

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.13.422-437

УДК 628.4.043:691(477)

Чубін А.І.,

chubin111@ukr.net, ORCID: 0000-0004-8920-601X,

Київський національний університет будівництва і архітектури

РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ МЕТОДІВ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ТА ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ

З огляду на потреби післявоєнної відбудови України проблема перероблення будівельних відходів набуває стратегічного значення. Масштабні руйнування призвели до утворення мільйонів тонн будівельного сміття, значна частина якого може бути перетворена у вторинну сировину. Водночас наявна система управління відходами не забезпечує ефективного ресайклінгу – багаторазового використання ресурсів шляхом повного перероблення відходів від стану сировини до готового продукту – через фрагментарність регуляторної бази, нестачу логістичних ресурсів та відсутність комплексного підходу. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю оптимізації повторного використання матеріалів для зниження екологічного навантаження та підвищення економічної ефективності будівництва в умовах обмежених ресурсів. Метою дослідження є наукове обґрунтування та розроблення ефективних методів перероблення та повторного використання будівельних відходів під час післявоєнної відбудови України. Для її досягнення досліджено сучасні технології та практики ресайклінгу в Україні та світі, оцінено потенціал повторного використання матеріалів, ідентифіковано основні перешкоди впровадження інноваційних рішень. Методологічною основою дослідження є поєднання загальнонаукових методів (аналізу, синтезу, системного підходу) та спеціалізованих інструментів (порівняльного аналізу, експертного оцінювання). Це дало змогу дослідити чинники ефективності ресайклінгу, сформувані типологію бар'єрів (нормативних, логістичних, інституційних тощо) і запропонувати концептуальну модель удосконалення управління будівельними відходами з урахуванням специфіки регіону та інвестиційної привабливості. Результати дослідження засвідчують, що близько 80 % будівельного сміття в Україні може бути повторно використано, однак наявна система не забезпечує відповідної переробної спроможності. Наукова новизна полягає в розробці системного підходу до повторного використання залишок конструкцій з урахуванням техніко-економічних та екологічних чинників, а також у концептуальному обґрунтуванні застосування мобільних переробних установок для деокупованих територій. Практична цінність полягає в можливості застосування

результатів для розроблення політики відбудови, оптимізації логістичних ланцюгів та стимулювання використання вторинної сировини в будівництві.

Ключові слова: вторинна сировина; логістика відходів; стале будівництво; екологічна безпека; державне регулювання; інфраструктура перероблення.

Постановка проблеми. В умовах післявоєнної відбудови України проблема утилізації будівельних відходів постає особливо гостро. Масштабні руйнування інфраструктури та житлового фонду спричинили безпрецедентне зростання обсягів твердих відходів, що створює як екологічне, так і економічне навантаження на громади й державу загалом. Водночас будівельні відходи можуть розглядатися не лише як тягар, а і як цінний ресурс для повторного залучення в нові будівельні процеси, що узгоджується з принципами економіки замкненого циклу [1, с. 26–27; 2, с. 75–76].

Актуальність дослідження також зумовлена недостатньою інтеграцією сучасних технологій перероблення в практику українського будівельного сектору, попри наявність позитивного міжнародного досвіду. Насамперед на регіональному рівні гостро відчувається нестача ефективних систем сортування, логістики та стимулювання ресайклінгу. Це значно ускладнює формування сталих ланцюгів постачання вторинних матеріалів, які могли б зменшити залежність від первинних ресурсів та скоротити загальний вуглецевий слід у будівництві.

Проблемою є також відсутність уніфікованих методичних підходів до оцінювання потенціалу будівельних відходів у контексті різних типів руйнувань та умов перероблення. Це створює труднощі в обґрунтованому прийнятті рішень на рівні муніципалітетів та забудовників. Недостатній рівень нормативної розрізненості наявних практик управління будівельними відходами також стримують інноваційну активність і впровадження індустріальних технологій ресайклінгу.

У цьому контексті постає необхідність розроблення системного наукового підходу до перероблення й повторного використання будівельних відходів, який би поєднував екологічну доцільність, економічну ефективність та технічну реалізованість. Актуальність теми посилюється потребою швидкої та ресурсно ефективної відбудови деокупованих територій, що повинна ґрунтуватися на принципах сталого розвитку та оптимального використання наявних матеріальних залишків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика перероблення будівельних відходів активно досліджується в контексті впровадження принципів сталого розвитку, економіки замкненого циклу та екологічної

безпеки. У праці О. Корнелюк та С. Левицького обґрунтовано доцільність переходу до моделі циркулярного будівництва як механізму раціонального управління ресурсами та скорочення відходів [3]. Автори акцентують на необхідності інтеграції економічних механізмів замкненого циклу в будівельну галузь України.

Науковці М. Омер (M. Omer), Р. Рахман (R. Rahman) та С. Альмутаїрі (S. Almutairi) аналізують чинники, що визначають ефективність застосування технологій перероблення будівельних відходів, зокрема через призму зручності експлуатації обладнання [4]. Запропонована авторами концепція «usability» вказує на важливість адаптації технологій до умов будівельного майданчика, що є надзвичайно актуальним для деокупованих регіонів України.

Нормативну архітектоніку управління відходами в ЄС як передумову підвищення ефективності ресайклінгу розглядають І. Папаміхаель зі співавторами (I. Papamichael et al.) [5]. Автори пропонують базову структуру директив, що забезпечують відстежуваність і стандартизацію процесів перероблення.

У вітчизняному контексті питання енергоефективності в будівництві вивчено М. Фрідляндом, який розглядає «зелені» технології як інструмент підвищення еколого-економічної результативності інженерних рішень [6]. У дослідженні продемонстровано потенціал альтернативних матеріалів. Учені Б. Савчук і Д. Пушкарьов зосереджують увагу на технічних методах перероблення полімерних відходів, зокрема на аспектах їхнього сортування та модифікації [7].

Екологічний фокус є визначальним у статті О. Палій, яка аналізує вплив повторного використання будівельного сміття на стан довкілля [8]. Авторка наголошує на потребі очищення матеріалів від токсичних компонентів. Інноваційні технології управління будівельними відходами з урахуванням принципів циркулярної економіки висвітлюють Н. Левченко зі співавторами [9].

Національний контекст стратегічного планування охоплено в публікації Я. Нижниченко, яка здійснила порівняльний аналіз стану справ в Україні та за кордоном [10]. Дослідниця вказує на фрагментарність української політики у сфері ресайклінгу та потребу в інституційному оновленні системи управління відходами. Регіональний підхід до поводження з відходами розробили Т. Сафранов, В. Приходько та В. Михайленко [11]. Автори дослідження аналізують відмінності управлінських стратегій у різних регіонах, приділяючи особливу увагу питанням збору та утилізації відходів.

Науковці Ф. Гуо (F. Guo), Дж. Ван (J. Wang) та Ю. Сонг (Y. Song) представили економічні моделі субсидування систем перероблення, що

спрямовані на підтримку цих систем у перехідних економіках [12]. Результати моделювання свідчать про перевагу споживчих субсидій для стимулювання попиту на перероблену продукцію, що може бути цінним орієнтиром для українських умов. Інженерно-будівельний аспект проблеми висвітлили Г. Джозеф та співавтори (H. Joseph et al.), які здійснили технічну оцінку застосування будівельних залишків у новому бетоні [13]. Вони доводять можливість збереження міцності та довговічності конструкцій за умови відповідного очищення вторинної сировини.

Дослідження Т. Кваші, О. Паладченко та І. Молчанової систематизує перспективні напрями у сфері управління відходами, приділяючи увагу не лише технологічним, а й економіко-правовим аспектам [14]. Автори пропонують стратегічні орієнтири для наукової політики у сфері перероблення. Науковці В. Приходько та Т. Сафранов проаналізували ресурсоцінний складник твердих побутових відходів [15]. Хоча дослідження не фокусується безпосередньо на будівельному секторі, воно надає важливу методичну основу для класифікації вторинної сировини, що може бути застосована й до будівельних відходів.

Попри наявність значної кількості досліджень, більшість із них обмежуються вузькою проблематикою: орієнтовані переважно на екологічні або інженерно-технологічні аспекти, не охоплюють повний ланцюг управління будівельними відходами – від ідентифікації до інтеграції в нові виробничі процеси, а також не містять належного економіко-організаційного обґрунтування вибору методів ресайклінгу під час післявоєнної відбудови України. Крім того, недостатньо міждисциплінарних підходів, які б комплексно поєднували інженерно-будівельні, екологічні та економічні аспекти розв'язання зазначеної проблеми.

Мета дослідження та формулювання цілей. Метою дослідження є наукове обґрунтування та розроблення ефективних методів перероблення й повторного використання будівельних відходів в умовах післявоєнної відбудови України. Для досягнення зазначеної мети сформульовано такі завдання:

- 1) дослідити сучасні підходи, інструменти та технології перероблення будівельних відходів в Україні та за кордоном;
- 2) проаналізувати потенціал будівельних відходів для повторного використання в будівництві, зокрема на деокупованих територіях;
- 3) виявити перешкоди в наявній системі управління будівельними відходами, а також розробити пропозиції щодо удосконалення методів ресайклінгу з урахуванням специфіки регіону, логістичних можливостей та інвестиційної привабливості.

Методи дослідження. Дослідження ґрунтується на застосуванні комплексу загальнонаукових та спеціальних методів, що забезпечили системний підхід до вивчення проблем перероблення й повторного використання будівельних відходів у сучасних умовах післявоєнної відбудови України.

У роботі застосовано метод аналізу та синтезу, що сприяв критичному осмисленню наявних теоретичних підходів до управління будівельними відходами, систематизації типових рішень у сфері ресайклінгу та виокремленню чинників, які впливають на ефективність їхнього впровадження. Узагальнено наукові джерела, аналітичні звіти та практичні кейси, як українські, так і закордонні.

Для порівняння різних моделей управління перероблення будівельних відходів застосовано порівняльний метод, що дав змогу виокремити відмінності між національними та міжнародними практиками. Особливу увагу приділено аналізу політик ЄС щодо ресайклінгу, зокрема досвіду країн, що досягли високих показників повторного використання матеріалів.

Застосовано також системний підхід, що передбачає розгляд проблематики ресайклінгу як взаємодії екологічних, економічних, технологічних, інституційних та логістичних чинників. Цей підхід дав змогу сформулювати модель ефективного управління будівельними відходами як багатокомпонентний процес, де кожен етап – від ідентифікації до повторного використання – потребує скоординованих рішень.

Крім того, застосовано факторний аналіз для виявлення основних перешкод, що уповільнюють розвиток систем ресайклінгу (нормативні, інституційні, логістичні, техніко-технологічні, фінансові та інформаційні), на основі чого розроблено практичні рекомендації для подолання кожного з них. Окрім того, частково залучено елементи експертного оцінювання, зокрема при аналізі аналітичних оглядів для врахування регіональних відмінностей у підходах до ресайклінгу.

Застосування комплексу цих методів дало змогу сформувати цілісне бачення стану проблеми, визначити найефективніші підходи до управління відходами та обґрунтувати наукові й практичні засади для розроблення дієвої моделі ресайклінгу в українському контексті післявоєнного відновлення.

Виклад основного матеріалу. В Україні поширеними залишаються традиційні підходи до поводження з будівельними відходами: зберігання на полігонах або епізодичне використання як засипки. Проте в міжнародній практиці ефективними вважаються способи перероблення, що дають змогу знизити обсяг відходів та отримати вторинну сировину для будівництва [7, с. 73–74]. До них належать механічне дроблення, повторне сортування,

застосування спеціалізованих мобільних установок, що забезпечують гнучкість перероблення в зонах руйнувань.

У країнах ЄС та США широко впроваджуються автоматизовані системи сортування із застосуванням сенсорних технологій (оптичне, магнітне розпізнавання), а також цифрове моделювання потоків відходів, що дає змогу прогнозувати навантаження на сортувальні лінії та полігони [4; 5]. Окрім того, застосовуються мобільні контейнери із вбудованими подрібнювачами, які проводять перероблення безпосередньо на місці демонтажу, зменшуючи витрати на транспортування та зберігання.

Перехід до економіки замкненого циклу у сфері будівництва вимагає створення технологічних ланцюгів, що забезпечують збирання, сортування, перероблення й повторне використання матеріалів [9, с. 65–66; 16]. Проте в умовах обмежених ресурсів найдоцільнішими для застосування на деокупованих територіях України є саме прості моделі, які поєднують елементи ручного сортування з дробленням. Як стверджує Т. Демченко, портативні сортувальні комплекси, що поєднують ручне сортування з гідравлічним дробленням і магнітним відділенням металу, є також ефективним рішенням [17]. Такі установки потребують мінімальної інфраструктури, можуть працювати автономно та забезпечують 40–60 % виходу вторинної сировини, придатної для дорожнього й фундаментного будівництва.

Дослідники О. Маслош і В. Подкуйко акцентують на необхідності застосування комбінованих схем, які об'єднують попередню дефрагментацію матеріалів та очищення від шкідливих компонентів [1, с. 28–30]. Це сприяє досягненню прийнятної якості вторинної сировини при мінімальних витратах.

Узагальнення міжнародних досліджень свідчить, що інноваційні технології перероблення (механічне дроблення з наступним подрібненням, полімерний гідроліз, криогенна деструкція тощо) доповнюються комплексним підходом і «зеленими» методами (наприклад, використання біополімерів, цифрове моделювання процесів). Дослідники доводять, що впровадження цих методів спрямоване не лише на зменшення обсягів відходів, а й на зниження енергетичних та екологічних витрат у будівництві. До новітніх підходів належать також біотехнології, зокрема застосування мікроорганізмів для очищення бетонного пилу від хімічних залишків і солей. Такі методи досліджуються в США та Італії та вже проходять апробацію в межах спільних проєктів ЄС. У перспективі вони істотно знизять токсичність залишків руйнувань без додаткових витрат на глибоке хімічне очищення [13; 18].

Масштабні пошкодження внаслідок воєнних дій сформували значні обсяги будівельних відходів, які містять потенційно шкідливі компоненти – важкі метали, хлориди, нітрати тощо. У складі відходів зруйнованих будівель

виявлено підвищений вміст токсичних речовин, що ускладнює процес їхньої утилізації [2, с. 75–78; 17]. Водночас при належному очищенні й сортуванні такі матеріали можуть бути повторно використані в дорожньому та опорному будівництві. Утилізація бетонних відходів сприяє зменшенню навантаження на полігони та знижує витрати на первинні матеріали.

Попри очевидні переваги повторного використання матеріалів, в Україні досі недостатньо механізмів системної інтеграції європейських підходів до локальної практики [16]. Зокрема, не реалізовано систему «зеленої сертифікації» повторно використаних будматеріалів, що унеможлиблює їхній повноцінний обіг на ринку. Також не розроблено типової дорожньої карти створення пунктів перероблення в регіонах, де обсяги руйнувань критичні.

Масштабні руйнування внаслідок бойових дій призвели до утворення мільйонів тонн будівельних відходів, що, з одного боку, є екологічним тягарем, а з іншого – цінним джерелом вторинної сировини. Особливу небезпеку становлять домішки, що містяться у фрагментах зруйнованих споруд. Для з'ясування екологічних ризиків у табл. 1 систематизовано дані щодо основних шкідливих компонентів, джерел їхнього походження, впливу на довкілля та здоров'я людини.

Таблиця 1

Вплив компонентів бетонних відходів

Компонент	Джерело утворення	Наслідки для довкілля	Вплив на людину
Свинець (Pb)	Фарба, покриття, труби	Забруднення ґрунту, токсичність для рослин	Порушення нервової системи, ураження печінки
Кадмій (Cd)	Елементи арматури, фарба	Акумуляція в ґрунтах, забруднення вод	Канцерогенна дія, ураження нирок
Хром (Cr)	Цемент, бетонні домішки	Окиснення ґрунту, токсичність для мікрофлори	Подразнення шкіри, потенційно канцерогенна дія
Нафтопродукти	Покриття, гідроізоляція	Проникнення у водоносні горизонти	Ураження дихальної системи, отруєння
Нітрати	Будівельні суміші	Евтрофікація вод, загибель біоти	Порушення обміну речовин
Хлориди	Сіль з фундаментів, суміші	Засолення ґрунтів, токсичність для рослин	Порушення електролітного балансу

Джерело: сформовано автором на основі даних [5; 13; 16; 17; 18]

Наведені в табл. 1 дані підтверджують, що бетонні відходи містять значну кількість токсичних речовин, здатних завдати шкоди екосистемам і здоров'ю

населення. Відповідно, повторному використанню будівельних матеріалів повинен передувати попередній хімічний аналіз, очищення й сортування. У разі дотримання умов ці відходи можуть перетворитися на повноцінний ресурс для реконструкції інфраструктури в постраждалих регіонах.

За інформацією І. Коссе, станом на 2024 рік в Україні було накопичено понад 15 млн тонн будівельних відходів, що утворилися внаслідок пошкодження інфраструктури в процесі бойових дій [16]. Попри те, що до 80 % із них можуть бути перероблені й використані повторно, наявна логістична система та інфраструктура перероблення не забезпечують такого рівня ефективності. Для порівняння, у країнах ЄС цей показник становить понад 90 %, що вказує на критичну потребу реформування української моделі поводження з будівельними залишками.

Разом з екологічною доцільністю, використання переробленого бетону має значні економічні переваги, що проявляються в зниженні витрат на будівництво, зменшенні потреб у первинній сировині та скороченні викидів CO₂. Для наочного узагальнення ці переваги наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Основні переваги утилізації бетонних відходів

Показник	Пояснення
Зниження витрат	Вартість вторинної сировини на 10–50 % нижча
Зменшення викидів CO ₂	До 70 % менше викидів при повторному використанні бетону
Енергоощадження	Зниження енерговитрат на дроблення порівняно з виробництвом цементу
Збереження природних ресурсів	Зменшення потреби у видобутку піску, гравію, цементу

Джерело: сформовано автором на основі даних [5; 13; 16; 17; 18]

Перероблення бетонних відходів є економічно виправданим, оскільки воно знижує витрати забудовників, скорочує залежність від імпортової сировини й сприяє екологічному балансу. Особливо важливо, що такий підхід сприяє налагодженню безперервного циклу матеріалів у будівництві, що узгоджується з принципами сталого розвитку та замкненої економіки.

Як зазначають Т. Жук та І. Павлій, практичне застосування ресайклінгу продемонструвало свою ефективність у пілотних проектах. Зокрема, у Бучанському районі до 60 % конструкцій у новозбудованих об'єктах сформовано з очищених залишків попередніх споруд [18]. Такий підхід не лише

знижує вартість будівництва, але й сприяє емоційному відновленню спільнот, символізуючи перехід від руйнації до відродження.

У результаті дослідження встановлено, що сьогодні в Україні відсутня цілісна система управління будівельними відходами, яка охоплює всі етапи – від джерела утворення до повторного використання. Більшість наявних ініціатив реалізується фрагментарно, без координації та підтримки держави. Перешкоди в наявній системі управління будівельними відходами мають системний характер і охоплюють як нормативно-правову, так і інфраструктурну, організаційну, фінансову та інформаційну площини [16; 17; 18]. Для структуризації проблем та пошуку рішень у таблиці 3 сформовано основні типи перешкод, їхні конкретні прояви та відповідні пропозиції щодо подолання.

Таблиця 3

Основні типи перешкод у сфері управління будівельними відходами в Україні

Категорія перешкоди	Конкретні прояви	Пропозиції щодо подолання
Нормативно-правові	Відсутність єдиної класифікації відходів; нечітке регулювання повторного використання	Розробка технічного регламенту з урахуванням наслідків воєнних руйнувань; адаптація до умов відбудови
Інституційні	Розмежування відповідальності між центральними та місцевими органами; відсутність органів координації ресайклінгу	Створення міжмуніципальних центрів управління будівельними відходами
Логістичні	Відсутність стабільних маршрутів транспортування; нерозвинена локальна логістика	Планування логістичних маршрутів з урахуванням відстаней до полігонів, бетонних заводів та сортувальних пунктів
Техніко-технологічні	Дефіцит мобільного обладнання; низька адаптація технологій до умов польового використання	Співфінансування закупівлі мобільних дробарок коштом органів місцевого самоврядування або державних фондів
Фінансово-економічні	Висока собівартість перероблення; відсутність фінансових стимулів; нерентабельність без підтримки	Запровадження субсидій, «зелених» облігацій, податкових пільг може стимулювати підприємства використовувати вторсировину
Інформаційно-аналітичні	Відсутність електронного обліку; нестача об'єктивних статистичних даних; закритість інформації	Розробка публічного онлайн-реєстру обліку відходів і вторинної сировини

Джерело: створено автором

Результати аналізу даних, наведених у таблиці 3, дають змогу сформулювати низку важливих системних висновків щодо стану управління

будівельними відходами в Україні. Насамперед на рівні нормативного регулювання спостерігається відсутність уніфікованої класифікації, а також чітких вимог щодо їхнього повторного використання. Це особливо проблематично за наявності масових руйнувань, коли необхідні оперативні рішення щодо поводження з великими обсягами залишків конструкцій.

З інституційного погляду, в Україні поки що не сформовано стабільної моделі розподілу функцій між центральними органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування та приватними операторами у сфері ресайклінгу. Спеціалізовані міжмуніципальні або регіональні центри координації перероблення будівельних відходів на практиці не функціонують, що ускладнює оперативне управління цими процесами.

У логістичному вимірі перешкоди пов'язані з нерозвиненістю інфраструктури транспортування, відсутністю спеціалізованих транспортних засобів та дробильного обладнання. Це особливо критично для віддалених деокупованих територій, де доступ до полігонів або заводів із перероблення часто відсутній або істотно ускладнений.

В окремих регіонах, таких як Київщина, Харківщина та Миколаївщина, зафіксовано накопичення понад 500 тис. тонн будівельного сміття на громаду, що значно перевищує наявні можливості перероблення [17]. Водночас лише близько 10 % об'єднаних територіальних громад мають доступ до мобільних дробарок, що уможливорює ефективне реагування на локальні потреби. Для забезпечення регіонального балансу потужностей необхідно щонайменше в п'ять разів розширити технічну базу.

З фінансово-економічного погляду, процес ресайклінгу є недостатньо привабливим для бізнесу, оскільки його собівартість перевищує витрати на традиційне вивезення та захоронення відходів. Відсутність державних стимулів, таких як субсидії чи податкові пільги, стримує розвиток інновацій у цій сфері.

Щодо інформаційного забезпечення, необхідно констатувати фрагментарність та закритість аналітичних даних, що ускладнює планування та прийняття управлінських рішень. Відсутність публічного електронного реєстру утворених і перероблених будівельних відходів перешкоджає прозорому моніторингу ситуації на національному та регіональному рівнях.

Таким чином, реформування системи управління будівельними відходами в Україні повинно відбуватися на основі міжвідомчої координації, з урахуванням специфіки регіону. При цьому необхідно брати до уваги такі параметри, як щільність руйнувань у конкретному регіоні, наявність техніки, транспортних маршрутів і можливості залучення зовнішніх інвестицій для розвитку локальних систем перероблення.

До основних пропозицій щодо удосконалення методів ресайклінгу, сформульованих за результатами дослідження, належать запровадження державного технічного регламенту поводження з будівельними відходами, створення міжмуніципальних центрів перероблення, упровадження електронного обліку та реєстрів відходів, стимулювання підприємств до повторного використання сировини шляхом надання пільг і субсидій. Запропоновані заходи враховують регіональні особливості розвитку, рівень інфраструктурної забезпеченості та потребу в оперативній реконструкції пошкоджених об'єктів.

Висновки та рекомендації подальшого дослідження. Проблема перероблення та повторного використання будівельних відходів в Україні набула виняткової актуальності під час повоєнного відновлення інфраструктури. Масштаби руйнувань, спричинених збройною агресією, сформували безпрецедентний обсяг будівельних відходів, які, з одного боку, становлять серйозну екологічну загрозу, а з іншого – відкривають потенціал для формування замкненого циклу будівельних матеріалів.

Встановлено, що в Україні відсутня ефективна модель управління будівельними відходами, яка б охоплювала всі етапи – від ідентифікації та збору до повторного використання. Наявні практики обмежуються фрагментарними ініціативами на локальному рівні. У той час, як країни ЄС та США впроваджують автоматизовані системи сортування, цифрові моделі моніторингу та «зелене» сертифікування вторинної сировини, в Україні подібні технології або відсутні, або перебувають на стадії концептуальних напрацювань. При цьому значна частина відходів, за умови сортування та очищення, може бути придатною для повторного використання, зокрема в дорожньому, житловому та інженерному будівництві.

Дослідження підтвердило, що повторне використання відходів не лише економічно виправдане, а й сприяє досягненню цілей сталого розвитку. Економія на матеріалах, зменшення викидів CO₂, збереження природних ресурсів – усе це зумовлює доцільність інтеграції ресайклінгу в інфраструктурну політику держави. Водночас ефективність таких підходів стримується низкою перешкод – від нормативно-правової неврегульованості до відсутності технічної та логістичної спроможності. Особливо це стосується регіонів, які зазнали інтенсивних руйнувань і водночас мають обмежений доступ до ресурсів.

Подальші дослідження доцільно зосередити на створенні математичних моделей логістики відходів, економічному оцінюванні життєвого циклу вторинних матеріалів, розробленні цифрових платформ для управління

потоками будівельного сміття, а також на вивченні соціальних ефектів інтеграції ресайклінгу у відбудову постраждалих територій.

Список викоистаних джерел

1. Масло О., Подкуйко В. Потенціал утилізації бетонних відходів на деокупованих територіях: екологічні та економічні аспекти. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2023. № 4(280). С. 25–36. DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-280-4-25-36>
2. Пацева І., Нонік Л. Рециклінгу відходів руйнації – крок до зменшення ризиків воєнного екоциду. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. Вип. 3. С. 73–81. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-10>
3. Корнелюк О., Левицький С. Економіка замкненого циклу та стратегії управління відходами. *Наукові інновації та передові технології. Серія «Економіка»*. 2023. № 14(28). С. 679–691. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-14\(28\)-679-691](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-14(28)-679-691)
4. Omer M., Rahman R., Almutairi S. Strategies for enhancing construction waste recycling: A usability analysis. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. №10. Article 5907. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14105907>
5. Papamichael I., Voukkali I., Loizia P., Zorpas A. Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review. *Waste Management & Research*. 2023. Vol. 41. № 12. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X231190804>
6. Фрідлянд М. Зелені технології у сучасному будівництві: аналіз відновлюваних матеріалів та ефективності енергоефективних систем. *Наукові нотатки*. 2024. № 77. С. 104–112. DOI: <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2024.77.17>
7. Савчук Б., Пушкарьов Д. Способи перероблення полімерних відходів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2025. № 1(287). С. 67–76. DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-287-1-67-76>
8. Палій О. Екологічні аспекти утилізації відходів руйнувань в Україні: використання переробленого матеріалу для сталого будівництва. *Екологічні науки*. 2024. № 1(52). Т. 1. С. 84–88. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.12>
9. Левченко Н., Назаренко О., Березовська А., Белоусова П., Щемелєв М., Гаджівердієв А. Інноваційні технології в управлінні будівельними відходами згідно економіки замкнутого циклу. *Науковий вісник будівництва*. 2024. Вип. 110. С. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2024.110.1.9>
10. Нижниченко Я. Світові тенденції управління відходами та аналіз ситуації в Україні. *Актуальні питання економічних наук*. 2024. № 5. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14187042>
11. Сафранов Т., Приходько В., Михайленко В. Особливості управління та поводження з відходами від руйнувань в регіонах України. *Український*

гідрометеорологічний журнал. 2024. № 33. С. 88–98. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.33.2024.07>

12. Guo F., Wang J., Song Y. How to promote sustainable development of construction and demolition waste recycling systems: production subsidies or consumption subsidies? *Sustainable Production and Consumption*. 2022. Vol. 32. P. 407–423. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.05.002>

13. Joseph H., Pachiappan T., Avudaiappan S., Maureira-Carsalade N., Roco-Videla Á., Guindos P., Parra P. A comprehensive review on recycling of construction demolition waste in concrete. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. № 6. Article 4932. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15064932>

14. Кваша Т., Паладченко О., Молчанова І. Перспективні світові наукові та технологічні напрями досліджень у сфері «Відходи»: монографія. Київ, 2020. 103 с. DOI: <https://doi.org/10.35668/978-966-479-113-4>

15. Приходько В., Сафранов Т. Ресурсоцінна складова твердих побутових відходів окремих регіонів України: монографія. Одеса, 2024. 101 с. URL: http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/13062/1/pryhodko_safranov_resurso_skladova_tver_po_b_vidhodiv_monogr_2024.pdf (дата звернення: 06.05.2025).

16. Коссе І. Перероблення будівельних відходів: виклики та можливості для України. *VoxUkraine: вебсайт*. 2024. URL: <https://voxukraine.org/pereroblennya-budivelnyh-vidhodiv-vyklyky-ta-mozhlyvosti-dlya-ukrayiny> (дата звернення: 07.05.2025).

17. Демченко Т. Можливості перероблення будівельних відходів від руйнувань. *BDO Україна: вебсайт*. 2024. URL: <https://www.bdo.ua/uk-ua/insights-2/information-materials/2024/opportunities-for-recycling-construction-waste-from-devastation> (дата звернення: 07.05.2025).

18. Жук Т., Павлій І. Руїни знову стануть будинками: як перероблення будівельного сміття може змінити відбудову. *ГО «Хмарочос»: вебсайт*. 2023. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2023/11/28/ruiny-znovu-stanut-budynkam-yak-resajkling-budivelnogo-smittya-mozhe-zminyuty-vidbudovu> (дата звернення: 07.05.2025).

Andrii Chubin,

Kyiv National University of Construction and Architecture

DEVELOPMENT OF EFFECTIVE METHODS FOR PROCESSING AND REUSE OF CONSTRUCTION WASTE

In the context of the post-war reconstruction of Ukraine, the problem of recycling construction waste is gaining strategic importance. Large-scale destruction has led to the formation of millions of tons of construction waste, a significant part of which can be converted into secondary raw materials. At the same time, the current

waste management system does not provide effective recycling due to the fragmentation of the regulatory framework, lack of logistical resources and the absence of an integrated approach. The relevance of the study is due to the need to optimize the reuse of materials in order to reduce the environmental load and increase the economic efficiency of construction in conditions of limited resources. The purpose of the study is to scientifically substantiate and develop effective methods of recycling and reuse of construction waste in the conditions of the post-war reconstruction of Ukraine. To achieve this, modern technologies and practices of recycling in Ukraine and the world have been studied, the potential for reuse of materials has been assessed, and key barriers to the implementation of innovative solutions have been identified. The methodological basis of the study is a combination of general scientific methods (analysis, synthesis, system approach) and specialized tools (comparative analysis, expert assessment). This allowed us to investigate the factors of recycling efficiency, form a typology of barriers (regulatory, logistical, institutional, etc.) and propose a conceptual model for improving construction waste management, taking into account regional specifics and investment attractiveness. The results of the study show that up to 80% of construction waste in Ukraine can be reused, but the current system does not provide the appropriate recycling capacity. The scientific novelty lies in the justification of a systemic approach to recycling, taking into account technical, economic and environmental factors, as well as in the proposal for the integration of mobile recycling plants for deoccupied regions. The practical value lies in the possibility of applying the results to develop reconstruction policies, optimize logistics chains and stimulate the use of secondary raw materials in construction.

Keywords: secondary raw materials; waste logistics; sustainable construction; environmental safety; state regulation; recycling infrastructure.

REFERENCES

1. Maslo, O., & Podkuiko, V. (2023). Potentsial utilizatsii betonnykh vidkhodiv na deokupovanykh terytoriiakh: ekolohichni ta ekonomichni aspekty. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia – Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 4(280), 25–36. <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-280-4-25-36> {in Ukrainian}.
2. Patseva, I., & Nonik, L. (2023). Retsyklingu vidkhodiv ruinatsii – krok do zmenshennia ryzykiv voiennoho ekotsydu. *Problemy khimii ta staloho rozvytku – Problems of chemistry and sustainable development*, 3, 73–81. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-10> {in Ukrainian}.
3. Korneliuk, O., & Levytskyi, S. (2023). Ekonomika zamknenoho tsykladu ta stratehii upravlinnia vidkhodamy. *Naukovi innovatsii ta peredovi tekhnolohii. Seriya*

«*Ekonomika*» – *Scientific innovations and advanced technologies. Economy series*, 14 (28), 679–691. [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-14\(28\)-679-691](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-14(28)-679-691) {in Ukrainian}.

4. Omer, M., Rahman, R., & Almutairi, S. (2022). Strategies for enhancing construction waste recycling: A usability analysis. *Sustainability*, 14(10), 5907. <https://doi.org/10.3390/su14105907> {in English}.

5. Papamichael, I., Voukkali, I., Loizia, P., & Zorpas, A. (2023). Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review. *Waste Management & Research*, 41(12). <https://doi.org/10.1177/0734242X231190804> {in English}.

6. Fridliand, M. (2024). Zeleni tekhnolohii u suchasnomu budivnytstvi: analiz vidnovliuvanykh materialiv ta efektyvnosti enerhoefektyvnykh system [Green technologies in modern construction: analysis of renewable materials and efficiency of energy-efficient systems]. *Naukovi notatky – Scientific notes*, 77, 104–112. <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2024.77.17> {in Ukrainian}.

7. Savchuk, B., & Pushkaryov, D. (2025). Sposoby pererobky polimernykh vidkhodiv [Methods of recycling polymer waste]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia – Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 1 (287), 67–76. <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-287-1-67-76> {in Ukrainian}.

8. Palii, O. (2024). Ekolohichni aspekty utilizatsii vidkhodiv ruinuvan v Ukraini: vykorystannia pereroblenoho materialu dlia staloho budivnytstva [Environmental aspects of demolition waste utilization in Ukraine: using recycled material for sustainable construction]. *Ekologichni nauky – Environmental Sciences*, 1(52), 1, 84–88. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.12> {in Ukrainian}.

9. Levchenko, N., Nazarenko, O., Berezovska, A., Bielousova, P., Shchemelev, M., & Hadzhiverdiiev, A. (2024). Innovatsiini tekhnolohii v upravlinni budivelnymy vidkhodamy zghidno ekonomiky zamknenoho tsykladu [Innovative technologies in construction waste management according to the closed-loop economy]. *Naukovyi visnyk budivnytstva – Scientific Bulletin of Construction*, 110, 62–69. <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2024.110.1.9> {in Ukrainian}.

10. Nyzhnychenko, Ya. (2024). Svitovi tendentsii upravlinnia vidkhodamy ta analiz sytuatsii v Ukraini [Global trends in waste management and analysis of the situation in Ukraine]. *Aktualni pytannia ekonomichnykh nauk – Current issues in economic sciences*, 5. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14187042> {in Ukrainian}.

11. Safranov, T., Prykhodko, V., & Mykhailenko, V. (2024). Osoblyvosti upravlinnia ta povodzhennia z vidkhodamy vid ruinuvan v rehionakh Ukrainy [Peculiarities of management and handling of waste from destruction in the regions

of Ukraine]. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal – Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 33, 88–98. <https://doi.org/10.31481/uhmj.33.2024.07> {in Ukrainian}.

12. Guo, F., Wang, J., & Song, Y. (2022). How to promote sustainable development of construction and demolition waste recycling systems: production subsidies or consumption subsidies? *Sustainable Production and Consumption*, 32, 407–423. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.05.002> {in English}.

13. Joseph, H., Pachiappan, T., Avudaiappan, S., Maureira-Carsalade, N., Roco-Videla, Á., Guindos, P., & Parra, P. (2023). A comprehensive review on recycling of construction demolition waste in concrete. *Sustainability*, 15(6), 4932. <https://doi.org/10.3390/su15064932> {in English}.

14. Kvasha, T., Paladchenko, O., & Molchanova, I. (2020). *Perspektyvni svitovi naukovi ta tekhnologichni napriamy doslidzhen u sferi «Vidkhody»: monohrafiia [Promising global scientific and technological research directions in the field of “Waste”: monograph]*. Kyiv. <https://doi.org/10.35668/978-966-479-113-4> {in Ukrainian}.

15. Prykhodko, V., & Safranov, T. (2024). *Resurstsinna skladova tverdykh pobutovykh vidkhodiv okremykh rehioniv Ukrainy: monohrafiia [Resource-valuable component of solid household waste in certain regions of Ukraine: monograph]*. Odesa. Retrieved from http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/13062/1/pryhodko_safranov_resurso_skladova_tver_pob_vidhodiv_monogr_2024.pdf {in Ukrainian}.

16. Kosse, I. (2024). Pereroblennia budivelnykh vidkhodiv: vyklyky ta mozhlyvosti dlia Ukrainy [Construction waste recycling: challenges and opportunities for Ukraine]. *VoxUkraine: vebsait – VoxUkraine: website*. Retrieved from <https://voxukraine.org/pereroblennya-budivelnyh-vidhodiv-vyklyky-ta-mozhlyvosti-dlya-ukrayiny> {in Ukrainian}.

17. Demchenko, T. (2024). Mozhlyvosti pererobky budivelnykh vidkhodiv vid ruinuvan [Possibilities for recycling construction waste from demolition]. *BDO Ukraina: vebsait – BDO Ukraina: website*. Retrieved from <https://www.bdo.ua/uk-ua/insights-2/information-materials/2024/opportunities-for-recycling-construction-waste-from-devastation> {in Ukrainian}.

18. Zhuk, T., & Pavlii, I. (2023). Ruiiny znovu stanutь budynkami: yak pererobka budivelnogo smittia mozhe zminyty vidbudovu [Ruins will become homes again: how recycling construction waste can change reconstruction]. *HO «Khmarochos»: vebsait – NGO “Skyscraper”: website*. Retrieved from <https://hmarochos.kiev.ua/2023/11/28/ruyiny-znovu-stanut-budynkami-yak-resajkling-budivelnogo-smittya-mozhe-zminyty-vidbudovu> {in Ukrainian}.