

УДК 69.059.6:628.47:338.1

ОРГАНІЗАЦІЯ ДЕМОНТАЖНИХ РОБІТ І УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ В КОНТЕКСТІ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ

Канд. техн. наук О. С. Савченко, старш. викл. Л. Г. Савченко

ORGANIZATION OF DISMANTLING WORKS AND CONSTRUCTION WASTE MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF THE CIRCULAR ECONOMY

PhD (Tech.) O. Savchenko, Dr. Sc. (Tech.) L. Savchenko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.215.2026.358807>



***Анотація.** У статті проведено комплексне дослідження організаційних засад трансформації будівельної галузі на принципах циркулярної економіки. Актуальність роботи зумовлена необхідністю пошуку ефективних рішень для управління безпрецедентними обсягами відходів унаслідок руйнувань в Україні, а також потребою адаптації національного законодавства до екологічних директив Європейського Союзу. Автором обґрунтовано, що перехід від традиційного лінійного знесення до селективного розбирання є базовою умовою реалізації економіки замкненого циклу, де будівлю розглядають як «банк матеріалів» для майбутнього будівництва.*

***Ключові слова:** циркулярна економіка, селективний демонтаж, будівельні відходи, рециклінг, BIM-технології, сталий розвиток, відходи руйнувань, вторинна сировина.*

***Abstract.** The article presents a comprehensive study of the methodological and organizational foundations for transforming the construction industry based on the principles of the circular economy. The relevance of the work is driven by the urgent need to find effective solutions for managing unprecedented volumes of demolition waste in Ukraine, as well as the necessity of adapting national legislation to European Union environmental directives. The author substantiates that shifting from traditional linear demolition to selective deconstruction is a fundamental condition for implementing a closed-loop economy, where a building is viewed as a «material bank» for future construction.*

ISSN (p) 1994-7852

ISSN (online) 2413-3795

© Савченко О. С., Савченко Л. Г., 2026.

The study details the «Design for Disassembly» (DfD) concept, which involves considering the possibility of reverse assembly as early as the project design stage. Special attention is paid to the stages of organizing works based on the «reverse production line» principle, which includes conducting pre-demolition audits, identifying hazardous substances, and sorting waste at the source of its generation. It is proved that the separate collection of fractions directly on-site is a critical factor in maintaining the liquidity of secondary raw materials.

The role of digital tools, particularly BIM technologies and digital material passports, in creating transparent supply chains and assessing the residual value of structures is investigated. The article provides a comparative analysis of environmental impacts, demonstrating a significant reduction in «embodied carbon» when reusing steel and concrete compared to manufacturing new materials. The practical significance of the research lies in the development of a model for using mobile processing plants directly at destruction sites, which minimizes logistical costs and provides a rapid resource base for the post-war recovery of communities. Proposals for improving the regulatory framework regarding the certification of secondary building materials for their full-scale market introduction are formulated.

Keywords: *circular economy, selective deconstruction, construction waste, recycling, BIM technologies, sustainable development, demolition waste, secondary raw materials.*

Вступ. Актуальність дослідження організаційних аспектів демонтажних робіт і управління будівельними відходами обумовлена критичною необхідністю трансформації будівельної галузі України відповідно до принципів сталого розвитку та вимог європейської інтеграції. У сучасних умовах, коли країна зіткнулася з безпрецедентними обсягами руйнувань житлового фонду, промислових об'єктів і соціальної інфраструктури внаслідок бойових дій, традиційні методи поводження з будівельним сміттям вичерпали свій ресурс. Мільйони тонн відходів від руйнувань, що накопичуються на тимчасових майданчиках, створюють не лише екологічну загрозу через забруднення ґрунтів і підземних вод, а і колосальне логістичне навантаження на громади. Саме тому впровадження концепції циркулярної (циклічної) економіки стає не просто альтернативою, а безальтернативною стратегією післявоєнного відновлення, де кожен об'єкт демонтажу розглядають як стратегічний ресурсний резерв для майбутньої відбудови.

Особливого значення набуває необхідність адаптації національного законодавства до європейських екологічних стандартів, зокрема Директиви 2008/98/ЄС

про відходи і стратегії European Green Deal. Європейські директиви чітко встановлюють пріоритетність рециклінгу будівельних відходів, вимагаючи досягнення високих показників повторного використання матеріалів [7]. Для України це означає перехід від простого вивезення уламків на полігони до складних організаційних моделей селективного демонтажу, що дають змогу зберігати додану вартість матеріалів. Впровадження таких підходів у процесі післявоєнної реконструкції допоможе не лише зменшити споживання дефіцитних природних ресурсів, а і значно знизити вартість відновлення за рахунок використання вторинної сировини безпосередньо в місцях її утворення.

Отже, наукове обґрунтування організації демонтажних робіт у контексті циркулярної економіки є фундаментом для створення нової, ресурсоефективної моделі вітчизняного будівництва, яка відповідає глобальним кліматичним цілям і вимогам екологічної безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Трансформація підходів щодо поводження з відходами на засадах циркулярної економіки наразі є одним із пріоритетних векторів стратегічного розвитку. Теоретичний фундамент і

прикладні аспекти впровадження циклічних моделей досліджені у працях низки українських вчених, зокрема О. Алімова, В. Гейця, Є. Мішеніна та інших, а також представників зарубіжної наукової спільноти, таких як Е. Макартур і Д. Медоуз. Водночас, попри солідний науковий доробок, питання інтеграції циркулярних принципів як базового інструменту для комплексної модернізації систем управління відходами потребує подальшого поглибленого вивчення.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є наукове обґрунтування та розроблення цілісної організаційно-технологічної моделі проведення демонтажних робіт у межах парадигми циркулярної економіки, що дасть змогу перетворити процес ліквідації об'єктів на джерело відновлюваних ресурсів для сталого будівництва. Для реалізації цієї мети було поставлено низку завдань, першим із яких є розкриття теоретичних засад циркулярної моделі як основного інструменту модернізації застарілої системи управління будівельними відходами. Наступним завданням визначено проведення порівняльного аналізу традиційного знесення та селективного демонтажу для виявлення найбільш ефективних способів збереження залишкової вартості матеріалів.

Основна частина. Організація демонтажних робіт і управління будівельними відходами в контексті циркулярної економіки передбачає перехід від традиційної моделі «взяв – зробив – викинув» до замкненого циклу, де будівлю розглядають як «банк ресурсів».

У межах циркулярної моделі розвитку архітектурно-будівельної галузі фундаментальним постулатом є те, що демонтаж має стати першим етапом нового будівництва, а не фіналом існування об'єкта. Такий підхід докорінно змінює сприйняття кінця експлуатаційного терміну споруди, перетворюючи її на джерело ресурсів для майбутніх проєктів. Коли розбирання

будівлі планують як зворотний процес монтажу, матеріали зберігають свою технічну цілісність і енергетичну цінність. Це дає змогу інтегрувати вторинні компоненти в нове будівництво на стадії проєктування, що скорочує терміни зведення об'єктів і мінімізує витрати на закупівлю нових матеріалів, фактично роблячи демонтажний майданчик точкою старту для наступного інвестиційного циклу. Однак для повноцінного функціонування цієї системи необхідна досконала нормативна база, яка на юридичному і технічному рівнях прирівнює сертифіковані перероблені відходи до первинної сировини. На сьогодні однією з головних перешкод для рециклінгу є регуляторний вакуум або надмірна складність процедур підтвердження якості вторинних матеріалів. Розроблення та впровадження єдиних стандартів сертифікації для рецикляту бетону, вторинного металу та деревини дасть змогу проєктувальникам і підрядникам бути впевненими в безпеці та довговічності конструкцій. Коли вторинна сировина отримує статус офіційного будівельного продукту з чіткими фізико-механічними характеристиками, вона стає повноправним учасником ринку, знімаючи бар'єри для її використання у відповідальних інженерних рішеннях [3].

Зрештою, циркулярний підхід допомагає перетворити глобальну проблему накопичення відходів на потужний ресурс для економічного зростання. Замість того, щоб витрачати значні кошти громад і бізнесу на розширення полігонів і ліквідацію екологічних наслідків стихійних звалищ, ці інвестиції можуть бути спрямовані на створення інноваційних підприємств із переробки та відновлення ресурсів. Це стимулює розвиток нових ринків, створення робочих місць у сфері «зелених» технологій і знижує залежність національної економіки від імпорту сировини або енергоємного виробництва. Перетворення будівельного сміття на ліквідний товарний актив не лише

оздоровлює довкілля, а і створює додану вартість, роблячи будівельну галузь драйвером сталого економічного поступу та ресурсної незалежності держави.

Концепція «Проектування для демонтажу» є фундаментальним зрушенням у філософії будівництва, що перетворює життєвий цикл споруди з лінійної моделі на циклічну. У межах цієї парадигми традиційне знесення, яке зазвичай асоціюють із руйнуванням конструкцій і утворенням змішаних будівельних відходів, поступається місцем селективному розбиранню. Основна відмінність полягає в тому, що будівлю більше не розглядають як майбутнє сміття, а сприймають як тимчасове сховище цінних матеріальних ресурсів [5].

Реалізація цього підходу починається з глибокого аналізу об'єкта, основним інструментом якого є проведення «аудиту відходів» (або пре-демонтажного аудиту) ще до початку будь-яких фізичних робіт. Такий аудит передбачає детальну інвентаризацію всіх конструктивних елементів, оцінювання їхнього технічного стану, хімічного складу та потенціалу для рециклінгу чи реюзу. На основі отриманих даних прогнозують обсяги вторинної сировини, що дає змогу заздалегідь знайти ринки збуту для вилучених матеріалів або запланувати їх використання в нових проєктах. Це мінімізує неочікувані витрати та екологічні ризики, пов'язані з небезпечними речовинами, такими як азбест чи свинець.

Центральним етапом організації робіт стає розроблення спеціалізованих технологічних карт, які докорінно відрізняються від стандартних планів знесення. У таких картах детально прописана зворотна послідовність монтажу: спочатку демонтують інженерні мережі та оздоблення, потім вікна та двері, і лише в останню чергу – несучі конструкції. Особливу увагу приділено методам роз'єднання вузлів кріплення. Замість зварювання чи монолітних з'єднань, надають перевагу болтовим і механічним кріпленням, що дає змогу вилучати цеглу,

балки, плити перекриття і панелі без пошкодження їхньої структури. Отже, замість перетворення бетону на низькосортний щебінь, будівельники отримують готові блоки для нового будівництва. Такий системний підхід не лише зменшує навантаження на сміттєзвалища, але і значно скорочує вуглецевий слід будівельної галузі за рахунок економії енергії, яку зазвичай витрачають на виробництво нових будівельних матеріалів із нуля [1].

Управління відходами в межах циркулярної моделі будівництва базовано на чіткій ієрархічній структурі. На вершині цієї піраміди стоїть повторне використання, що передбачає збереження первинної форми та функціонального призначення елементів, таких як сталеві балки або ціла цегла, без значних енерговитрат на їх переробку. Якщо пряме використання неможливе, застосовують переробку, яка передбачає подрібнення або переплавку матеріалів для створення нової сировини (наприклад виробництво вторинного щебеню з бетонного лому). Найменш бажаним, але допустимим у цій системі є відновлення енергії, де неможливі для рециклінгу органічні відходи використовують як паливо, що допомагає уникнути їх простого захоронення на полігонах.

Ефективність цієї ієрархії критично залежить від сортування на місці, що є важливим організаційним етапом демонтажних робіт. Розділення потоків відходів – бетону, металу, деревини, скла та пластику – безпосередньо на будівельному майданчику допомагає уникнути їх взаємного забруднення, що є головною перешкодою для якісного рециклінгу. Наприклад, деревина, змішана з вологим бетоном або хімічними домішками, швидко втрачає свою цінність як сировина, тоді як чистий розділений метал або скло мають високу ліквідність. Такий підхід радикально знижує витрати на подальше сортування на заводах і зменшує логістичні витрати, оскільки чисту вторинну сировину можна

транспортувати безпосередньо кінцевому споживачу, минаючи проміжні пункти обробки. Особливу увагу із сортуванням приділяють ідентифікації та вилученню небезпечних відходів, що гарантує екологічну безпеку всього циклу переробки [9].

Для забезпечення прозорості та масштабованості цих процесів дедалі активніше впроваджують цифрові паспорти матеріалів, інтегровані в технології BIM. Використання інформаційного моделювання дає змогу створити детальний цифровий реєстр будівлі, де кожен компонент має «паспорт» із даними про його хімічний склад, міцність, термін експлуатації та методи монтажу. У контексті циркулярної економіки BIM-модель стає інструментом для відстеження походження та властивостей матеріалів протягом десятиліть. Коли будівля досягає етапу демонтажу, потенційний покупець або переробник через цифровий паспорт може точно оцінити якість ресурсу, що значно полегшує комерціалізацію вторинної сировини та робить ринок «будівельного секонд-хенду» таким же надійним і прогнозованим, як і ринок нових матеріалів. Це перетворює цифрові дані на фінансовий актив, що стимулює девелоперів інвестувати в якісні та довговічні матеріали.

У Нідерландах було розроблено концепцію, за якою «відходи – це матеріали, що втратили свою ідентичність». Щоб повернути цю ідентичність, була створена платформа Madaster, яка функціонує як публічна бібліотека (або реєстр) матеріалів та передбачає:

1) створення цифрового паспорта: для будівлі (наприклад офісного центру) створюють детальну 3D-модель (BIM). У кожен об'єкт моделі – від бетонної плити до останнього алюмінієвого профілю – зашивають інформацію про виробника, склад, можливість переробки та поточну ринкову вартість матеріалу як вторинної сировини;

2) фінансовий облік матеріалів: власник будівлі бачить у своєму кабінеті не лише амортизацію споруди, а й «вартість

матеріалів у банку». Це означає, що будівля на балансі компанії має залишкову вартість навіть у день її планованого демонтажу, оскільки метал і бетон у ній – це ліквідні активи [11].

Перехід України до циркулярної економіки в будівництві радикально трансформує фінансову логіку проєктів. У традиційній моделі демонтаж є чистою статтею витрат, де основні кошти спрямовують на оплату роботи техніки та високі податки на захоронення сміття, які в країнах ЄС можуть сягати сотень євро за тонну. Циркулярна ж модель перетворює демонтаж на джерело доходу. Продаж якісно вилученої цегли, металобрухту або цілих склопакетів на ринку вторинної сировини здатний не лише покрити витрати на роботу персоналу, який вручну розбирає, а і принести прибуток.

Окрім прямого продажу, працює принцип зниження собівартості нових об'єктів. Використання мобільних дробильних установок дає змогу отримувати сертифікований вторинний щебінь безпосередньо на майданчику. Це виключає витрати на транспортування відходів на полігон і одночасну закупівлю й доставлення нових інертних матеріалів. Отже, логістичне плече скорочується до нуля, що є критично важливим для сталого розвитку міських територій. Бар'єром на цьому шляху поки залишається відсутність широкої мережі центрів сертифікації вторинних матеріалів, проте впровадження «зелених» державних закупівель, де перевагу надають підрядникам із високим відсотком рециклінгу, поступово створює стійкий попит на такі технології [4].

Екологічний вплив переходу до циркулярних моделей у будівництві є головним фактором у боротьбі з глобальними змінами клімату і деградацією екосистем. Одним із найважливіших аспектів є суттєве зменшення вуглецевого сліду через управління так званим «втленим вуглецем». Втілений вуглець – це сукупний обсяг викидів парникових газів, що виникають на всіх етапах життєвого

циклу матеріалу: від видобутку сировини та енергоємного виробництва до транспортування на будівельний майданчик. Наприклад, вторинне використання сталевих балок або очищеної цегли потребує лише мінімальних витрат енергії на демонтаж і логістику, що в десятки разів менше порівняно з повним

циклом виплавлення сталі в доменних печах або випалу керамічних виробів за надвисоких температур [2].

Отже, кожен збережений і повторно використаний конструктивний елемент прямо пропорційно зменшує навантаження на атмосферу, наближаючи галузь до показників кліматичної нейтральності (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльні показники енерговитрат (ЕВ) і викидів CO₂ для первинних і вторинних будівельних матеріалів

Будівельний матеріал	Питомі енерговитрати на первинне виробництво, МДж/кг	Питомі енерговитрати на рециклінг/реюз, МДж/кг	Потенціал економії енергії, %	Викиди CO ₂ (1 кг CO ₂ на 1 кг матеріалу)
Сталь (прокат)	25.0 – 35.0	6.0 – 10.0	~75%	1.8 – 2.5
Алюміній	150.0 – 190.0	10.0 – 15.0	~92%	8.0 – 12.0
Цегла керамічна	3.0 – 5.0	0.4 – 0.6*	~85%	0.2 – 0.3
Бетон (С25/30)	0.8 – 1.2	0.2 – 0.3**	~70%	0.1 – 0.15
Пиломатеріали	2.0 – 3.0	0.3 – 0.5	~80%	0.05 – 0.1

Примітки: * Для цегли вказано витрати на очищення та підготовку для повторного використання.

** Для бетону вказано витрати на механічне дроблення та сортування порівняно з повним циклом виробництва портландцементу.

Із наведених даних стає очевидним, що найбільший потенціал енергозбереження має алюміній і сталь, що можна пояснити високою енергоємністю їх первинного виплавлення з руди. Однак у контексті післявоєнного відновлення України найбільший кількісний вплив матиме рециклінг бетону та цегли, оскільки ці матеріали складають понад 80 % загальної маси відходів руйнувань.

Зниження показника ЕВ безпосередньо корелює зі зменшенням екологічного податку та собівартості будівництва, що робить селективний демонтаж не лише екологічним актом, а і стратегічним фінансовим рішенням.

Крім кліматичного аспекту, циркулярний підхід забезпечує збереження природних ресурсів, обсяги видобутку яких у будівельній сфері досягли критичних меж. Традиційне будівництво є головним

споживачем невідновлюваних копалин: піску, гравію, щебеню та глини. Масштабний видобуток цих матеріалів призводить до руйнування ландшафтів, зниження рівня ґрунтових вод і знищення біорізноманіття в місцях розробки кар'єрів. Впровадження технологій рециклінгу допомагає замінити значну частину первинної сировини вторинною. Зокрема, використання подрібненого бетону як заповнювача для нових фундаментів або дорожнього покриття дає змогу зберегти річковий пісок і природний камінь. Це створює модель «міського видобутку», де міста стають автономними джерелами ресурсів, мінімізуючи екологічний тиск на приміські та дикі території [10].

Сталий розвиток у цьому контексті також передбачає розв'язання проблеми накопичення відходів, які зазвичай займають величезні площі на полігонах,

забруднюючи ґрунти і підземні води продуктами вилуговування. Циркулярна організація демонтажних робіт трансформує відходи на цінний ресурс, що дає змогу не лише звільнити цінні земельні ділянки, а і сформувати закриту екосистему, де економічне зростання більше не залежить від безперервного споживання вичерпних природних багатств. Це формує нову етику відповідального будівництва, де пріоритетом є збереження цінності вже існуючих матеріалів заради майбутніх поколінь.

Застосування принципів циркулярної економіки в Україні сьогодні має не лише екологічне, а і стратегічне значення, оскільки обсяги відходів від руйнувань унаслідок бойових дій є безпрецедентними для Європи. У цьому контексті організація демонтажних робіт стає першим етапом

гуманітарного та технічного відновлення територій. Як приклад наведемо умовний розрахунок ефективності застосуванні циркулярного підходу демонтажу [6].

Для розрахунку вибрано об'єкт – багатоквартирний житловий будинок на чотири під'їзди, що зазнав критичних пошкоджень і підлягає демонтажу.

1. Вихідні параметри об'єкта (технічні характеристики):

- тип конструкції: цегляні стіни, залізобетонне перекриття;
- загальний об'єм будівлі (будівельний): 12500 м³;
- оцінна маса конструкцій: 5200 т.

2. Матеріальний склад і потенціал виходу вторинної сировини: на основі предемонтажного аудиту встановлено склад відходів, наведений у табл. 2.

Таблиця 2

Склад відходів

Матеріал	Питома вага в структурі, %	Загальна маса, т	Коефіцієнт рециклінгу кі	Прогноз виходу сировини, т
Цегла (червона/силікатна)	55	2860	0.85	2431 (вторинний щебінь/цегла)
Бетон та ЗБ-плити	30	1560	0.90	1404 (вторинний щебінь)
Метал (арматура, труби)	3	156	0.98	152 (металобрухт)
Деревина (крокви, підлога)	5	260	0.60	156 (паливо/тріска)
Інше (скло, ізоляція, сміття)	7	364	0.20	72

3. Для розрахунку E_{circ} за формулою, наведеною в затвердженій методології, приймаємо такі значення:

- вартість знесення (C_{dem}): 150 грн/т → 780000 грн;
- податок та утилізація (L_{tax}): 450 грн/т → 2340000 грн;
- вартість селективного розбирання (C_{dec}): 280 грн/т → 1456000 грн;
- сортування та дроблення на місці (C_{sort}): 120 грн/т → 624000 грн;
- дохід від реалізації сировини (R_{rev}):
 - металобрухт (152 т * 7000 грн/т) = 1064000 грн;
 - вторинний щебінь (3835 т * 250 грн/т) = 958750 грн;
 - разом R_{rev} : 2022750 грн;
- економія на логістиці (S_{log}): 100 грн/т → 383500 грн.

4. Розрахунок результату.

Підставляємо дані у формулу

$$E_{trad} = C_{dem} + L_{tax} = 780000 + 2340000 = 3120000 \text{ грн (витрати)}$$

$$E_{circ} = C_{dec} + C_{sort} - R_{rev} - S_{log} = 1456000 + 624000 - 2022750 - 383500 = -326250 \text{ грн (прибуток/окупність)}.$$

Розрахунок показує, що за традиційного підходу громада або власник витрачають понад 3 млн грн на ліквідацію будівлі. Із застосуванням циркулярного підходу демонтаж не лише стає самоокупним, а і дає змогу отримати умовний прибуток (або економію) у розмірі понад 300 тис. грн. При цьому понад 4000 т матеріалів не потрапляють на полігон, а повертаються в будівництво.

Управління відходами руйнувань в Україні базовано на адаптації європейського досвіду до кризових умов. Першочерговим завданням є технічне обстеження пошкоджених об'єктів, яке визначає, чи підлягає споруда демонтажу, чи можливе її часткове відновлення. У разі ухвалення рішення про знесення впроваджують алгоритм селективного розбирання, де основний акцент зроблено на безпеці та сортуванні. На відміну від мирного часу, тут додають критично важливий етап – очищення від вибухонебезпечних предметів та ідентифікація токсичних речовин, що вивільняються з руйнуванням (наприклад пил від азбестових шиферних покрівель).

Основним технологічним рішенням для України є використання мобільних дробильно-сортувальних комплексів. Організація таких майданчиків безпосередньо в межах постраждалих міст дає змогу переробляти бетонні блоки та цеглу на вторинний щебінь різних фракцій. Цей ресурс стає основою для циркулярного відновлення: його використовують для підсилення пошкоджених доріг, створення тимчасових переїздів або як заповнювач для виробництва нових бетонних виробів (неконструкційних блоків, тротуарної плитки). Такий підхід вирішує логістичну проблему, адже вивезення мільйонів тонн обломків на дальні полігони є економічно неможливим і екологічно небезпечним [8].

Цифровізація цього процесу через реєстри пошкодженого майна та інтеграція даних у BIM-системи відновлення дає змогу державі та донорам бачити реальний обсяг наявних ресурсів. Впровадження «цифрових

паспортів відходів» допомагає контролювати, щоб перероблений матеріал відповідав державним стандартам безпеки. Отже, замість накопичення «цвинтарів будівельного сміття» Україна має шанс побудувати нову інфраструктуру за принципом замкненого циклу, де минулі руйнування стають фундаментом для майбутнього сталого розвитку. Це не лише здешевлює процес відбудови, а й створює нову галузь економіки – індустрію рециклінгу будівельних матеріалів.

Порівняльний аналіз методологій ліквідації об'єктів капітального будівництва виявляє фундаментальну різницю в пріоритетах та інструментарії: якщо традиційний підхід орієнтований на максимальну швидкість очищення майданчика, то циркулярний ставить за мету максимізацію залишкової вартості матеріалів і їх повернення в економічний обіг.

Для традиційного знесення використовують важку механізовану техніку, таку як екскаватори з гідромолотами або кулі-баби, що спрямовані на швидке руйнування конструкцій. Основним недоліком такої методики є неконтрольоване змішування різних типів матеріалів – бетону, скла, деревини, пластику та арматури – у єдину масу будівельного сміття. Унаслідок високого рівня забруднення і втрати структурної цілісності такі відходи стають практично непридатними для сортування, що призводить до критичних екологічних наслідків: до 90 % утвореного брухту відправляють на полігони для захоронення. Це не лише вилучає цінні ресурси з економіки, а і створює значне фінансове навантаження на забудовника через екологічні податки та витрати на логістику відходів [3].

Натомість селективний демонтаж базований на принципі поетапного та дбайливого розбирання споруди, що потребує детальнішого планування, але забезпечує високу якість отриманої вторинної сировини. Процес розпочинається з

«м'якого» демонтажу, під час якого вилучають найбільш цінні та придатні для прямого повторного використання елементи: двері, віконні блоки, мідну проводку, інженерне обладнання та елементи інтер'єру. Лише після цього фахівці переходять до розбирання конструкційних матеріалів за їхніми типами: окремо вилучають металевий профіль, цеглу, дерев'яні балки та бетонні панелі. Такий системний підхід допомагає

зберегти фізико-механічні властивості компонентів, перетворюючи демонтажний майданчик на логістичний вузол із відвантаження ресурсів. Хоча селективне розбирання може потребувати більше часу та залучення кваліфікованої ручної праці, ці витрати можна компенсувати відсутністю витрат на утилізацію сміття і прибутком від реалізації збережених матеріалів, що робить цей підхід економічно стійким у довгостроковій перспективі (рисунок).



Рис. Організаційно-технологічна схема демонтажу в парадигмі циркулярної економіки

Першим і головним етапом цієї зворотної лінії є Аудит перед знесенням. Це комплексне аналітичне дослідження, що проводять фахівці ще до появи на майданчику важкої техніки. Під час аудиту здійснюють детальну інвентаризацію об'єкта: розраховують точний об'єм бетону, металу, деревини та скла, а також ідентифікують вузли кріплення конструкцій. Особливу увагу приділяють виявленню небезпечних речовин, таких як азбест, поліхлоровані біфеніли або залишки хімічних домішок у старих утеплювачах. Такий аудит дає змогу не лише оцінити потенційний прибуток від продажу вторинної сировини, а і сформувати стратегію безпечного поводження з токсичними матеріалами, запобігаючи їх потраплянню в загальний потік ресурсів.

Другим етапом, що забезпечує чистоту матеріальних потоків, є сортування в джерелі утворення відходів. Організація май-

данчика в цей період нагадує сортувальну станцію: встановлюють мережу спеціалізованих контейнерів для різних фракцій – окремо для чистого бетону, металобрухту, деревини, пластику та мінеральної вати. Розділення відходів безпосередньо на місці демонтажу є критичним фактором успіху, оскільки перемішані відходи (так звані «будівельний мікс») миттєво втрачають свою цінність через взаємне забруднення, після чого їх якісна переробка стає або технічно неможливою, або економічно недоцільною. Сортування «у джерелі» гарантує отримання однорідних матеріалів, готових до негайної рекуперації.

Завершальним етапом цієї лінії стає первинна переробка, яка мінімізує транспортне навантаження та замикає цикл використання матеріалів на локальному рівні. Використання мобільних дробильно-сортувальних комплексів допомагає перетворювати бетонні блоки та цегляну кладку на сертифікований вторинний

щебінь прямо на будівельному майданчику. Це створює подвійний економічний ефект: по-перше, можна уникнути значних витрат на логістику (вивезення відходів на полігони та закупівля нового щебеню); по-друге, отриманий матеріал може бути одразу використаний для підсилення фундаментів, влаштування тимчасових доріг або як заповнювач для нових сумішей у наступному проєкті на цій же ділянці. Отже, організація робіт за принципом «зворотної лінії» перетворює будівельний майданчик на ефективне мініпідприємство з виробництва ресурсів.

Висновки. Підводячи підсумки дослідження, можна стверджувати, що перехід від лінійної моделі функціонування будівельної галузі до циркулярної потребує докорінної зміни парадигми в підходах щодо завершення життєвого циклу споруд. Доведено, що заміна традиційного знесення на селективне розбирання є базовою умовою реалізації економіки замкнутого циклу, оскільки такий підхід дає змогу розглядати будівлі не як джерело потенційного сміття, а як цінні «банки матеріалів», що зберігають свою функціональну та економічну вартість. Ця трансформація підкріплена сучасною технологічною готовністю галузі, де основним інструментом управління ресурсами стає поєднання предемонтажного

аудиту і впровадження цифрових паспортів матеріалів на базі BIM-технологій. Такі цифрові рішення мінімізують інформаційні розриви між усіма учасниками ринку – від девелоперів до переробників – і забезпечують повну прозорість походження і характеристик вторинної сировини.

Екологічна та економічна доцільність впровадження циркулярних методів підтверджена тим, що повторне використання конструкційних елементів, зокрема сталевих балок і цегли, дає змогу суттєво знизити рівень «втіленого вуглецю» і нівелювати антропогенний тиск на екосистеми через значне скорочення видобутку дефіцитних природних копалин, таких як пісок, щебінь та глина. Для України ці аспекти мають стратегічне значення: в умовах безпрецедентних руйнувань, спричинених військовою агресією, організація циклічного управління відходами руйнувань стає єдиним шляхом для сталого та економічно ефективного відновлення. Використання мобільних переробних комплексів безпосередньо на місцях пошкоджень допомагає перетворити кризу накопичення відходів на потужну ресурсну базу для відбудови, забезпечуючи швидке повернення матеріалів у виробничий цикл і створюючи фундамент для нової, екологічно відповідальної індустрії будівництва.

Список використаних джерел

1. 3 чистого аркуша: як працює і чим вигідна циркулярна економіка. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2020/09/2/664626> (дата звернення: 10.01.2026).
2. Трушкіна Н. В. (2021). Циркулярна економіка: становлення концепції, еволюція розвитку, бар'єри. Проблеми і перспективи. Вісник економічної науки України, № 1. С. 9–20. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1\(40\).9-20](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1(40).9-20).
3. Затверджено Порядок класифікації та Національний перелік відходів. (2023). URL: https://biz.ligazakon.net/ru/news/223067_utverzhden-poryadok-klassifikatsii-i-natsionalnyu-perechen-otkhodov (дата звернення: 20.12.2025).
4. Ільїн А. Золоті відходи. Чому Україна тоне у смітті та хто на цьому заробляє – розслідування NV. (2023). URL: <https://biz.nv.ua/economics/pererabotka-musora-i-othodov-v-ukraine-klyuchevye-problemy-korruptsiya-i-perspektivy-razvitiya-novosti-50359866.html> (дата звернення: 20.12.2025).

5. Стале управління відходами: що робить ЄС. (2024). URL: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20180328STO00751/sustainable-waste-management-what-the-eu-is-doing> (дата звернення: 20.12.2025).
6. Impacts of Circular Economy on the Labour Market/ Final Report and Annexes, Luxembourg. European Commission. (2018). URL: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/ec_2018_impacts_of_circular_economy_policies_on_the_labour_market.pdf (дата звернення: 10.01.2026).
7. Чому цифровізація має вирішальне значення для створення глобальної циркулярної економіки. (2021). URL: <https://www.weforum.org/stories/2021/08/digitalization-critical-creating-global-circular-economy/> (дата звернення: 10.01.2026).
8. Принципи циклічної економіки для розумного управління відходами. (2023). URL: <https://www.plugandplaytechcenter.com/insights/circular-economy-principles-for-smart-waste-management> (дата звернення: 20.12.2025).
9. Глобальна оцінка національних дорожніх карт циклічної економіки. (2024). URL: <https://circulareconomy.earth/publications/global-stocktake-of-national-circular-economy-roadmaps-2> (дата звернення: 10.01.2026).
10. Мишенин Є. В., Коблянська І. І. (2017). Перспективи та механізми розвитку «циркулярної економіки» у глобальному середовищі. Маркетинг і менеджмент інновацій. № 2. С. 329–343. DOI: <https://doi.org/10.21272/mmi.2017.2-31>
11. Що очікувати бізнесу від реформи системи управління відходами та як підготуватись до змін. (2023). URL: https://biz.ligazakon.net/news/221789_shcho-ochkuvati-bznesu-ud-reformi-sistemi-upravlnnya-vdkhodami-tayak-pdgotuvatis-do-zmn (дата звернення: 10.01.2026).

References

1. Z chystoho arkusha: yak pratsyuje i chym vyhidna tsyrkulyarna ekonomika [From a clean slate: how the circular economy works and what are its benefits] Retrieved from: <https://www.epravda.com.ua/columns/2020/09/2/664626> (access date: 10.01.2026) [in Ukrainian].
2. Trushkina N. V. (2021). Tsyrykulyarna ekonomika: stanovlennya kontseptsiyi, evolyutsiya rozvytku, bar'yery. Problemy i perspektyvy. [Circular economy: formation of the concept, evolution of development, barriers]. Problems and prospects. Bulletin of Economic Science of Ukraine, No. 1. P. 9–20. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1\(40\).9-20](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1(40).9-20) [in Ukrainian].
3. Zatverdzheno Poryadok klasyfikatsiyi ta Natsional'nyy perelik vidkhodiv. [The Classification Procedure and the National List of Wastes have been approved]. (2023). Retrieved from: https://biz.ligazakon.net/ru/news/223067_utverzhden-poryadok-klassifikatsii-i-natsionalnyy-perechen-otkhodov (access date: 20.12.2025).
4. Ilyin A. Zoloti vidkhody. Chomu Ukrayina tone u smitti ta khto na ts'omu zaroblyaye-rozsliduvannya NV [Golden waste. Why Ukraine is drowning in garbage and who makes money from it – investigation NV]. (2023). Retrieved from: <https://biz.nv.ua/economics/pererabotka-musora-i-othodov-v-ukraine-klyuchevye-problemy-korrupciya-i-perspektivy-razvitiya-novosti-50359866.html> (access date: 20.12.2025). [in Ukrainian].
5. Stale upravlinnya vidkhodamy: shcho robyt' YES [Sustainable waste management: what the EU is doing]. (2024). Retrieved from: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20180328STO00751/sustainable-waste-management-what-the-eu-is-doing> (access date: 20.12.2025).
6. Impacts of Circular Economy on the Labour Market/ Final Report and Annexes, Luxembourg. European Commission. (2018). Retrieved from: <https://circulareconomy.europa.eu>

/platform/sites/default/files/ec_2018_impacts_of_circular_economy_policies_on_the_labour_market.pdf (access date: 10.01.2026).

7. Chomu tsyrovizatsiya maye vyrishal'ne znachennya dlya stvorennya hlobal'noyi tsyrkulyarnoyi ekonomiky [Why digitalization is crucial to creating a global circular economy]. (2021). Retrieved from: <https://www.weforum.org/stories/2021/08/digitalization-critical-creating-global-circular-economy/> (access date: 10.01.2026).

8. Pryntsyvy tsyklichnoyi ekonomiky dlya rozumnoho upravlinnya vidkhodamy [Circular economy principles for smart waste management]. (2023). Retrieved from: <https://www.plugandplaytechcenter.com/insights/circular-economy-principles-for-smart-waste-management> (access date: 20.12.2025).

9. Hlobal'na otsinka natsional'nykh dorozhnykh kart tsyklichnoyi ekonomiky [Global assessment of national roadmaps for the circular economy]. (2024). Retrieved from: <https://circulareconomy.earth/publications/global-stocktake-of-national-circular-economy-roadmaps-2> (access date: 10.01.2026).

10. Myshenin, E. V., Koblyanska, I. I. (2017). Perspektyvy ta mekhanizmy rozvytku «tsyrkulyarnoyi ekonomiky» u hlobal'nomu seredovyshchi [Prospects and mechanisms of development of the “circular economy” in the global environment]. Marketing and management of innovations. No. 2. Pp. 329-343. DOI: <https://doi.org/10.21272/mmi.2017.2-31> [in Ukrainian].

11. Shcho ochikuvaty biznesu vid reformy systemy upravlinnya vidkhodamy ta yak pidhotuvatys' do zmin [What businesses can expect from the waste management system reform and how to prepare for changes]. (2023). Retrieved from: https://biz.ligazakon.net/news/221789_shcho-ochkuvati-bznesu-vd-reformi-sistemi-upravlnnya-vdkhodami-tayak-pdgotuvatis-do-zmn (access date: 10.01.2026).

Савченко Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд, Сумський національний аграрний університет. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0498-218X>. Тел.: +38 (0978341318). E-mail: ludasumy341@gmail.com.

Савченко Лідія Григорівна, старший викладач кафедри архітектури та інженерних вишукувань, Сумський національний аграрний університет. ORCID: 0000-0002-9444-2031. E-mail: ludasumy341@gmail.com.

Savchenko Oleksandr. PhD (Tech). Associate Professor, Head of the Department of Construction and Operation of Buildings, Roads and Transport Facilities, Sumy National Agrarian University. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0498-218X>. E-mail: ludasumy341@gmail.com.

Savchenko Lidiya. Senior Lecturer, department of of architecture and engineering surveys, Sumy National Agrarian University. ORCID: 0000-0002-9444-2031. E-mail: ludasumy341@gmail.com.

Дата надходження статті 28.01.2026 р.

Дата прийняття статті до друку 10.03.2026 р.

Дата публікації (оприлюднення) статті 4.05.2026 р.

Стаття поширюється на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY.