових методів збору даних у цьому дослідженні були опитування, які дозволяють отримати суб’єктивні думки респондентів. Оскільки опитування за своєю природою ґрунтуються на особистих поглядах, їх результати можуть варіюватися серед населення та не завжди бути узагальненими для всієї вибірки. Дані, отримані через анкетування, відображають поточні настрої та політичні рішення, але схильні до впливу особистого досвіду респондентів та їхньої оцінки останніх подій. Крім того, регіональний контекст значно впливає на мотивацію та стимули для підрядників і регуляторів.

Методологія дослідження передбачала проведення послідовних інтерв’ю та циклічних опитувань, застосовуючи обґрунтовану теорію у межах комплексного підходу до аналізу. Аналіз наявної нормативної бази та процедурних аспектів управління відходами після катастрофи дозволив встановити, як комунальні служби та державні планувальники організовують логістику прибирання, а також які економічні чи адміністративні бар’єри

заважають впровадженню екологічно та економічно обґрунтованих практик відновлення.

Опитування було розроблене у напівструктурованому форматі, що забезпечувало узгоджене розуміння однакових тем з кожним респондентом. Спочатку передбачалося залучити до дослідження представників органів управління, однак фокус дослідження було свідомо зміщено на пересічних громадян, які мають безпосередній досвід проживання в умовах післякатастрофного відновлення. Такий підхід дозволив краще оцінити рівень обізнаності населення щодо екологічних наслідків руйнувань та потенціалу сталих практик у повсякденному житті.

Опитування охоплювало мешканців районів, що зазнали впливу катастрофічних подій (зокрема бойових дій та демонтажу інфраструктури), і було орієнтоване на з’ясування таких аспектів: сприйняття відходів як ресурсу, рівень довіри до механізмів переробки, готовність до сортування будівельних уламків, а також базове розуміння концепції циркулярної економіки. Особлива увага приділялася виявленню бар’єрів, які заважають громадянам впроваджувати екологічно орієнтовану поведінку: від нестачі інформації до відсутності інфраструктури для збору та переробки матеріалів.

Також у ході дослідження проводилося опитування підрядників, що займаються ліквідацією наслідків руйнувань, а також із представниками державних структур, які регулюють цей процес, щоб визначити ключові фактори успіху та мотивувати їх запровадити сталі практики відновлення ресурсів як стандартну бізнес-модель у межах ширшої концепції циркулярної економіки.

Для якісного аналізу отриманих даних було застосовано підхід обґрунтованої теорії. Попередній аналіз літератури допоміг сформулювати тематичні блоки та відповідні запитання. Отримані відповіді дозволили реконструювати реальну картину того, як населення сприймає проблему будівельних відходів, які практики є найбільш поширеними, та які інституційні чи інформаційні зміни можуть сприяти поширенню сталих підходів. Таким чином, результати опитування стали основою для формування практичних

рекомендацій щодо покращення системи комунікації, просвітницьких кампаній та локальної екологічної політики.

У кожному випадку було отримано згоду учасників дослідження, а їхня анонімність гарантована.

Опитування проводилось із застосуванням змішаного підходу, який поєднував елементи якісного та кількісного аналізу. Метою було отримання уявлень про рівень екологічної обізнаності громадян та їхню готовність до впровадження сталих практик у сфері поводження з будівельними відходами. Для цього було розроблено анкету, що включала як закриті запитання (із варіантами відповідей для статистичного опрацювання), так і відкриті, які дозволяли респондентам висловити власну позицію та досвід.

Добірка респондентів здійснювалася за принципом цільової вибірки: участь у дослідженні брали мешканці районів, які безпосередньо стикалися з руйнаціями або процесами відновлення. Було охоплено респондентів різного віку, освіти, соціального статусу та рівня урбанізації – для забезпечення репрезентативності отриманих результатів. Польовий етап реалізовувався в онлайн-форматі через форми Google Forms. Опитування тривало протягом двох тижнів, із загальною кількістю валідних відповідей понад 50 одиниць.

Отримані дані були узагальнені за допомогою методів описової статистики та тематичного кодування. Окремі показники (наприклад, рівень розуміння поняття "циркулярна економіка" або готовність до сортування відходів) були представлені у вигляді частотних розподілів, тоді як наративні відповіді аналізувалися на предмет повторюваних тем, ціннісних орієнтацій та бар’єрів у поведінкових моделях.

Також було виявлено, що багатоступеневі шкали оцінки викликають утруднення, тому частину з них було замінено на простіші варіанти. Після аналізу коментарів та відповідей було внесено корективи до формулювань, структури та дизайну анкети. Зокрема, спрощено мову запитань, додано короткі пояснення до складних понять і змінено типи деяких відповідей. Завдяки цьому

вдалося адаптувати інструмент під реальні комунікаційні звички респондентів, що покращило потенційну якість і достовірність зібраних даних.

У процесі збору анкетних даних була реалізована система вбудованих фільтрів, що базувалася на використанні контрольних питань. Ці питання мали різні формулювання, але стосувалися однієї й тієї ж суті, або ж були логічно пов’язані твердженнями, що дозволяло перевірити послідовність і щирість відповідей. Такий підхід дає змогу виявити випадки недбалої участі у дослідженні (наприклад, коли анкета заповнюється поспіхом без осмислення змісту). Контрольні пари включали, наприклад, твердження з протилежним логічним навантаженням, де правильна відповідь могла бути визначена лише за умов уважного читання запитання.

Після первинного збору даних усі анкети проходили етап технічного скринінгу на узгодженість відповідей. У разі виявлення істотних суперечностей між відповідями на контрольні запитання, а також при наявності значної кількості пропущених або нейтральних відповідей, відповідна анкета виключалася з основного масиву. У підсумку було видалено близько 7% усіх отриманих анкет. Такий рівень відсіву відповідає типовим показникам для опитувань, що проводяться з відкритим доступом, і дозволяє сформувати більш надійну та якісну вибірку для подальшого аналізу. Цей крок також знижує ризик спотворення результатів, підвищує достовірність висновків та підвищує статистичну значущість отриманих залежностей.

РОЗДІЛ 3
АНАЛІЗ ГРОМАДСЬКОЇ ОБІЗНАНОСТІ ЩОДО ПЕРЕРОБКИ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ ТА ЇЇ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗНАЧЕННЯ

3.1 Оцінка рівня екологічної свідомості населення у сфері переробки будівельних відходів

У межах розробки дослідження на основі обґрунтованої теорії кожен етап логічно перетікав у наступний, адаптуючись до нових отриманих результатів. Під час багаторівневих опитувань респондентам пропонували базові запитання, а також можливість додати коментарі чи описати своє бачення поточного стану галузі. Це дозволило оцінити їхню готовність до переходу до циркулярної економіки з перспективи професійної діяльності. У випадку двох інтерв'ю з успішними організаціями на корпоративному та державному рівнях, практика застосування сталих підходів до управління ресурсами часто має два рівні впровадження: імітаційний рівень, що дозволяє повторювати ефективні моделі у спрощеній формі, та парадигмальний рівень, що передбачає глибші та стратегічні зміни у способах ведення бізнесу.

Основною дослідницькою метою цього розділу було вимірювання ставлення та готовності лідерів та представників галузі демонтажу до впровадження більш сталих операцій. У процесі аналізу та визначення подальшого напряму дій враховувалося сприйняття операцій з відновлення з боку звичайних громадян, а також загальне розуміння цього процесу серед фахівців, що безпосередньо працюють у сфері реагування на наслідки катастроф.

База дослідження охопила респондентів із різних районів, що дозволило оцінити вплив локального контексту на екологічну поведінку. Географічний розподіл учасників у межах м. Миколаєва представлено на рисунку 3.1.

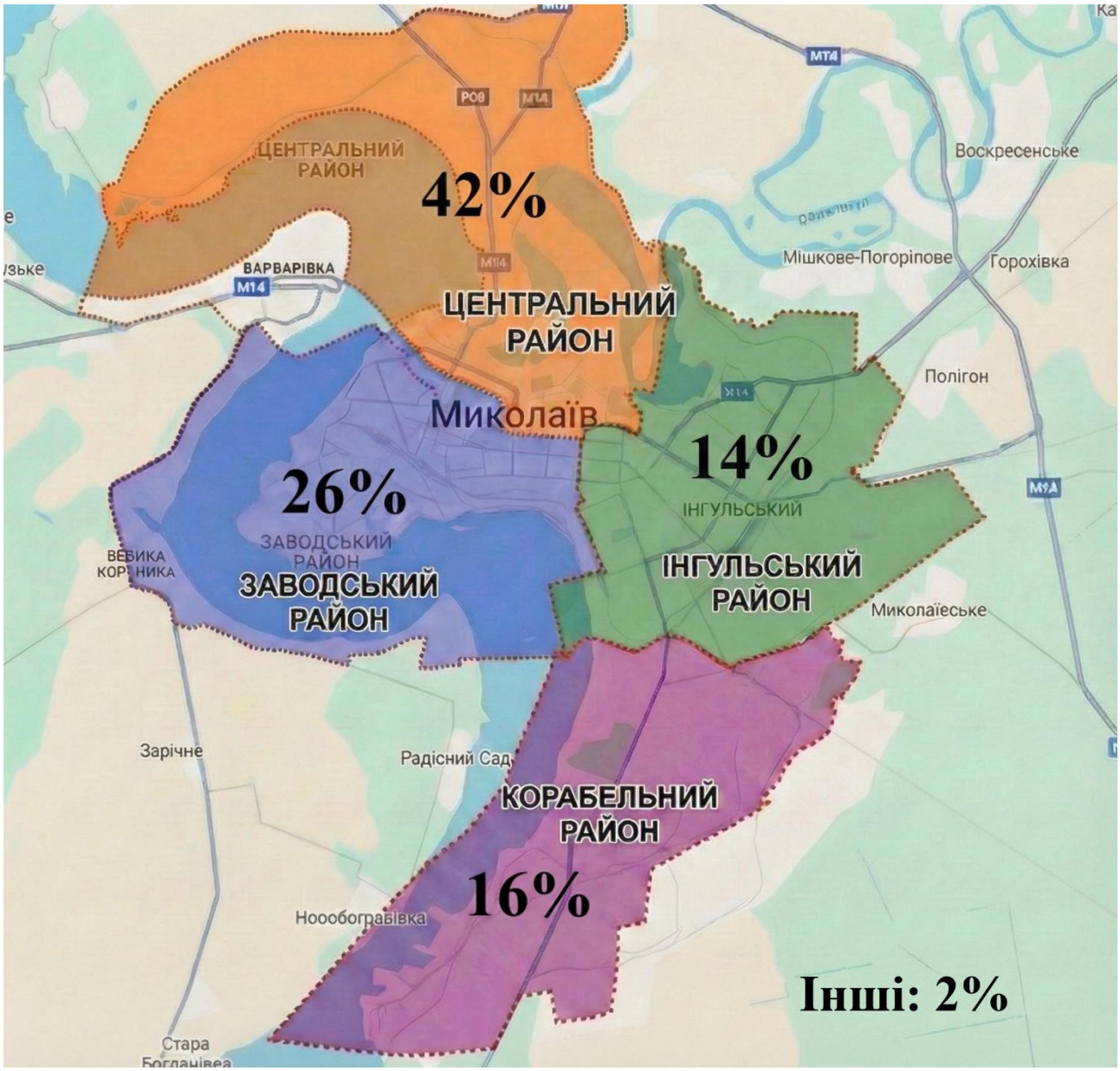

Рис. 3.1 – Розподіл учасників по районам міста Миколаєва

Така географічна концентрація респондентів у найбільш густонаселених районах міста дозволяє вважати отримані дані показовими для урбанізованого середовища, де проблема накопичення будівельного сміття стоїть найгостріше.

Після фіксації демографічного та територіального розподілу учасників, наступним етапом дослідження став аналіз їхньої компетенції у сфері поводження з відходами. Критично важливим для впровадження циркулярної моделі є розуміння того, чи сприймає населення залишки руйнувань як потенційний ресурс, чи виключно як сміття, що підлягає вивезенню. Саме тому

першим блоком змістовних питань було визначення рівня обізнаності громадян щодо можливості переробки основних фракцій будівельних матеріалів (Рис. 3.2).

Рис. 3.2 – Розподіл відповідей за різними типами матеріалів для переробки (*розпізнавання матеріалів для переробки та розуміння ризиків*)

Результати чітко показують інформаційну прогалину: метал впізнається 72% респондентів як переробний матеріал, але тільки 6% асоціюють азбест з переробкою, хоч 37% розуміють його як небезпечний. Це демонструє, що населення має базові знання про 'легкі' матеріали, але майже не знає про технології переробки складних компонентів.

Дані про рівень переробки у зазначених групах демонструють позитивний потенціал для бізнесів щодо перетворення особистих екологічних звичок на професійні практики, особливо у сфері демонтажу та збору матеріалів у межах регулярних операцій. Хоча акцент на особистих діях членів галузі показує позитивну тенденцію, рисунок 3.3 нижче ілюструє, як переклик між сортуванням матеріалів та бізнесовими практиками демонтажу може безпосередньо впливати на фінансовий результат компаній через доходи від відновлених ресурсів.

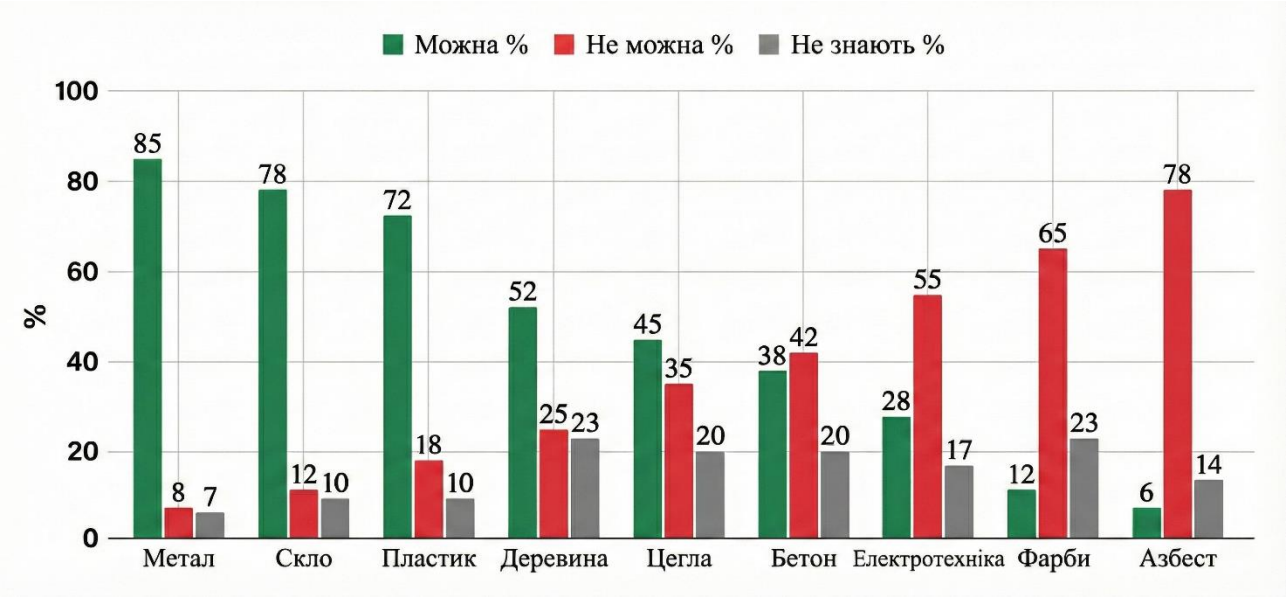

Рис. 3.3 – Зведені результати щодо знання населення про можливість переробки матеріалів.

Виявлено критичну інформаційну прогалину, 55-65% людей думають, що фарби та електротехніку не можна переробляти, хоча технології переробки існують.

Залучення громадськості до процесів відновлення не лише сприяє формуванню психологічної стійкості населення у відповідь на кризові ситуації [27], але й забезпечує життєздатність територій завдяки їхній гнучкості та адаптаційній здатності на всіх етапах катастрофи: до, під час та після. На ринку матеріалів тенденція до інтеграції принципів циркулярної економіки поступово розширюється між секторами, а деякі компанії вже спеціалізуються на навчанні та запровадженні цих моделей у зацікавлених організаціях.

Хоча технологічний процес переробки (дроблення, плавлення, рекуперація) здійснюється на спеціалізованих підприємствах, ефективність цієї системи критично залежить від первинного сортування на місці утворення. Змішані будівельні відходи, що містять органічні домішки, пластик чи небезпечні речовини, значно ускладнюють роботу сортувальних ліній і здорожчують кінцевий продукт. Тому було важливо з'ясувати готовність населення відокремлювати різні фракції під час ремонтних робіт чи розчищення завалів.

Дані, представлені на рисунку 3.4, демонструють чітку кореляцію між "зрозумілістю" матеріалу для побутового споживача та готовністю його сортувати.

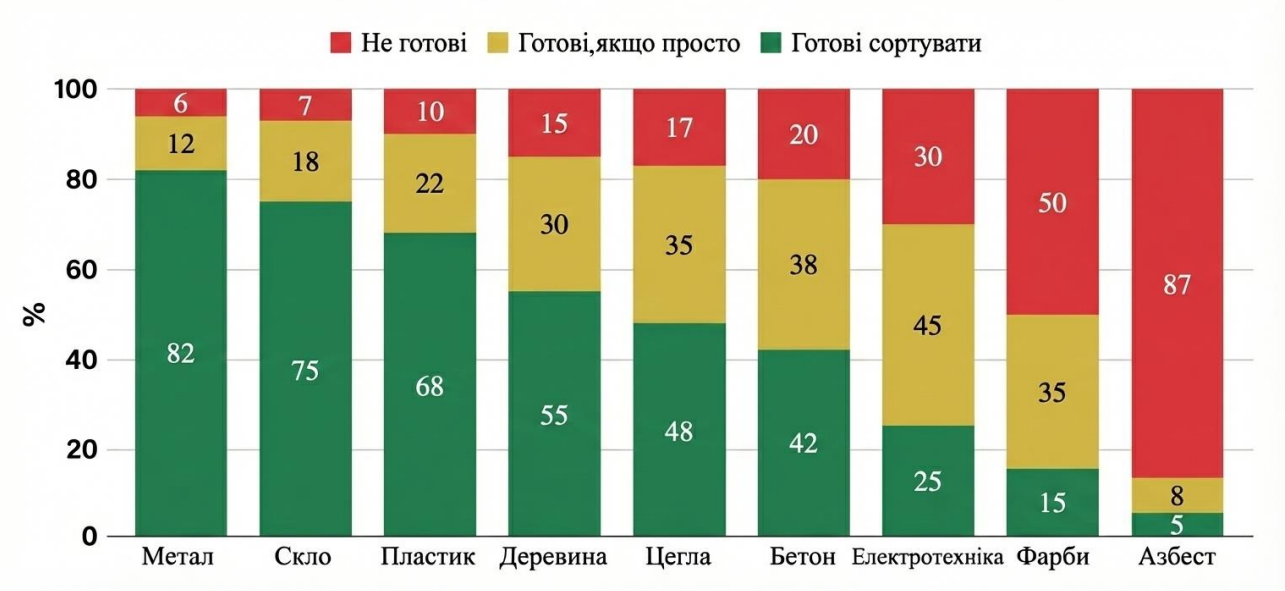

Рис. 3.4 – Готовність населення до сортування матеріалів

Для традиційних фракцій (метал, скло, пластик) спостерігається найвищий рівень готовності до сортування (82%, 75% та 68% відповідно). Це пояснюється тим, що населення вже має досвід поводження з цими матеріалами в межах побутового сортування сміття (ТПВ).

Будівельні інертні матеріали (цегла, бетон, деревина), тут значну частку займає категорія «Готові, якщо просто» (35–38%). Це свідчить про інфраструктурний бар'єр: респонденти не проти відкласти биту цеглу окремо, але не мають для цього зручних умов (спеціальних контейнерів біля будинку або доступної послуги вивозу). Для цієї групи матеріалів критично важливим є створення мережі локальних пунктів збору, що підтверджує гіпотези, висунуті у попередніх розділах.

Складні та небезпечні відходи (електротехніка, фарби, азбест), показники «Не готові» стрімко зростають, досягаючи максимуму для азбесту (87%). У контексті управління відходами це є позитивним сигналом, який вказує на те, що населення інтуїтивно усвідомлює небезпеку та складність поводження з токсичними матеріалами. Це підтверджує тезу про те, що збір та утилізація

небезпечних компонентів (особливо шиферу та азбестовмісних матеріалів) мають виконуватися виключно сертифікованими спеціалістами, а не перекладатися на плечі громадян.

Графік доводить, що населення готове бути активним учасником системи управління відходами на етапі сегрегації (розділення), але потребує спрощення логістики для важких матеріалів (бетон, цегла) та професійної допомоги з небезпечними відходами.

Ефективність залучення стейкхолдерів до процесів циркулярної економіки напряму залежить від якості інформування. Рисунок 3.5 ілюструє розподіл джерел інформації про можливості переробки будівельних відходів, виявляючи суттєві відмінності у поведінкових моделях населення та бізнесу.

Рис. 3.5 – Джерела інформації про переробку для населення та підприємств

Аналіз даних рисунку 3.5 дозволяє виділити три ключові тенденції:

- *Домінування цифрових каналів.* Як для бізнесу (75%), так і для населення (62%) основним джерелом знань є Інтернет та ЗМІ. Це підтверджує, що будь-яка стратегія управління відходами руйнувань повинна базуватися на цифрових

рішеннях (онлайн-мапи, реєстри, мобільні додатки), оскільки саме там аудиторія шукає шляхи вирішення проблем.

- *Роль емпіричного досвіду для бізнесу.* Високий показник "Власного досвіду" серед представників бізнесу (68%) свідчить про те, що ринок формується методом "спроб і помилок". Підприємці часто змушені самостійно вибудовувати ланцюги утилізації через брак централізованих рішень. Водночас бізнес значно більше орієнтується на "Офіційні джерела" (45%), що пояснюється необхідністю дотримання регуляторних норм та звітності.
- *Криза офіційної комунікації з населенням.* Для пересічних громадян спостерігається критично низький рівень впливу офіційних джерел (лише 18%). Натомість, майже половина респондентів (48%) покладається на "Сусідів/друзів", тобто на механізм "сарафанного радіо". Це вказує на недовіру або недоступність офіційної інформації від муніципалітетів. Тривожним сигналом є те, що 28% населення взагалі не отримували жодної інформації про переробку, перебуваючи в інформаційному вакуумі.

Існуюча система комунікації є фрагментарною. Населення дізнається про поводження з відходами хаотично (через знайомих або випадковий контент в інтернеті), тоді як бізнес спирається на власний практичний досвід. Для впровадження системного підходу, описаного у Розділі 4, необхідно переорієнтувати офіційну комунікацію на цифрові канали та посилити просвітницьку роботу, щоб заповнити інформаційну прогалину для 28% громадян, які наразі виключені з процесу.

Для побудови дієвої моделі управління відходами критично важливо розуміти, що саме спонукає різні групи до участі в цьому процесі. Результати, наведені на рисунку 3.6, демонструють фундаментальну різницю у мотивації бізнесу, населення та громадського сектору.

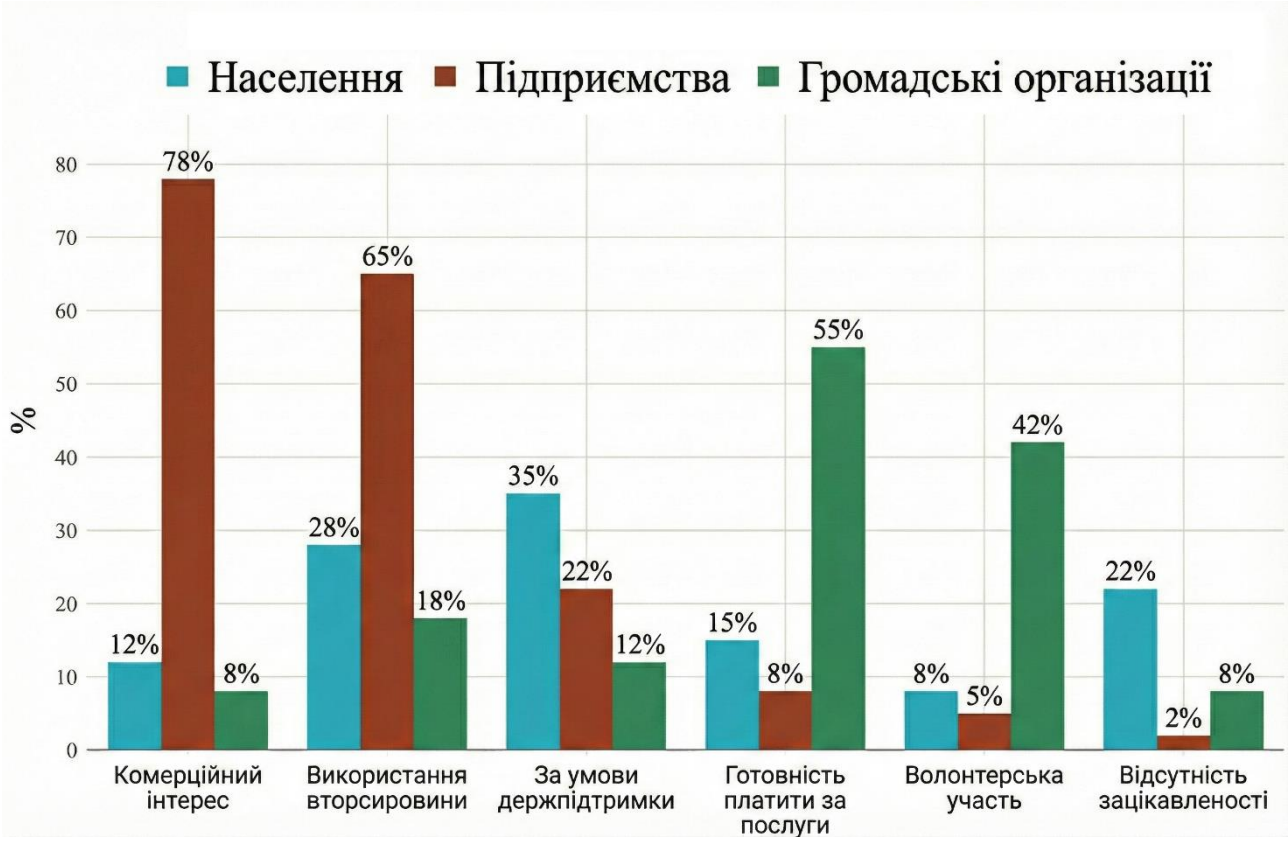

Рис. 3.6 – Порівняльний аналіз мотиваційних факторів участі ключових стейкхолдерів у впровадженні циркулярної економіки

Аналіз виявив чіткі поведінкові патерни, а саме – для бізнес-сектору абсолютним домінантом є прибутковість. 78% підприємців готові долучитися до переробки лише за умови отримання доходу, а 65% готові купувати вторинну сировину. Це підтверджує гіпотезу про те, що переробка будівельних відходів має будуватися не на примусі, а на ринкових механізмах. Висока готовність купувати перероблені матеріали (65%) свідчить про наявність платоспроможного попиту, що є головною умовою для запуску циркулярної моделі.

Також, бізнес практично не зацікавлений у волонтерстві (5%) чи сплаті додаткових зборів (8%), що вказує на неефективність суто адміністративних методів тиску. Представники громадських організацій демонструють діаметрально протилежну позицію. Вони є лідерами у готовності платити збір (55%) та працювати волонтерами (42%). Вони готові інвестувати власні ресурси (час та кошти) заради екологічної безпеки, навіть якщо це не приносить прямого

прибутку. Це робить їх ідеальними партнерами для адвокації реформ та контролю за незаконними звалищами.

Мотивація населення є найбільш розмитою, проте простежується чітка орієнтація на роль держави. Найвищий показник серед інших опцій – це готовність брати участь при держпідтримці (35%). Також тривожним є те, що 22% населення взагалі не готові до жодних дій – це найвищий показник пасивності серед усіх груп. Це корелює з попередніми даними про брак інформації. Рисунок 3.6 доводить що ефективна система поводження з відходами руйнувань має бути гібридною, для бізнесу необхідно створити умови ринку (дерегуляція, стандартизація вторинної сировини), щоб активувати їхній економічний інтерес. Для населення потрібні державні програми підтримки та просвітництва, щоб подолати бар'єр пасивності.

Успіх будь-якої реформи залежить не лише від готовності діяти, а й від розуміння кінцевої мети. Рисунок 3.7 демонструє суттєвий «когнітивний розрив» між різними групами стейкхолдерів щодо розуміння суті циркулярної економіки.

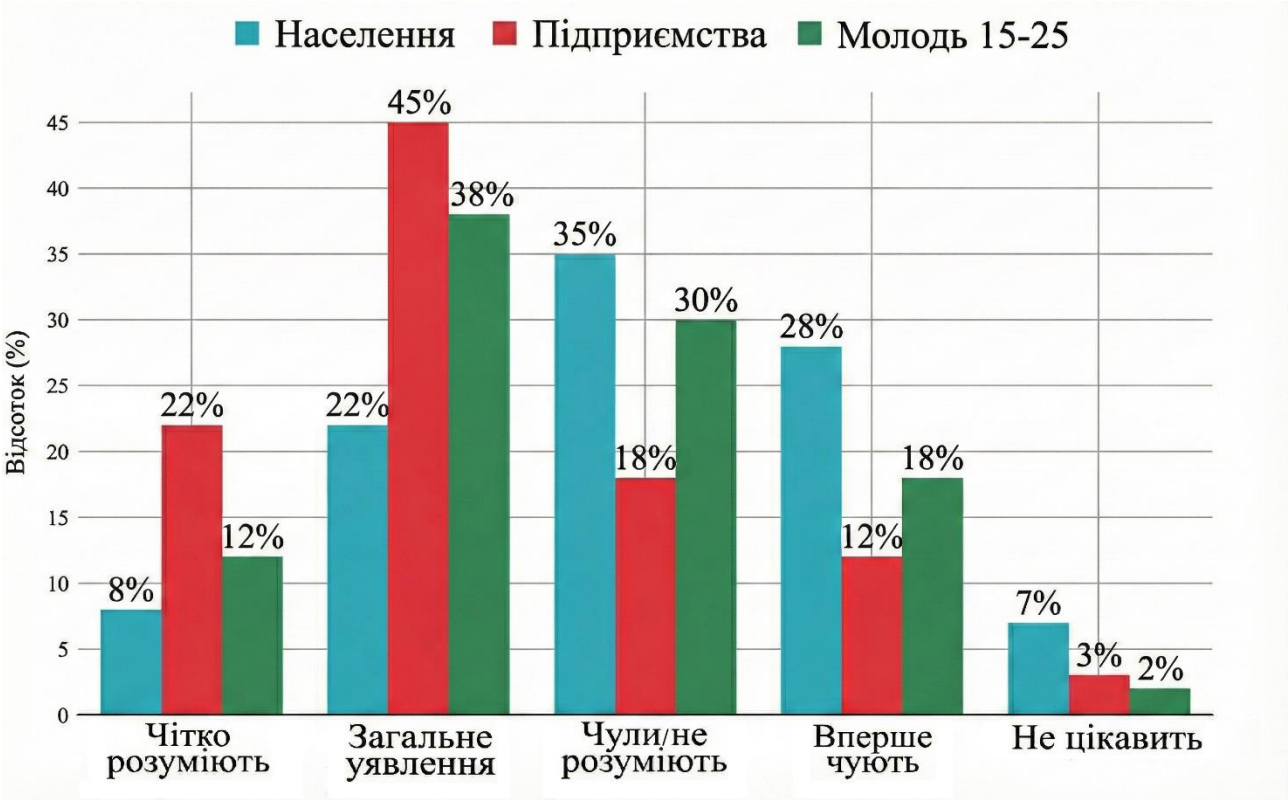

Рис. 3.7 – Порівняльна характеристика рівня обізнаності та розуміння концепції циркулярної економіки серед ключових груп населення

Бізнес-середовище демонструє найвищий рівень компетентності: сумарно 67% представників бізнесу мають «Чітке розуміння» або «Загальне уявлення» про концепцію. Це закономірно, оскільки для підприємців циркулярна економіка – це конкретні процеси оптимізації ресурсів та зменшення витрат, з якими вони стикаються на практиці.

Серед населення ситуація протилежна, хоча повна відмова від теми («Не цікавить») є низькою (7%), найбільша частка респондентів (35%) потрапляє в категорію «Чули, але не розуміють», а ще 28% чують про це вперше. Це свідчить про те, що інформаційний простір наповнений терміном «циркулярна економіка» (як модним трендом), але відсутня доступна розшифровка цього поняття для пересічного громадянина. Люди чують «дзвін», але не знають, як це стосується їхнього побуту.

Група 15–25 років займає проміжну позицію, але тяжіє до показників бізнесу в категорії «Загальне уявлення» (38%). Це вказує на ефективність освітніх програм та вищий рівень екологічної грамотності серед нового покоління, що підтверджує доцільність інвестування в освіту як довгострокову стратегію.

Дані підтверджують, що бар'єром для населення є не відсутність інтересу, а дефіцит якісної інформації. Високий відсоток тих, хто «Чули, але не розуміють», є прямим запитом на просту, прикладну комунікацію. Без перекладу складних концепцій циркулярна економіка на мову зрозумілих побутових вигод (економія, чисте довкілля), населення залишатиметься пасивним спостерігачем, а не учасником змін.

Далі, для формування ефективної стратегії управління відходами недостатньо знати загальний рівень готовності населення – необхідно розуміти, які саме фактори є драйверами, а які – гальмами цього процесу. Рисунок 3.8 демонструє кореляційний аналіз між готовністю до переробки та ключовими демографічними показниками: освітою, віком та рівнем доходу.

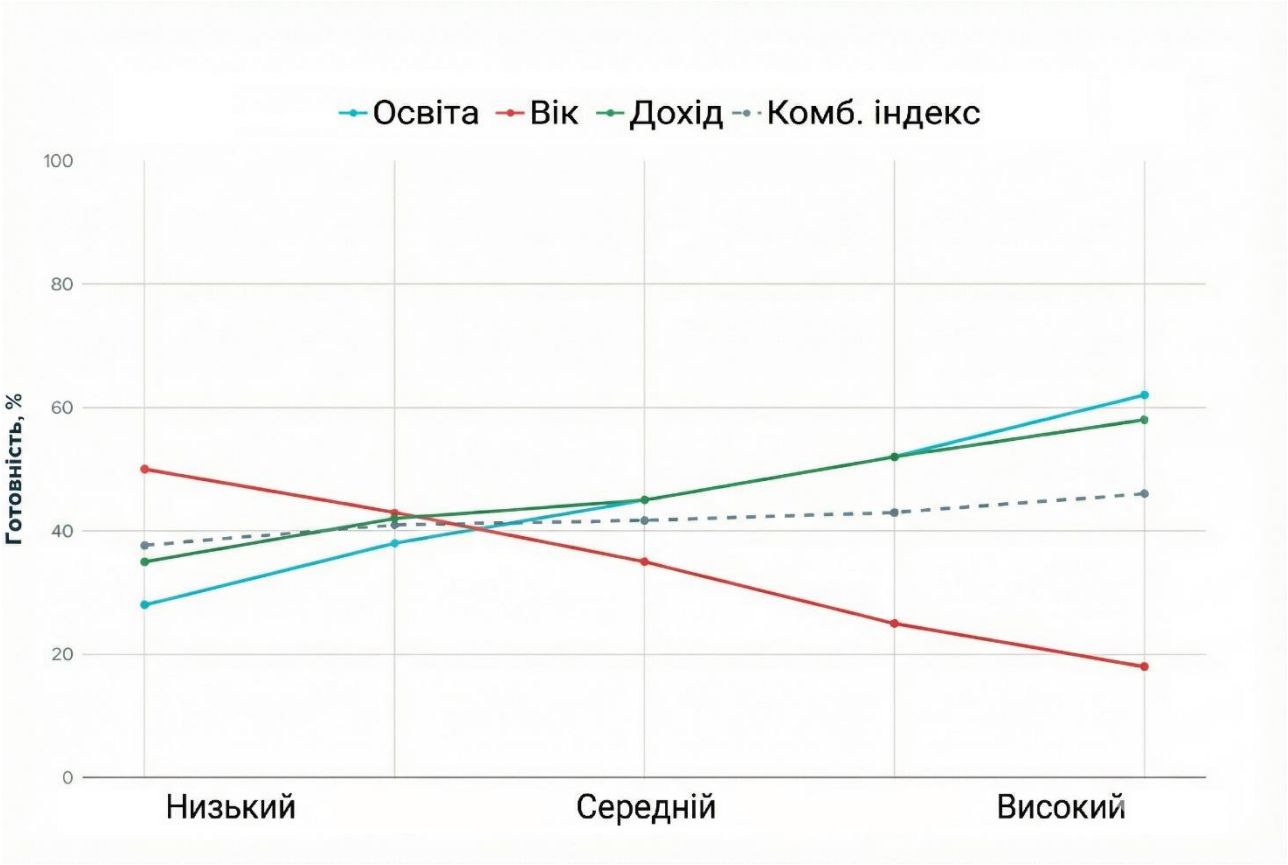

Рис. 3.8 – Соціально-економічні детермінанти поведінки населення у сфері поводження з відходами

Спостерігається найбільш виражена позитивна кореляція між рівнем освіти та готовністю до переробки. Зі зростанням рівня освіти від «Низького» до «Високого», показник готовності зростає більш ніж удвічі (з ~28% до 62%). Це свідчить про те, що екологічна свідомість є похідною від загальної освіченості: люди з вищою освітою краще розуміють довгострокові наслідки накопичення відходів та концепцію сталого розвитку.

Графік демонструє чітку обернену залежність: чим старша вікова група, тим нижча готовність до змін (падіння з 50% до ~18%). Молодь, яка виросла в інформаційному просторі з актуальним екологічним порядком денним, сприймає сортування як норму. Натомість старше покоління, сформоване в умовах іншої споживчої культури, демонструє консерватизм та опір новим практикам, що потребує окремих комунікаційних підходів (наприклад, через традиційні канали ЗМІ, виявлені на рис. 3.4).

Рівень доходу також має пряму кореляцію з екологічною активністю. Це ілюструє відомий соціологічний принцип: турбота про довкілля часто стає пріоритетом лише після задоволення базових матеріальних потреб. Люди з середнім та високим доходом мають більше ресурсів (часу, простору, фінансів) для організації сортування вдома.

«Комбінований індекс» (пунктирна лінія) показує лише незначне зростання, оскільки позитивний вплив освіти та доходу нівелюється консерватизмом старших вікових груп. Це дає чітку вказівку для Розділу 4, єдиний керований важіль впливу – це освіта та просвітництво. Інвестуючи в освітні кампанії, можна штучно підвищити "рівень обізнаності", що, згідно з графіком, дасть найбільший приріст готовності до участі в переробці відходів руйнувань.

3.2 Аналіз готовності адміністративного та бізнес-сектору

Для оцінки позиції органів влади було проведено глибинні опитування з представниками управлінь надзвичайних ситуацій та цивільного захисту (стаж роботи від 1 до 8 років). Аналіз відповідей виявив спільний адміністративний патерн:

- Пріоритет безпеки над екологією. Усі респонденти одностайно визначили головними завданнями швидке розчищення транспортних шляхів та відновлення критичної інфраструктури. Питання сортування уламків розглядається як другорядне або таке, що перешкоджає оперативності.
- Низька обізнаність. Жоден із посадовців не був знайомий із концепцією циркулярної економіки до моменту інтерв’ю, хоча всі практикують побутове сортування сміття. Це свідчить про розрив між особистими екологічними цінностями та професійними інструкціями.
- Відсутність інструкцій. Респонденти зазначили, що не отримували чітких директив щодо поводження з відходами руйнувань, окрім вимоги їх вивезення. Механізми маршрутизації ресурсів (куди саме везти бетон для переробки) на рівні оперативних протоколів відсутні.

Цей блок інтерв’ю підтверджує, що на рівні виконавців існує адміністративний бар’єр: без чітких нормативних вимог "зверху", ініціатива "знизу" щодо сортування блокується фактором терміновості.

Усі респонденти вперше зіткнулися з поняттям «циркулярна економіка» під час інтерв’ю, натомість розуміють і практикують утилізацію та сортування відходів як альтернативу захороненню. Позитивне ставлення до сортування – але лише за наявності інфраструктури. Кожен із респондентів сортує відходи вдома чи на роботі там, де діють муніципальні чи добровільні програми. Водночас відсутність власних потужностей переробки у їхніх департаментах чи вдома обмежує поширення цих практик.

Пріоритети після катастрофи – безпека й оперативне відновлення. Головними завданнями всіх опитаних є забезпечення безпеки населення, розчищення транспортних шляхів та відновлення критично важливої інфраструктури. Екологічні чи сталий підхід до управління уламками поки що не входить до основного переліку пріоритетів.

Співпраця з GIS та іншими службами. Троє із чотирьох респондентів відзначають тісну взаємодію з відділами геоінформаційних систем та операційними підрозділами для координації ресурсів і планування робіт, що свідчить про наявність цифрових інструментів, але не про їхнє використання в екологічному контексті.

Скепсис щодо економічної доцільності сталих програм. Навіть за підтримки ідей стійкого управління уламками, респонденти висловлюють сумніви щодо фінансової ефективності таких ініціатив без чіткого економічного обґрунтування.

Загалом, респонденти демонструють готовність до сортування та переробки відходів, але через низьку обізнаність із циркулярними моделями, брак інфраструктури та економічних стимулів подібні ініціативи залишаються другорядними. Для інтеграції сталого підходу необхідні навчальні програми з циркулярної економіки, розвиток переробних потужностей у складі самих департаментів та чіткі економічні аргументи на користь таких змін.

Наступним кроком стало опитування підприємств, як оцінка ще однієї сторони цієї тематики.

«ТехБудМеханіка», базуючись у Миколаївській області, утвердила себе як регіональний лідер у сфері циркулярної економіки будівельних відходів, досягнувши статусу ще у 2016 році. Це стосується і максимального використання перероблених матеріалів та залишків на території підприємств, а також чіткої системи повторного використання у всіх процесах доставки – наприклад, багаторазового повернення транспортного полістиролу постачальникам запчастин. Компанія впровадила замкнений цикл поводження з відходами, що включає мобільне дроблення бетону, багаторазове використання тари та переробку шламів фарби.

Для цього компанія запровадила низку спеціалізованих процесів:

1) Локальна переробка та сортування. На власних майданчиках у Миколаєві та Первомайську встановлено мобільні дробильні установки, які подрібнюють бетонні та цегляні уламки до фракцій 0–20 мм і 20–40 мм. Отриманий щебінь повторно використовують для внутрішніх доріг, основи майданчиків та виробництва бетонних блоків. Відокремлені металеві елементи (арматура, профілі) проходять через магнітні сепаратори та передаються на місцеві металургійні підприємства для переплавки.

2) Модульна система повторного використання пакувальних матеріалів. Полістиролові контейнери для запчастин не викидають – після доставки вони збираються, моються і повертаються постачальникам до 15 разів, знижуючи обсяг одноразового пластику на 80 %. Дерев’яні піддони після зносу відновлюються у власній столярній майстерні або подрібнюються в тирсу для виробництва ДСП на прилеглому кооперативі.

3) Управління складними фракціями. Шлами фарби й розчинників збираються у герметичні контейнери та передаються сертифікованим переробникам, які з допомогою адсорбентів і термічної обробки отримують промислові барвники та паливні компоненти. Ізоляційні матеріали (мінераловата, пінополістирол) сортуються за щільністю і фракціями – легка

фракція йде на ізоляційні блоки для технічних приміщень, темна – на наповнювачі для дорожніх покриттів.

4) Інноваційні підходи та командна робота. Компанія сформувала «групу з побічних продуктів» – міждисциплінарну команду інженерів, екологів та логістів, яка щомісяця аналізує потоки відходів, шукає нові ринки збуту вторсировини та проводить тести нових сумішей для будматеріалів із вмістом до 70 % перероблених компонентів. ТехБудМеханіка проводить пілотні проєкти з виготовлення геополімерного бетону на базі відходів виробництва щебеню та летких зол із коксохімічного заводу.

Завдяки цим заходам «ТехБудМеханіка» допомагає мінімізувати екологічний слід у Миколаївській області, і створює практичний кейс для впровадження циркулярних стратегій у будівельній галузі всієї України. Цей підхід демонструє, що навіть у регіонах із обмеженими ресурсами можна побудувати ефективну систему переробки та повторного використання будівельних відходів.

Наступне підприємство, «УтильВторПром», у Миколаївській області володіє достатньою стаціонарною інфраструктурою для подрібнення й сортування будівельних відходів: двома комплексами із загальною пропускною спроможністю близько 300 тон на добу. На їхній базі здійснюється розділення бетонно-цегляних уламків, відокремлення металевих фракцій і мийка щебеню. Це дозволяє своєчасно обслуговувати найближчі райони, скорочуючи транспортне плече та пов’язані з цим витрати, але залишає невирішеними проблеми віддалених громад, де мобільні лінії переробки наразі відсутні.

Система контролю якості «УтильВторПром» передбачає внутрішні лабораторні випробування міцності та чистоти матеріалів, а також перевірку на вміст небезпечних домішок. Проте відсутність зовнішньої сертифікації за ДСТУ або ISO 14001 обмежує довіру великих забудовників, які потребують формальних гарантій відповідності сировини галузевим стандартам. Економічна модель компанії залишається базовою – сортування, переробка та реалізація вторинної сировини за цінами на 25–30 % нижчими за первинні аналоги.

Водночас підприємство не використовує можливості багаторазового повернення допоміжних матеріалів (палет, контейнерів) і не здійснює власних досліджень із випуску нових будматеріалів на основі перероблених відходів. Це знижує загальну ефективність ресурсозбереження і позбавляє компанію додаткових джерел доходу. Також, «УтильВторПром» здійснює відкриті екскурсії та інформує місцеву спільноту, хоча його взаємодія з громадськими екологічними рухами залишається фрагментарною.

Одна з найпозитивніших тенденцій, що випливають із дослідження, полягає у можливостях на перетині галузі демонтажу та циркулярної економіки. Це свідчить про зростаючий рівень усвідомлення серед професіоналів галузі, що відкриває перспективи масштабування сталих практик.

3.3 Висновки по результату опитувань різних груп та співвідношення їх розуміння сфери поводження з будівельними відходами

При порівнянні опитування населення, управлінців та двох організацій, що впроваджують сталі практики, вдалось визначити спільні теми та інсайди, які окремо не здаються впливовими у щоденних операціях, але у системному підході допомагають виявити приховані закономірності у ізольованих потоках інформації чи процедурних процесах.

Підходи до регулювання надзвичайних ситуацій значною мірою покладалися на прецеденти попередніх дій, які дозволяли їм отримати компенсацію, а також на заходи, що найшвидше повертали їхні зони відповідальності до функціонування. Відмови від вимог сортування та ослаблення екологічних заходів були характерними для всіх областей у 2022 році, якщо швидкість відновлення могла бути порушена.

Координація з іншими відомствами відігравала важливу роль як під час навчальних вправ, так і під час реальних операцій реагування, але основним пріоритетом залишалося розчищення і якнайшвидше повернення до нормальних умов роботи. Кожен респондент відзначив відсутність чітких інструкцій від керівництва щодо подальшої долі уламків після їхнього вивезення за межі

уражених територій – єдине визначене завдання полягало в тому, щоб зробити це швидко. Респонденти висловили спільну проблему відсутності стандартизації у галузях, з якими вони взаємодіють. Хоча окремі бізнес-практики, такі які діють на підприємствах ««УтильВторПром» та «ТехБудМеханіка», можна вважати ефективними, без єдиних очікувань, закріплених у зовнішніх нормативних актах або узгоджених галузевих правилах, значне адміністративне навантаження та складність практичного впровадження змушують звужувати амбіції. Самі по собі ці організації успішно реалізують свої цілі у межах своєї адвокаційної та повсякденної діяльності, тим не менш залишаються обмеженими у своїх можливостях.

Наступним завданням після забезпечення безпеки є масштабне переміщення уламків на звалища. У більшості випадків етап тимчасового сортування ресурсів або їхнього перенаправлення пропускається, оскільки пріоритетом є швидке повернення до нормального функціонування. У відповідях респондентів не простежувалося усвідомлення зв'язку між відновленими матеріалами з уламків та їхнім потенційним використанням у місцевій економіці чи виробництві. Хоча для розглянутих підприємств сталою практикою є постійний перегляд своїх процесів та співпраці з постачальниками, щоб інтегрувати новітні економічно й екологічно збалансовані рішення у виробничі та збірні лінії.

Розглянута галузь використовує матеріало- та обладнанняємні процеси для створення надійних конструкцій, що служать для житла та інфраструктури. Коли відбувається демонтаж – чи то у зв'язку з катастрофою, чи плановий – використовувані матеріали зберігають свою цінність, навіть якщо вони вже не є частиною початкової структури. Заповнення цінних земельних ділянок уламками, які спричиняють витік шкідливих речовин на звалищах означає марнотратство ресурсів, що раніше перебували в обігу.

Новітні методики впровадження циркулярної економіки активно розвиваються для виробничих секторів, яким потрібно стабільне постачання сировинних матеріалів, як первинних, так і перероблених, для скорочення

постачальних ланцюгів, досягнення конкурентних переваг і розширення сталих портфелів. Ця можливість використати потенціал надлишкових ресурсів, формально класифікованих як відходи, відкриває надзвичайний потенціал для трансформації потоків матеріалів на місцевому, регіональному та національному рівнях.

За результатами опитування, кожна ілюстрація свідчить про зміни, що вже відбуваються або готові відбутися. Пробіли в знаннях пояснюються тим, що основним імперативом завжди було зниження витрат, а також відсутністю достатнього ознайомлення з концепціями, розглянутими в опитуванні та інтерв'ю.

Подолання цих проблем шляхом перегляду вартості ресурсів, а також освітніх заходів щодо сучасних тенденцій та практик, дозволить краще реагувати на регіональні дефіцити матеріалів. Таким чином, галузь займає унікальне місце в екологічній сфері та ідеї сталого розвитку, що може суттєво вплинути на щоденні операції. Крім того, прийняття стандартів у цій галузі сформує основу для майбутніх законодавчих змін, забезпечуючи підтримку і впровадження модернізованих підходів замість того, щоб нові законодавчі вимоги чи контрактні умови нав'язувалися зверху.

Опитування не є обмежувальними чи нормативними рекомендаціями, але чітко показують, де можливі покращення у галузі. Це дозволяє тим, хто працює у сфері самостійно формувати норми регулювання в межах асоціації, замість того, щоб чекати нового законодавчого акту, вимоги до контрактів або примусових змін. Підхід до успішного впровадження циркулярної економіки буде рухатися знизу догори, а не навпаки – через консультативну модель, орієнтовану на практичні індустріальні ініціативи, а не лише політичні директиви.

РОЗДІЛ 4
РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ СТРАТЕГІЇ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ РУЙНУВАНЬ

4.1 Комплексна оцінка обсягів, морфології та ідентифікація бар'єрів переробки

Проведений у першому розділі аналіз масштабів руйнувань в Україні засвідчив безпрецедентний обсяг утворення будівельних відходів, які за своїм складом є цінним вторинним ресурсом. Однак, як показали результати соціологічного та експертного опитування, викладені у третьому розділі, існуюча система управління цими відходами залишається неефективною [42].

Для розробки дієвих механізмів управління відходами руйнувань необхідно чітко ідентифікувати "больові точки" кожного учасника процесу. Дані, наведені на рисунку 4.1, демонструють, що єдиного бар'єра не існує – кожна група стейкхолдерів стикається зі своїм специфічним набором перешкод, що вимагає диференційованого підходу до вирішення проблеми.

Рис. 4.1 – Структурна диференціація ключових перешкод розвитку ринку вторинних матеріалів

Для представників бізнесу найбільш критичним фактором є «Висока вартість обладнання» (92%). Це пояснює, чому приватний сектор не поспішає інвестувати у стаціонарні заводи з переробки. Також бізнес вказує на «Невизначеність законодавства» (88%) та «Недостатню держпідтримку» (82%).

Це обґрунтовує необхідність переходу від капіталомістких стаціонарних заводів до гнучких мобільних рішень (дробильних комплексів), які потребують менших початкових інвестицій, а також впровадження чітких стандартів для вторинної сировини, щоб знизити ринкові ризики.

Організації найбільше стурбовані «Невизначеністю законодавства» (95%) та «Непрозорістю доходів» (80%). Високий показник щодо непрозорості свідчить про побоювання муніципалітетів щодо створення "сірого ринку" відходів, де уламки вивозяться нелегально, а бюджет втрачає кошти.

На відміну від бізнесу та влади, населення мало хвилюють законодавчі нюанси чи вартість обладнання. Для них головним бар'єром є «Відсутність локальних пунктів» (68%) та частково «Невизначеність законодавства» (52%). Це є прямим аргументом на користь створення мережі тимчасових майданчиків накопичення у межах пішохідної або короткої транспортної доступності, про що йтиметься далі в алгоритмі вибору технологій.

Для подолання виявлених бар'єрів розроблено алгоритм вибору технології, першим етапом якого є оцінка матеріаломісткості об'єктів (Рис. 4.2).

Запропонований алгоритм: *матриця вибору технологій*. Для подолання цих бар'єрів запропоновується алгоритм вибору оптимальної технології переробки залежно від характеру об'єкта руйнування та доступності інфраструктури:

При оцінці об’єкта руйнувань визначаються такі основні параметри:

- Склад матеріалів (монолітний бетон, цегла, змішані матеріали)
- Обсяг утворених відходів (малий <100 т, середній 100-1000 т, великий >1000 т)

- Ступінь забруднення (чистий матеріал, матеріал з домішками, токсичні компоненти)
- Віддаленість від центрів переробки (близько <5 км, середня 5-20 км, далеко >20 км)

Для коректного застосування матриці вибору технологій необхідно оперувати реалістичними показниками матеріаломісткості об'єктів. На рисунку 4.2 наведено розрахункові моделі для двох найбільш поширених типів руйнувань в Україні: приватного сектору та багатоквартирної забудови.

Рис. 4.2 – Розрахункові показники утворення та морфологічний склад відходів руйнувань для типових об'єктів житлової забудови

Аналіз цих даних дозволяє зробити важливі висновки для логістичного планування, а саме:

1. П'ятиповерховий будинок генерує в середньому 6 000 тонн відходів, що у 25–30 разів перевищує обсяг від приватного будинку (~225 тонн). Це означає, що для багатоповерхової забудови економічно доцільним є розгортання мобільного дробильного комплексу безпосередньо на майданчику (оскільки обсяг >1000 т.), тоді як для приватного сектору ефективнішою є модель вивезення на тимчасові майданчики накопичення.

2. В обох випадках понад 70% маси складають бетон, залізобетон та цегла. Це підтверджує, що основним технологічним процесом відновлення має бути дроблення для отримання вторинного щебеню.

3. Попри малу вагу, фракції скла, пластику та азбесту (шиферу) вимагають окремих ліній відбору. Наприклад, навіть 15–25 тонн деревини з одного будинку (якщо вона не згоріла) можуть бути перероблені на паливну тріску, що неможливо при змішуванні з бетоном.

Ці розрахункові величини слугують вхідними даними для Рівня 2 запропонованого алгоритму при виборі потужності обладнання.

На основі схеми (Рис 4.3) продемонстровано зв’язок між тим, як відбувається завершення життєвого циклу будівель та споруд як у запланованих умовах, так і в ситуаціях, що виникають непередбачено. Для розробки ефективних рішень необхідно розуміти відмінність у логіці поводження з відходами у мирний та воєнний час.

Рис. 4.3 – Концептуальна схема руху матеріальних потоків: порівняння планованих та аварійних сценаріїв

Схема показує основну відмінність у переміщенні матеріалів. Під час планової роботи головним кроком є класифікація - саме вона дозволяє

переходити до подрібнення й вторинного застосування. А ось у разі позаштатної ситуації цей етап часто пропускають, бо наявність суміші речовин через надзвичайні обставини (природні або техногенні) вимагає швидких дій. Через такий стан справ не всі матеріали можна відновити для дальшого використання.

Під час оновлення будівель демонтаж проходить під контролем. Тож можна організувати сортування, дроблення й переробку - це дає шанс повернути матеріали в обіг і зменшити кількість сміття на звалищах. Натомість аварійне руйнування, наприклад через стихійні лиха чи конфлікт, характеризується інакше: головним стає термінове очищення місць постраждалих.

У таких ситуаціях етап класифікації часто пропускають, направляючи неочищені маси одразу на полігона. Щоб краще зрозуміти, чому певні види вторинної сировини важко переробляти, створили таблицю перешкод (рис. 4.4), у якій колір показує силу бар’єра - від 1 (слабкий ефект) до 10 (серйозна проблема).

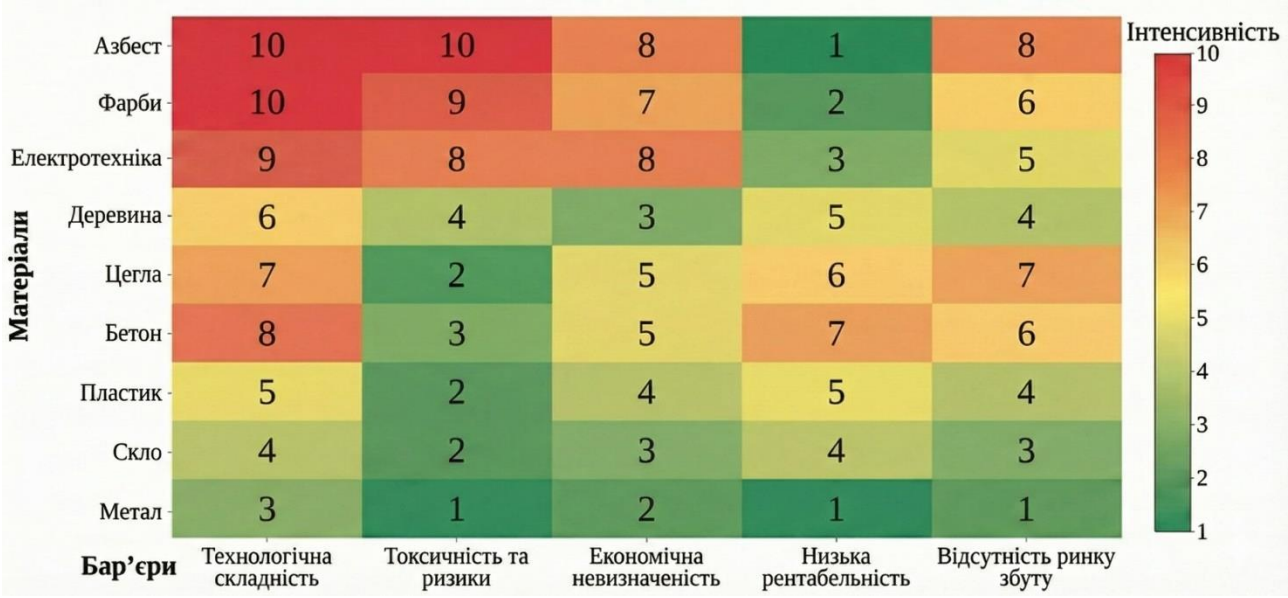

Рис. 4.4 – Теплова карта бар'єрів управління будівельними відходами

Аналіз теплової карти дозволяє чітко кластеризувати матеріали на три групи, що вимагають кардинально різних управлінських підходів:

- Група з критичною небезпекою - азбест, фарби, електроніка. У разі азбесту й фарб найголовніше обмеження - отруйність, 10 балів; схоже з обладнанням - 9–10. Це означає: заробляти на цьому неможливо без сторонніх коштів, адже

витрати на захист переважають можливий дохід. Також важливий чинник - слабкий попит (6–8), що свідчить про майже повну відсутність ринку для таких матеріалів.

- Група інфраструктурних викликів - бетон, цегла, деревина. Хоча ці матеріали мають низький рівень небезпеки (бал 2–4), зіштовхуються вони з економічними труднощами. Бетон і цегла потребують потужного подрібнювального устаткування, що оцінюють на 7–8 балів за технологічну складність. Разом із тим, прибутковість такого процесу мала - лише 6–7 балів. Перероблений щебінь коштує недорого; саме через це витрати на виробництво й перевезення можуть робити рециклування невигідним. Якщо немає підтримки від влади чи якщо пункт переробки далеко від місця використання.
- Група з високою ліквідністю - це метал, скло й певна частина пластику. Метал має найнижчі перешкоди за усіма критеріями (1–3 бали), через що його вторинне використання забезпечується ринком без додаткових інцентивів. У разі скла та деяких видів пластику показники трохи вищі, тож їхньою переробкою займаються лише при належній якості сировини та функціональних системах сортування.

Матриця доводить, що універсального рішення не існує. Для червоної групи головне - це захист разом із фінансовою підтримкою, жовта потребує ефективних перевезень, крім того - поручні технології переробки, зелена ж базується на зменшенні контролю й створенні середовища, де активна конкуренція.

4.2. Алгоритм вибору технологічних рішень та підбір обладнання

На потребу швидко відновлювати території поступово активніше використовують рухоме обладнання для подрібнювання та очищення будматеріалів. Компактні системи можна ставити просто поряд із місцями знесення споруд, де вони перетворюють бетон або цеглу на частинки завдяки установкам потужністю 100–500 т/добу; отримані матеріали (фракції 0–20 мм чи 20–40 мм) нерідко беруть для прокладання доріг чи заповнення видобутків [11].

Окрім того, задіюють передвижні комплекси з електромагнітами й воздушними фільтрами - щоб окремо забирати метали, пластик або органіку, машина дає до 200 т/год чистих вторинних мас [12].

Такі установки скорочують витрати на доставку сміття до великих майданчиків, а ще прискорюють відновлення територій - і це без шкоди для природи. Матеріали з переробки застосовуються в будівництві доріг чи споруд. Наприклад, подрібнений бетон разом із цеглою добре підходить замість звичайного щебеню в основі дороги, через що покриття тримається довше - провалень трапляється менше на 15–20 % порівняно з класичним варіантом [13].

Зменшення обсягів добування й перевезення натурального щебеню дозволяє знизити викиди CO_2 - приблизно на 25–30 %, або 100–120 кг CO_2 на кожну тону отриманого вторинного матеріалу [14]. З іншого боку, перероблені цегляні відходи використовують у легких бетонах як заповнювач; частка такої сировини становить 40–50 % без серйозного падіння міцності продукту [15].

На основі вивчення форми (перевага бетону) та аналізу перешкод створено таблицю добору технологій (Табл. 4.1). Ця схема допомагає обрати найкращий спосіб - залежно від масштабу пошкоджень або довжини шляху доставки. Однак мобільні установки підходять не скрізь. Вигода переробки залежить від того, наскільки кошти на доставку техніки перевищують витрати на вивіз сміття.

На невеликих ділянках дороге обладнання може бути просто марнотратством, а ось при великому демонтажі транспортування уламків значно збільшує видатки [35]. Це залежить від співвідношення витрат на мобілізацію обладнання та витрат на транспортування відходів. Для невеликих об'єктів розгортання потужної дробильної установки може бути фінансово невиправданим, тоді як для масштабних руйнувань вивезення уламків стане надмірним навантаженням на бюджет

Таблиця 4.1 – Матриця вибору технологічних сценаріїв поводження з відходами руйнувань залежно від характеристик об’єкта

Характеристика об’єкта	**Рекомендована технологія**	**Переваги**	**Обмеження**
Великий обсяг (>1000 т), чистий матеріал, близьке розташування	Мобільний комплекс на місці	Мінімальні транспортні витрати, швидка обробка, безпосереднє використання вторсировини	Потребує попередньої розчистки території
Середній обсяг (100-1000 т), змішані матеріали	Тимчасова сортувально-переробна станція	Локальне сортування, скорочення логістики, гнучкість місцеперебування	Потребує часу на розгортання
Малий обсяг (<100 т), віддалена локація	Вивезення на стаціонарний завод	Гарантована якість переробки, повна утилізація небезпечних фракцій	Високі транспортні витрати
Матеріал з токсичними компонентами	Спеціалізована переробка	Безпека для довкілля, вилучення небезпечних речовин	Вищі витрати, потребує сертифікованої лабораторії

Після вибору технології реалізується план із наступними етапами:

- Демонтаж та первинне сортування (на місці, професіоналами)
- Транспортування або на місці переробка (залежно від обраної технології)
- Вторинна обробка (подрібнення, очищення, фракціонування)
- Контроль якості та сертифікація вторинної сировини
- Реалізація через ринок або використання у внутрішніх проектах

Розв'язання логістичної проблеми: Децентралізована мережа мобільних комплексів на базі об'єктів руйнування усуває необхідність у дорогому дальньому транспортуванні. Прямо на місці можна отримати готовий до використання щебінь, який одразу застосовується для заповнення вирв або підготовки основи для дорожніх робіт.

Логістична ефективність на прикладі проєкту Neo-Eco у Гостомелі:

1. Об'єм обробленого матеріалу: 15,000 т.
2. Рівень переробки: >90 %.
3. Скорочення транспортування: 80% (матеріали залишалися у межах 2-3 км від місця демонтажу) .
4. Вартість логістики: знижена на 40% порівняно зі стаціонарними заводами.

Така висока результативність локальної переробки пояснюється фізичною природою самих відходів. Оскільки левову частку завалів складають важкі мінеральні матеріали, їх транспортування є економічно невигідним, натомість дроблення на місці дає миттєвий результат. Це підтверджується аналізом морфологічного складу, наведеним на рисунку 4.5.

Домінування мінеральної фракції (бетону та залізобетону на рівні 55-60%, а також цегли та кераміки – 25–30%) визначає не лише вибір обладнання, а й стратегію подальшого використання матеріалів. Оскільки сумарно ці інертні компоненти становлять до 90% маси завалу, їх переробка у вторинний щебінь дозволяє закрити потребу у сипучих матеріалах для відновлення інфраструктури безпосередньо в радіусі руйнувань. Це створює замкнений цикл: уламки зруйнованої будівлі стають основою для під’їзних шляхів або фундаменту нової споруди, що нівелює необхідність закупівлі та доставки природного кар’єрного ресурсу.

Саме тому основним обладнанням на майданчику має бути потужна дробильна установка, здатна працювати з високоміцним бетоном. Водночас важливо відмітити, що частка металу хоч і здається незначною за об'ємом, є критично важливою для рентабельності, оскільки метал – найдорожча вторинна сировина. Його вилучення за допомогою магнітних сепараторів здатне покрити значну частину операційних витрат на паливо для роботи комплексу.

Особливу увагу слід звернути на азбестовмісну категорію "Шифер" (3-5%). Це відносно невеликий обсяг, але якщо ці 3-5% токсичного азбесту потраплять у дробарку разом із бетоном, то всі 60% отриманого щебеню стануть непридатними для використання через забруднення азбестовим пилом.

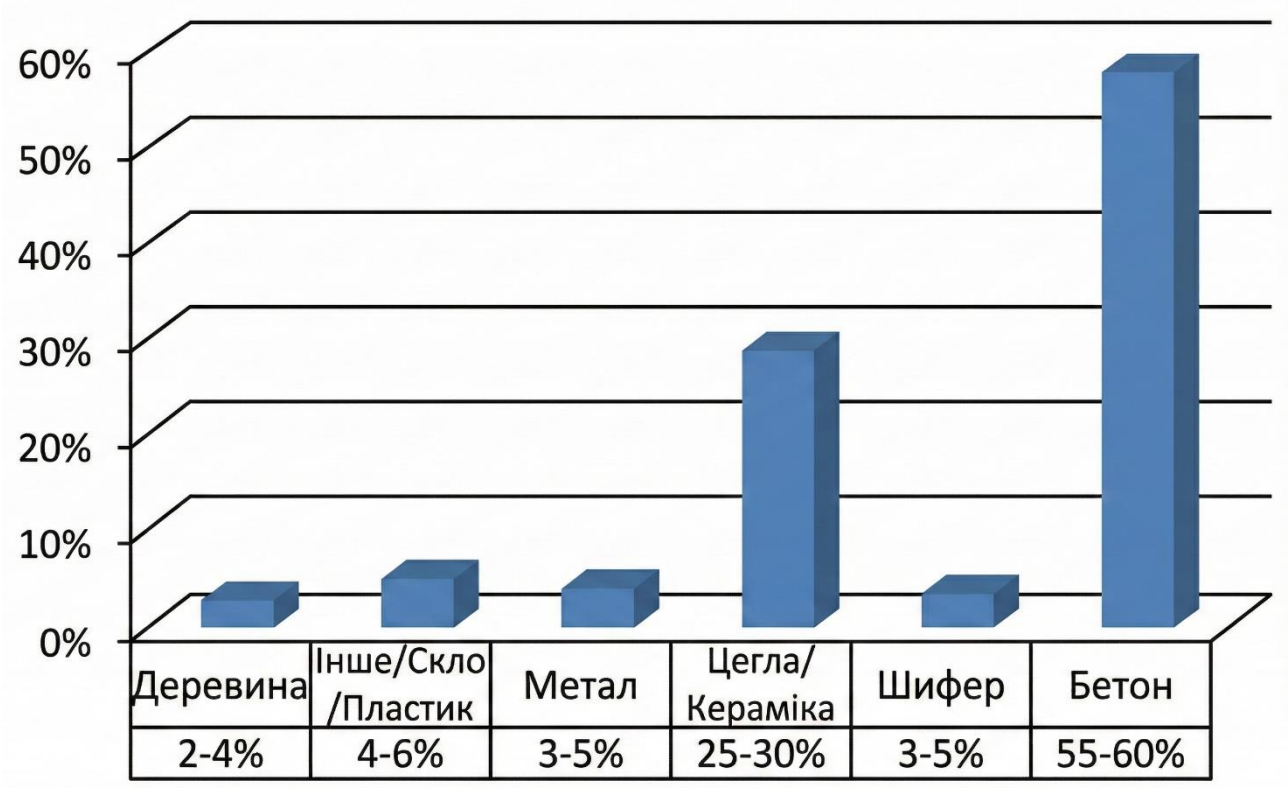

Рис. 4.5 – Усереднений морфологічний склад відходів руйнувань багатоквартирного житлового фонду

Найпоширеніший матеріал у вітчизняному будівництві – бетон і залізобетон, що містять цемент, пісок, щебінь та арматуру. Після руйнувань уламки цих конструкцій дроблять на мобільних чи стаціонарних дробарках, отримуючи фракції щебеню розміром 0–20 мм і 20–40 мм для дорожніх основ або для заміни первинного щебеню в нових бетонних сумішах.

Магнітні сепаратори відокремлюють металеву арматуру, яка надходить на переплавку, а подекуди застосовується й водне миття, що знижує пилові домішки й підвищує міцність вторинного щебеню. Традиційна керамічна та силікатна цегла у перемішаному вигляді перетворюється на крихту, подібну до піску, – фракціями 0–5 мм для штукатурних розчинів і 5–20 мм для підсипання й ландшафтних робіт. Такий “цегляний пісок” дозволяє зменшити потребу в кар’єрному піску та підвищити енергоефективність виробництва.

Металеві конструкції – сталь арматури, фрагменти панелей і алюмінієві профілі – попередньо сортують за видами сталі та сплавів, пресують у брикети й надсилають на металургійні комбінати. Сталь переплавляють у високоякісні сплави, алюміній – у декоративні або конструкційні профілі.

Таблиця 4.2 – Порівняльна характеристика техніко-експлуатаційних показників мобільного обладнання для рециклінгу

Параметр	**Мобільна дробарка (первинна обробка)**	**Мобільний сортер (сортування)**
Продуктивність	150-250 т/год	100-150 т/год
Можливість обробки бетону	Так, до марки В45	Так, поділ на фракції
Система пиловидалення	Циклон + мокрий скрубер	Циклон + фільтри HEPA
Споживання палива	35-50 л/год	25-35 л/год
Час розгортання	2-4 години	1-2 години
Потребує:	Рівна площа ≥1,000 м²	Рівна площа ≥800 м²
Кількість персоналу	4-6 осіб	3-5 осіб

Дерев’яні елементи (опалубка, тимчасові конструкції, декоративні панелі) поділяють на ті, що придатні для повторного використання, й на відходи. Останні подрібнюють у тирсу та стружку, яка стає сировиною для виготовлення ДСП, ДВП або утилізується як біопаливо на промислових котельнях.

Гіпсокартон та гіпсові плити дроблять до порошкоподібного стану та повертають у виробництво гіпсових листів або використовують як мінеральний наповнювач у цементно-гіпсових сумішах для штукатурних робіт. Мінераловатні ізоляційні матеріали (скловата, кам’яна вата) перед пресуванням сортують за типом волокон, а потім пресують у брикети та додають до цементних розчинів як легкі тепло-ізоляційні компоненти. Віконні шиби і розбиті склопакети подрібнюють у фрит, відділяючи пластикові та металеві ущільнювачі. Цей скляний фрит повертається на склозаводи для виробництва нового скла, керамограніту або застосовується як наповнювач у асфальтобетоні та декоративних композиціях. Пластикові труби, ПВХ-панелі та ізоляція кабелів сортуються за марками полімерів (PVC, PE, PP), подрібнюються в гранули й перетворюються на нові профілі, плити або будівельні плитки.

У таблиці 4.3 представлено узагальнений огляд основних видів будівельних матеріалів, що застосовуються в Україні, та технологій їх переробки.

Таблиця 4.3 – Можливості переробки основних складових будівельних відходів.

Назва відходів	Характеристика	Технології переробки, які доступні в Україні
Бетон і залізобетон	Домінує у монолітному й панельному будівництві; містить цемент, пісок і щебінь.	Первинне дроблення великих блоків у мобільних чи стаціонарних дробарках із отриманням фракцій щебню (0–20 мм, 20–40 мм) для застосування в дорожніх основах і нових бетонних сумішах. Магнітні сепаратори відділяють сталь арматури, яка прямує на переплавку. Доцільно застосовувати водну мийку фракцій для зниження вмісту пилу й підвищення міцності вторсировини.
Цегла (керамічна та силікатна)	Традиційний матеріал для малоповерхового житлового будівництва	Дроблення цегляної крихти до фракцій 0–10 мм (для легких бетонів) і 10–20 мм (для підсипання й ландшафтних робіт). Фракція 0–5 мм може служити у виробництві штукатурних сумішей як піщано-цегляний наповнювач.
Металеві конструкції (сталь, алюміній)	несучі елементи, каркаси, арматура, облицювальні панелі	Сортування за видами металу, пресування в брикети, передача на металургійні комбінати. Сталеві відходи переплавляються у високоякісні сплави, алюмінієві – у нові профілі чи листи.
Дерево та дерев'яні вироби	Опалубка, тимчасові конструкції, декоративні елементи.	Сортування на придатні до повторного використання (наприклад, дошки опалубки) та на відходи – останні подрібнюють у тирсу чи фризи для виробництва ДСП, ДВП або як біопаливо в котельнях.
Гіпсокартон та гіпсові плити	Внутрішні перегородки та облицювання	Подрібнення в тонкий порошок і повернення в цикл виробництва гіпсових листів або використання як наповнювача у виробництві цементно-гіпсових сумішей.
Ізоляційні матеріали	Тепло- та звукоізоляція фасадів, покрівель, перегородок	Сортування за типом (скловата, піноскло тощо), пресування у брикети, використання як добавка до цементних розчинів або як теплоізоляція наповнювачів нового покоління.
Скло та склопакети	Віконні системи, фасадне скління	Подрібнення до фрита, відділення металевих профілів та ущільнювачів, фрит використовують у виробництві нового віконного скла, керамограніту, склоблоків та як наповнювач у дорожніх сумішах
Пластики (ПВХ-панелі, труби, ізоляція кабелів)	Водопровідні та каналізаційні мережі, облицювання	Сортування за марками (PVC, PE, PP), гранулювання, повторне лиття у продукти малої будівельної техніки (профілі, плити) або виготовлення пластикових бруківок.

Такий чином навіть складні змішані відходи здатні повністю інтегруватися у виробничі цикли, якщо побудована ефективна система сортування та вторинної обробки. Це дозволяє значно знизити екологічну завантаженість на довкілля та оптимізувати використання обмежених ресурсів.

Практичну реалізацію цього підходу візуалізовано на рисунку 4.6, де змодельовано матеріальний баланс переробки типового зруйнованого об'єкта (наприклад, п'ятиповерхової панельної будівлі).

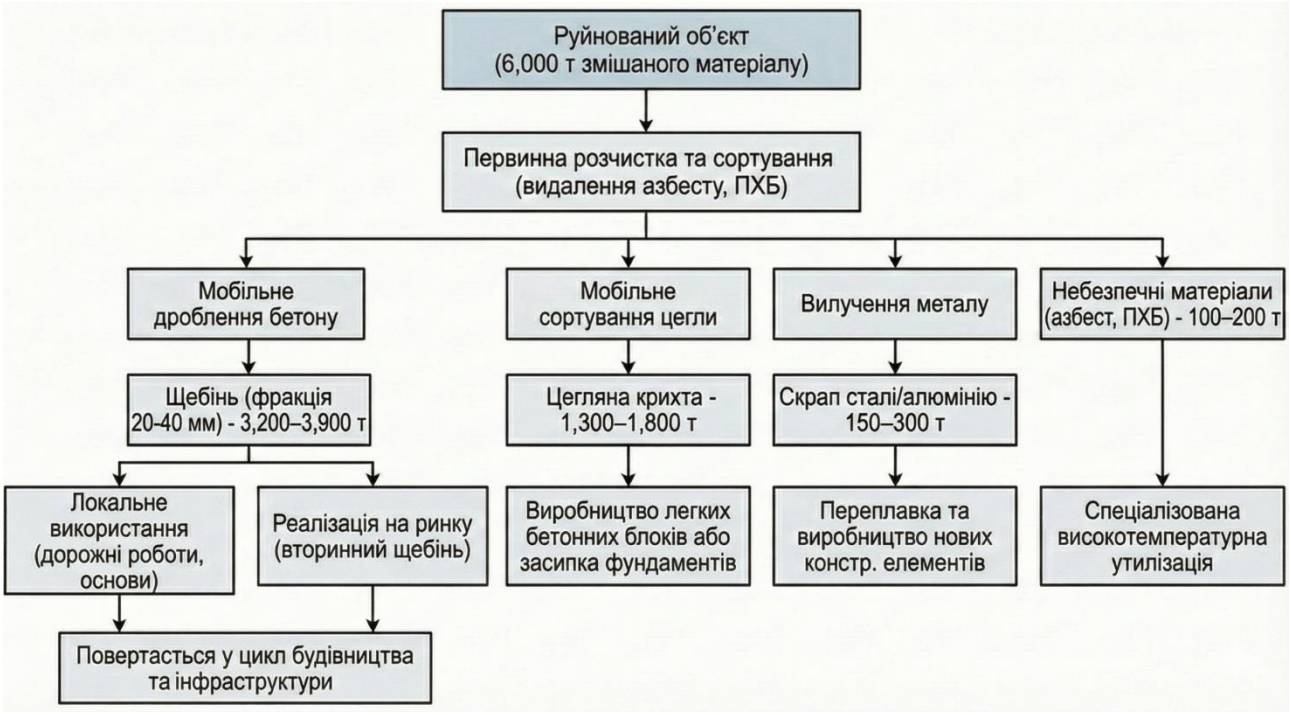

Рис. 4.6 – Модель розподілу матеріальних потоків та балансу мас при переробці типового зруйнованого об'єкта

Схема демонструє, що понад 85% маси (бетон, цегла, метал) може повертатися в економічний обіг. Ключовою особливістю запропонованої моделі є сегрегація потоків, найбільш масивна частина (бетон/цегла, сумарно ~5000 т), яка переробляється на місці у вторинний щебінь та крихту, що дозволяє уникнути їх транспортування на полігон. Високоліквідна фракція (метал), хоча її частка становить лише ~5% (150–300 т), її ринкова вартість здатна компенсувати операційні витрати на роботу дробарок. Також чітко виділений

потік токсичних відходів (100–200 т), що гарантує екологічну безпеку вторинної продукції.

4.3. Нормативно-правова імплементація та інноваційні напрями використання вторинної сировини

Застосування технічних рішень із попередніх частин можливе лише за наявності чітких, проте зрозумілих правил. Під час відновлення країни швидкість робочих процесів нерідко перешкоджає точності - через це слід запобігати сталому використанню тимчасових схвалень для несистемного складування сміття. Для покращення контролю над будівельними відходами в Україні потрібні одночасні кроки як у законотворенні, так і в доступі до даних. Закони мають містити не просто оголошення про переробку, а конкретні цілі - наприклад, KPI для окремих видів відходів.

Варто звернути увагу на Нідерланди: там заборона на складування матеріалів, придатних до вторинної обробки, діє на рівні закону. Саме завдяки такому підходу близько 97% будматеріалів у країні повертаються в економіку замість того, щоб потрапляти на полігони [36].

Як варіант для України - запровадити поступовий заперет на закопування сирого бетонного лому і цегельних уламків, обмеживши підрядників потребою переробляти принаймні 80% таких матеріалів. Таке рішення може спонукати ринок активніше займатися детальним поділом сміття, адже саме це наголошується в Європейському протоколі з поводження будівельними відходами.

Один з найбільших чинників, що заважають розвитку підприємництва - це непевність: важко сказати, коли груда старого будматеріалу перетворюється на корисну річ, а не просто сміття. Сфера рециклінгу повинна функціонувати за зрозумілими правилами. Так, у Великобританії запроваджено так звані «Protocols for Quality». У разі виконання норм документа, повторно отриманий щебінь уже не числиться як відхід, замість цього набуває статусу готової продукції [37].

На основі цього досвіду варто запустити держреєстр переробників із офіційним устаткуванням, що працюють за затвердженими нормами. Згодом брати участь у торгах на розбирання об’єктів на бюджетні гроші зможуть лише ті підприємства.

Репресивні заходи слід поєднувати з фінансовими стимулами, які роблять перероблену сировину прибутковішою порівняно з новою. Тоді як у Данії і Великобританії діє значний податок на добування корисних копалин і викиди на полігони. Через це натуральний щебінь стає дорожчим через оплату, натомість повторне використання отримує перевагу в цінах для забудовників. На рівні ЄС активно запроваджують систему GPP - «зелений» держзакупівлі. Так, під час торгів на будівництво доріг у багатьох країнах треба враховувати принаймні 15–20 % матеріалів з вторсировини.

Коли великі міжнародні фінансування йдуть на відбудову, чіткий контроль за відходами набуває стратегічного значення для довіри союзників. Замість цього паперові документи легко підробити або змінити. Цифрова автоматизація всього процесу доставки може стати реальним вирішенням.

Ключовим інструментом прозорості має стати впровадження національної системи цифрового моніторингу, прототипом якої виступає пілотний проєкт мобільного додатку «WasteTrack UA\GreenMark». Алгоритм роботи такої системи має базуватися на принципі наскрізного контролю:

- Етап 1: Фіксація обсягів. Під час первинного обстеження зруйнованого об'єкта інспектор вносить у систему дані про розрахунковий об'єм та морфологічний склад відходів (на основі 3D-сканування або інструментальних замірів). Цей об'єм стає "цифровим слідом" об'єкта, який неможливо непомітно зменшити.
- Етап 2: Логістичний трекінг. Кожна партія вивезених відходів отримує унікальний QR-код або RFID-мітку. Вантажівки, що перевозять уламки, обладнуються GPS-трекерами, інтегрованими в єдину систему. Це дозволяє диспетчеру в режимі реального часу бачити, чи рухається машина на авторизований майданчик переробки, чи відхилилася від маршруту.

- Етап 3: Blockchain-підтвердження утилізації. Факт приймання відходів на переробку та факт відвантаження готової вторинної продукції фіксуються у розподіленому реєстрі (Blockchain). Ця технологія унеможливлює "редагування" історії операцій заднім числом. Таким чином, міжнародний донор або державний аудитор може в будь-який момент перевірити: "Куди ділися 5000 тонн бетону з об'єкта X?" і побачити, що вони перетворені на 3500 тонн щебеню, який використано для підсипки дороги Y.

Впровадження таких інструментів перетворює процес управління відходами на прозорий індустріальний процес, що є критичною умовою для залучення інвестицій у галузь.

Також, світовий досвід показує, що економічна ефективність рециклінгу безпосередньо залежить від доданої вартості кінцевого продукту. Виробництво лише вторинного щебеню для дорожніх робіт, хоч і вирішує проблему обсягу відходів, має низьку маржинальність. Тому стратегічним вектором для України має стати впровадження технологій «Upcycling» - створення матеріалів, які за своїми характеристиками не поступаються, а іноді й перевершують первинні аналоги [39].

Одним із найбільш перспективних напрямів є відмова від традиційного портландцементу на користь в’яжучих нового покоління. Дослідження підтверджують ефективність технології геополімерного бетону, де як основний заповнювач використовується подрібнений бетонний брухт (до 60–70%), а роль в’яжучого виконують активовані лугами промислові відходи (летюча зола ТЕС, шлаки).

Такий матеріал демонструє низку переваг для післявоєнної відбудови:

1) Механічна міцність: Експериментальні зразки досягають міцності на стиск, що перевищує показники традиційного бетону класу В25.

2) Екологічний ефект: Вуглецевий слід геополімерного бетону на 40–50% нижчий, оскільки процес не потребує високотемпературного випалу клінкеру [45].

Паралельно розвивається напрям будівельного 3D-друку. Як зазначають Лі та Кім (2022), використання дрібнодисперсної фракції відходів (подрібнене скло, кераміка) замість кар'єрного піску у сумішах для 3D-принтерів дозволяє зводити малі архітектурні форми (зупинки, блокпости, огорожі) у стислі терміни безпосередньо на місці руйнувань. Це знижує залежність від логістики будівельних матеріалів.

Критично важливим для відновлення житлового фонду є забезпечення доступними стіновими матеріалами. Використання відсіву продуктів дроблення (фракція 0–5 мм) для виготовлення вібропресованої цегли є економічно обґрунтованим рішенням. На рисунку 4.7 наведено результати порівняльного аналізу фізико-механічних властивостей традиційної керамічної цегли та експериментальних зразків композитної цегли, виготовленої з додаванням вторинної сировини.

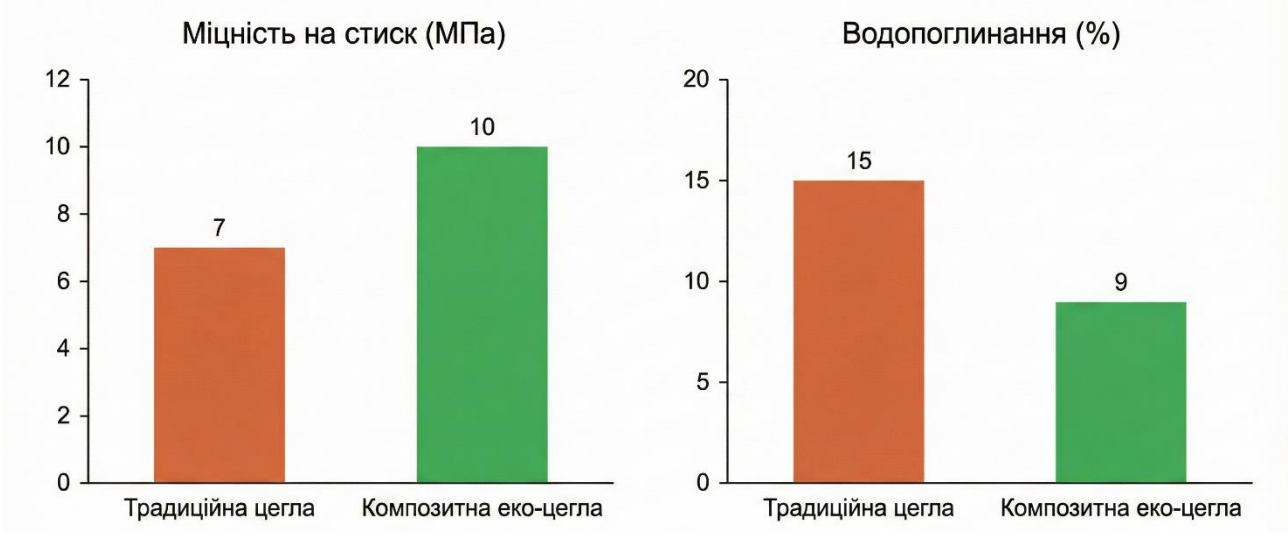

Рис. 4.7 – Порівняльна характеристика фізико-механічних властивостей традиційної керамічної цегли та композитної цегли на основі будівельних відходів

Аналіз діаграм дозволяє зробити висновки про технічну перевагу композитних матеріалів: зразки еко-цегли демонструють міцність на стиск на рівні 10 МПа, що суттєво перевищує усереднений показник для звичайної глиняної цегли (7 МПа). Це дозволяє використовувати такий матеріал у несучих стінах будівель висотою до 3-х поверхів. Композитна цегла має знижений рівень

водопоглинання (9% проти 15% у традиційної). Це є критичним фактором для довговічності фасадів в кліматичних умовах України, оскільки менше насичення вологою знижує ризик руйнування при циклах замерзання-відтавання.

З точки зору ресурсоефективності, така технологія дозволяє утилізувати близько 3 кг відходів на кожну цеглину. При масштабуванні виробництва до партії в 1000 одиниць досягається подвійний ефект: утилізується 3 тонни будівельного сміття та зберігається близько 4 м³ родючого ґрунту, який був би відчужений під глиняний кар'єр.

Впровадження таких матеріалів потребує подолання бар'єру недовіри з боку споживачів. Використання сертифікованих вторинних матеріалів підвищує ринкову вартість об'єктів нерухомості завдяки можливості отримання міжнародних сертифікатів сталості (BREEAM, LEED) [29].

Для України це відкриває доступ до «зеленого» фінансування. Інвестори та міжнародні донори дедалі частіше висувають вимоги щодо екологічності матеріалів. Таким чином, використання переробленого бетону чи цегли перетворюється з вимушеного заходу на конкурентну перевагу, що дозволяє забудовникам залучати пільгові кредити та гранти на відбудову.

Завершальним етапом побудови ефективної системи поводження з відходами є забезпечення екологічної безпеки безпосередньо на майданчиках переробки.

Навіть при наявності сучасного обладнання, процес рециклінгу не є миттєвим – він вимагає створення буферних зон для накопичення вхідної сировини та готової продукції. Загальна логіка поводження з потоками матеріалів на такому майданчику представлена на рисунку 4.8.

Як видно зі схеми, критично важливим етапом є первинна сегрегація на вході. Розділення потоку на "Небезпечні" (азбест, тари з-під фарб/хімікатів) та "Безпечні" відходи визначає подальшу долю матеріалу. Небезпечні компоненти підлягають ізоляції та передачі на спеціалізовану утилізацію, що унеможливлює забруднення вторинного продукту. "Вологі відходи" (шлами від миття техніки

або опади очисних споруд) проходять стадію зневоднення перед подальшим використанням або захороненням.

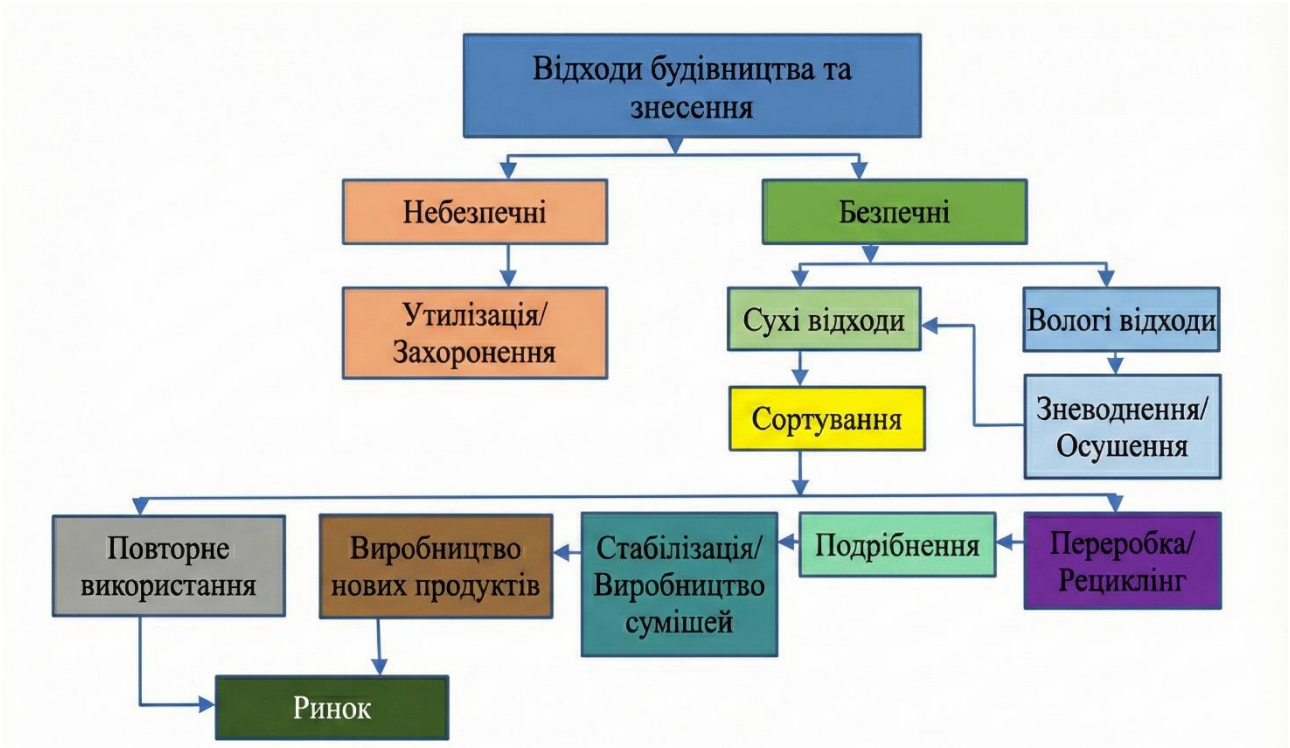

Рис. 4.8 – Концептуальна схема стратегій управління матеріальними потоками на майданчику переробки

На практиці часто виникає проблема неправильного зберігання. Хаотичне складування змішаних відходів без підготовки основи призводить до інфільтрації шкідливих речовин у ґрунт.

Основною проблемою є як реальні, так і сприйняті труднощі у впровадженні стабільної моделі управління відходами після надзвичайних ситуацій як невід'ємної частини процесу реагування. У минулому проводилися пілотні проєкти щодо підвищення рівня переробки та повторного використання матеріалів, але після масованих атак, коли обсяг руйнувань здається надмірним, екологічні та регуляторні вимоги часто тимчасово скасовують заради оперативності.

Якщо нормативні стандарти стануть достатньо чіткими і передбачуваними для комунальних служб та державних органів, то практика регулярних винятків із правил більше не буде нормою.

Рис. 4.9 – Порівняльна характеристика способів організації зберігання відходів руйнувань: а) хаотичне накопичення змішаних відходів; б) стаціонарні бетонні відсіки для роздільного зберігання фракцій; в) організація тимчасових постів сортування; г) контейнерна система збору для запобігання змішуванню.

Для мінімізації впливу на довкілля на майданчиках тимчасового накопичення необхідно впроваджувати наступні інженерно-екологічні заходи:

1) Зони зберігання небезпечних відходів та паливно-мастильних матеріалів повинні мати тверде покриття (бетонні плити) або геомембрану, що запобігає контакту з ґрунтом.

2) Робота дробильного обладнання генерує значну кількість пилу. Застосування систем водяного туману (спринклерів) дозволяє осадити до 80% дрібнодисперсних частинок, захищаючи повітря в радіусі 500 м.

3) Ефективним та економічно доступним рішенням для України є створення "зелених щитів". Висадження по периметру майданчиків швидкорослих рослин-фітофільтрів (верба, тополя, очерет) дозволяє природним шляхом затримувати пил та поглинати надлишок вологи з ґрунту, запобігаючи розтіканню забруднених стоків.

Окрім технологічних і економічних аспектів, важливо розглянути вплив поводження з будівельними відходами на стан екологічної системи в ширшому розумінні. Використання вторинної сировини дозволяє уникнути енергоємних процесів видобутку та первинної обробки корисних копалин [47]. Узагальнені дані щодо ефективності рециклінгу наведені в Таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Потенціал енергозбереження та скорочення викидів рециклінгу основних фракцій будівельних відходів [6, 43, 47]

Матеріал	**Економія енергії (порівняно з первинним виробництвом)**	**Зниження забруднення повітря**
Алюміній	90–95%	90–95%
Сталь	60–70%	85%
Полімери	70–80%	5–70% *
Щебінь	35–60%	40–50%
Скло	5–30%	20%
Папір/Картон	40%	70-75%

Примітка: *Для пластику показник забруднення повітря значно варіюється залежно від типу полімеру та технології переробки.

Як свідчать дані, переробка металевих елементів конструкцій (арматура, профілі, віконні рами) дає найбільший екологічний ефект. Переплавка

вторинного алюмінію потребує лише 5% енергії, необхідної для його виробництва з бокситів. Враховуючи руйнування сучасних фасадних систем та вікон, це колосальний ресурс енергозбереження. Використання металобрухту замість залізної руди знижує викиди в атмосферу на 85%, що є критично важливим для промислових регіонів України. Хоча економія енергії при переробці скла та пластику менша, ключовим фактором є зменшення обсягу твердих відходів, що не розкладаються на полігонах століттями [38].

Таким чином, кожна тонна відсортованого та переробленого на майданчику матеріалу – це і будівельний ресурс, і прямий внесок у декарбонізацію економіки України.

Важливо також відмітити, що інтеграція екологічних стандартів не є лише витратною частиною. Як показує кінцевий блок схеми 4.8 ("Ринок"), чиста, відсортована та безпечна сировина має вищу ринкову вартість. Виробництво нових продуктів (наприклад, бетонних блоків чи дорожніх сумішей) безпосередньо на місці переробки перетворює витрати на утилізацію в дохід від реалізації будматеріалів.

Загалом, розроблений у даному розділі комплексний підхід демонструє, що управління відходами післявоєнної відбудови вимагає синергії на трьох рівнях:

- Технологічному – використання мобільних комплексів та інноваційних рецептур (геополімери, еко-цегла) для перетворення відходів на ресурс.
- Регуляторному – впровадження цифрового моніторингу та секторальних квот для детінізації ринку.
- Екологічному – дотримання стандартів безпечного зберігання для захисту здоров'я населення.

Імплементація запропонованого алгоритму дозволить Україні ефективніше ліквідувати наслідки руйнувань та закласти фундамент сучасної індустрії рециклінгу, що відповідає принципам циркулярної економіки та європейським екологічним стандартам.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання розробки екологічно орієнтованих підходів до управління відходами руйнувань, що утворилися внаслідок бойових дій. На основі системного аналізу, соціологічних досліджень та моделювання матеріальних потоків отримано наступні результати:

1. Проаналізовано масштаби та структуру відходів. Встановлено, що в умовах війни традиційна лінійна модель «руйнування – вивезення – полігон» є екологічно небезпечною та економічно збитковою. Розрахункові моделі показали, що до 85% маси завалів складають інертні матеріали (бетон, цегла), які є цінним ресурсом для відбудови. Однак критичною проблемою залишається змішування цих фракцій з небезпечними відходами (азбест, хімічні речовини) на етапі неконтрольованого демонтажу, що перетворює потенційний ресурс на екологічну загрозу.

2. Визначено соціальні та поведінкові бар'єри. Результати опитування стейкхолдерів виявили суттєвий розрив у мотивації ключових груп. Для бізнесу головним стимулом є прибутковість (78% респондентів), для громадських організацій – екологічна безпека, тоді як населення демонструє пасивність (22% не готові до дій) через брак зручної інфраструктури. Виявлено низький рівень обізнаності громадян щодо можливостей переробки складних відходів: 65% опитаних не знають, що електротехніка та фарби підлягають рециклінгу. Це обґрунтовує необхідність масштабних просвітницьких кампаній як першого кроку реформи.

3. Ідентифіковано перешкоди впровадження циркулярної економіки. Побудована матриця бар'єрів показала, що для бізнесу критичними є висока вартість стаціонарного обладнання та невизначеність законодавства. Для органів влади головним ризиком є непрозорість ринку та відсутність контролю за обігом відходів. Це доводить, що універсального рішення не існує: стратегія повинна поєднувати дерегуляцію для «зелених» матеріалів (метал, скло) та жорсткий контроль і субсидування для «червоних» (азбест).

4. Розроблено алгоритм вибору технологій переробки. Запропоновано адаптивну модель прийняття рішень, що базується на обсягах руйнувань та логістичній доступності. Доведено, що для об’єктів з обсягом відходів понад 1000 тонн (багатоквартирні будинки) економічно доцільним є використання мобільних дробильно-сортувальних комплексів безпосередньо на майданчику. Це дозволяє скоротити транспортні витрати на 40% та зменшити викиди CO_2 від логістики.

5. Обґрунтовано ефективність інноваційних матеріалів. Порівняльний аналіз фізико-механічних характеристик довів, що будівельні матеріали на основі вторинної сировини можуть конкурувати з первинними аналогами. Використання таких матеріалів дозволяє економити енергоресурси (до 95% для алюмінію, 60% для сталі) та зберігати природні ландшафти від розробки нових кар'єрів.

6. Сформовано стратегію імплементації. Для практичної реалізації запропонованих підходів розроблено рекомендації щодо нормативно-правового регулювання, які включають введення секторальних квот на переробку, створення реєстру сертифікованих операторів та впровадження цифрового моніторингу (системи типу «WasteTrack»). Запропоновано стандарти екологічно безпечного зберігання на тимчасових майданчиках із застосуванням методів біоремедіації для захисту ґрунтів.

Перехід до циркулярної моделі управління відходами руйнувань має стратегічну важливість для післявоєнної України. Запропонований у роботі комплексний підхід дозволяє трансформувати проблему колосальних обсягів будівельного сміття у драйвер відновлення інфраструктури, забезпечуючи при цьому економію ресурсів, створення нових робочих місць та мінімізацію негативного впливу на довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Boulding K. The Economics of the Coming Spaceship Earth // Environmental Quality in a Growing Economy : Essays from the Sixth Resources for the Future Forum. – Baltimore : Johns Hopkins University Press, 1966. – P. 3–14.
2. Fuller R. Buckminster. Operating Manual for Spaceship Earth. – New York : Southern Illinois University Press, 1969. – 143 p.
3. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (2024). Дані про обсяги відходів руйнувань. Міндовкілля України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.mindovkillya.gov.ua/ruiny-waste-data
4. Програма розвитку ООН в Україні. (2023). Звіт про відновлення та управління уламками. ПРООН. [Електронний ресурс]– Режим доступу: https://www.ua.undp.org/recovery-debris-report
5. European Commission. (2020). Construction and Demolition Waste Management Protocol. European Union.
6. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2018). Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures Report. EPA.
7. World Health Organization. (2014). Asbestos: elimination of asbestos-related diseases. WHO.
8. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (2023). Оцінка шкоди довкіллю. Міндовкілля України. – Режим доступу: https://www.mindovkillya.gov.ua/environment-damage-2023
9. Державна служба статистики України. (2022). Довкілля України 2021. Київ : Держстат України. – 2022. – 292 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/zb/11/zb_dovkillia_2021.pdf
10. Державна служба статистики України. (2023). Довкілля України 2022. Київ : Держстат України. – 2023. – 284 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2023/zb/10/zb_dov_22.pdf

11. Верховна Рада України. (2022). Закон України «Про управління відходами» № 2320-IX від 20.06.2022. Відомості Верховної Ради України. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text

12. Кабінет Міністрів України. (2023). Постанова № 1073 від 06.10.2023 р. «Про затвердження класифікації та принципів поводження з будівельними відходами». Урядовий кур'єр. – Режим доступу: https://www.kmu.gov.ua/npas/1073-klasification-debris

13. Аналітичний центр «Екологічна стратегія». Звіт про логістику й утилізацію С&Д-відходів в Україні. Київ: Аналіт. центр «Екологічна стратегія», 2024. 45 с.

14. Інститут будівельних досліджень. Оцінка потужностей дробильно-сортувальних комплексів. Київ: Ін-т буд. досліджень, 2023. 32 с.

15. Державна екологічна інспекція України. Моніторинг токсичних фільтратів на полігонах. Київ: Держекоінспекція України, 2022. 28 с.

16. Ivanov, A., & Petrenko, V. (2023). Geopolymer Concrete with Recycled Aggregates: Mechanical Properties and Sustainability Assessment. Journal of Sustainable Construction, 12(2), 45–58.

17. Lee, S.-Y., & Kim, J. (2022). 3D Printing with Construction and Demolition Waste: A Review. Additive Manufacturing, 49, 102–115.

18. Warsaw Municipality, ReSmart Ltd. PPP Agreement on C&D Waste Processing [Електронний ресурс]. – Варшава, 2021. – Режим доступу: https://rethinkwaste.org/wp-content/uploads/2022/01/Fully-Executed_Zanker_SBWMA_CD_Debris_Processing_Agreement_2022-26.pdf

19. Blengini G. A. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy // Building and Environment. – 2009. – Vol. 44, No. 2. – P. 319–330. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.03.007

20. Núñez-Cacho P., et al. Are companies ready for the circular economy? An approach to the Spanish context // Sustainability. – 2018. – Vol. 10, No. 4. – Article 1041. https://doi.org/10.3390/su10041041

21. Asari M., et al. Strategy for separation and treatment of disaster waste: A manual for earthquake and tsunami disaster waste management in Japan // Journal of Material Cycles and Waste Management. – 2013. – Vol. 15, No. 3. – P. 290–299. https://doi.org/10.1007/s10163-013-0154-5

22. Habib M. S., et al. Large-scale disaster waste management under uncertain environment // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Vol. 212. – P. 200–222.

23. Fetter G., Rakes T. Incorporating recycling into post-disaster debris disposal // Socio-Economic Planning Sciences. – 2012. – Vol. 46, No. 1. – P. 14–22. https://doi.org/10.1016/j.seps.2011.10.001

24. McDonough W., Braungart M. Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. – New York : North Point Press, 2002. – 193 p.

25. Ellen MacArthur Foundation. Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. – 2013. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy

26. Adame B. J., Miller C. H. Vested Interest, Disaster Preparedness, and Strategic Campaign Message Design // Health Communication. – 2015. – Vol. 30, No. 3. – P. 271–281.

27. Hidayati D. The role of social capital in enhancing community disaster preparedness and building back better in recovery // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 229. https://doi.org/10.1051/matecconf/201822901001

28. Habib K., Wenzel H., Srocka M. Material Flow Analysis and Sustainability of Construction Materials in a Circular Economy Perspective // Resources, Conservation and Recycling. – 2019. – Vol. 141. – P. 92–99. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.034

29. Ibrahim M. I. M. Estimating the sustainability returns of recycling construction waste from building projects // Sustainable Cities and Society. – 2016. – Vol. 23. – P. 78–93. https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.005

30. Asari M., Kirikawa T., Sakai S. Status of Disaster Waste Countermeasure Execution and a Survey of Public Awareness in Japan // Sustainable Waste

Management: Policies and Case Studies. – Springer, Singapore, 2019. – P. 487–498. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7071-7_43

31. Neo-Eco Ukraine. Circular Economy in Action: Reconstruction of Hostomel. Project Report. – Kyiv : Neo-Eco, 2023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://neo-eco.org/ukraine-project

32. Coelho A., de Brito J. Economic analysis of conventional versus mobile recycling operations of construction and demolition waste // Waste Management. – 2013. – Vol. 33, Iss. 7. – P. 1517–1525.

33. Rau T., Oberhuber S. Material Matters: Developing Business for a Circular Economy. – London : Routledge, 2016. – 164 p.

34. European Commission. EU Green Public Procurement Criteria for Office Building Design, Construction and Management. – Brussels : EC Environment, 2016. – 48 p.

35. Silva R. V., de Brito J., Dhir R. K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 65. – P. 201–217.

36. Dutch Waste Management Association. Waste Processing in the Netherlands: Data and Figures. – Amsterdam, 2022. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dutchwaste.nl/reports

37. WRAP. Quality Protocol: Aggregates from inert waste. End of waste criteria for the production of aggregates from inert waste. – Banbury : Waste and Resources Action Programme, 2013. – 18 p.

38. World Steel Association. Life Cycle Assessment Methodology Report. – Brussels : World Steel Association, 2017. – 60 p.

39. Li J., Greenwood D., Kassem M. Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases // Automation in Construction. – 2019. – Vol. 102. – P. 288–307.

40. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. – Взамін ДБН А.3.1-5-2009 ; чинний від 2017-01-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. – 46 с.

41. Податковий кодекс України : від 02.12.2010 р. № 2755-VI. Стаття 240. Платники екологічного податку.

42. Стан поводження з відходами від руйнувань в Україні: аналітична записка / МБО «Екологія-Право-Людина». – Львів, 2024. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://epl.org.ua

43. Zero Waste SA. Construction and Demolition Waste Guide. – Adelaide : Government of South Australia, 2004. – 28 p.

44. Дворкін Л. Й. Будівельне матеріалознавство : підручник. – Київ : Кондор, 2017. – 448 с.

45. Circular Economy Design and Management in the Built Environment / ed. by H. M. Al-Alwan et al. – Cham : Springer, 2024. – 412 p.

46. Construction and Demolition Waste Management: Bottlenecks, Regulations, and Policy Framework / ed. by T. M. Logan. – Cham : Springer Nature, 2024. – 285 p.

47. Sustainable Construction Materials: Recycled Aggregates / R. K. Dhir et al. – Sawston : Woodhead Publishing, 2019. – 604 p.

48. Мішенін Є. В. Економіка природокористування : підручник. – Суми : Університетська книга, 2018. – 768 с.

49. Клименко М. О., Пилипенко Ю. В., Мороз О. С. Екологія міських систем : підручник. – Херсон : Олді-плюс, 2018. – 294 с.