

УДК 69:658.567

А. А. ШУВАЄВ^{1*}

^{1*}Каф. «Промислове та цивільне будівництво», Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (096) 180 45 99, ел. пошта shywazp@gmail.com, ORCID 0000-0002-4919-485X

Інструментарій залучення відходів будівництва та зносу до повторного виробничого циклу

Мета. У цій роботі передбачено проведення аналізу та класифікації відходів будівництва та зносу. Необхідно, щоб ця класифікація не лише відображала статистичні дані про утворення відходів, але і виступала інформаційним фундаментом для системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ). Основне завдання цієї системи полягає в максимальному залученні відходів до повторного господарського обігу та об'єктивному відображенні технологічних можливостей їх переробки. Це надзвичайно важливо в контексті впровадження європейських принципів управління відходами та реалізації Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. **Методика.** Розглянуто проблеми управління відходами будівництва в межах Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, у якій передбачено впровадження заходів та принципів поводження з відходами, включаючи будівельні відходи. Проаналізовано управлінські проблеми у сфері відходів будівництва та зносу, що обґрунтовує необхідність класифікації відходів будівництва з одночасним узгодженням методів та технологій переробки. Будівельна діяльність невіддільно пов'язана з управлінням різноманітними видами ресурсів, серед яких вторинні матеріали відіграють ключову роль у реалізації будівельних процесів. Здатність ефективно управляти потоками цих вторинних ресурсів є критичною для забезпечення стабільності та ефективності будівельного виробництва. У цьому контексті дослідження значення управління потоками вторинних ресурсів стає невід'ємною частиною стратегії оптимізації будівельних процесів. **Результати.** Будівельні відходи від зносу будинків та споруд є унікальним, що пов'язано з їхньою габаритністю та необхідністю підготовки до первинного дроблення. Це особливо актуально в контексті впровадження концепції реновації застарілого житлового фонду. Досліджено різні статичні та динамічні методи руйнування будівельних матеріалів, зокрема, ударні та вібраційні, при цьому динамічні методи відзначаються меншими енергетичними витратами. **Наукова новизна.** Робота відображає формування теоретико-методологічних напрямів на основі використання вторинної сировини в будівництві, а також проведення порівняльної характеристики різних методів руйнування будівельних матеріалів. **Практична значимість.** Можливості переробки відходів будівництва, зокрема максимальне залучення їх до переробки, що відповідає цілям Стратегії України, забезпечує 50 % перероблення відходів.

Ключові слова: управління потоками відходів будівництва і зносу; класифікація; технологія переробки; вторинна сировина

Вступ

Неможливо заперечити, що відходи будівельної галузі мають значний потенціал для перетворення на вторинну сировину. Після відповідної переробки вони можуть бути використані як вторинна продукція за визначеними технологіями. Це не лише знижує собівартість будівельних проєктів, але й сприяє зменшенню навантаження на полігони, уникненню неконтрольованого розширення нелегальних сміттєзвалищ [1–3, 5]. Зазначимо, що внаслідок переробки відходів від демонтажу споруд за прогресивними екологічно спрямованими інноваційними технологіями ефективність

використання матеріалів зростає за рахунок зниження виробничих витрат будівництва.

Незважаючи на доведені науково-теоретичні дослідження та практичний досвід багатьох іноземних країн, переваги використання відходів будівництва в повторному господарському обігу [7–10, 12] залишаються недостатньо врахованими, особливо в Україні. Однією з причин цього є недостатність та недосконалість теоретичних та практичних розробок методів і технологій використання відходів будівництва та демонтажу як вторинної сировини.

Через відсутність чіткої класифікації, системи контролю та достовірних статистичних даних про обсяги утворення й переробки будівельних відходів в Україні важко визначити

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

реальний обсяг захоронення на сміттєзвалищах. Можна припускати, що вказана цифра (94 %) відображає обсяги захоронення усіх твердих побутових відходів [2].

Мета

Основна мета цієї наукової статті полягає в науковому обґрунтуванні класифікації відходів будівництва, яка б не лише відображала статистичні показники їх утворення, але й слугувала інформаційним фундаментом для системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ), була спрямована на досягнення максимального залучення цих відходів до повторного господарського обігу та об'єктивно відображала технологічні можливості їх переробки. Це важливо в контексті впровадження принципів поводження з відходами, які ґрунтуються на європейських стандартах, та реалізації Національної стратегії управління відходами в Україні.

Методика

Згідно з даними Євростатуту, будівельні відходи становлять приблизно третину загальної кількості відходів у країнах Європейського Союзу. Основні складові будівельних відходів – ґрунт, бетон, цегла, скло, деревина, гіпсокартон, азбест, метали, пластмаси та інші матеріали. Рівень переробки цих відходів у країнах ЄС коливається від 10 до 90 % [8].

У Нідерландах, наприклад, більшість будівельних відходів (понад 90 %) проходить процес переробки, що становить найвищий показник у Європі. У Німеччині функціонує понад 400 підприємств-переробників будівельних відходів (100 переробних центрів лише в Берліні); із загальної маси 59 мільйонів тонн будівельного лому, утвореного на будівельних майданчиках, 80 % повторно використовують [7, 8].

В Австрії майже 87 % відходів будівництва та зносу (CDW – Construction and Demolition Waste) піддають переробці. Обов'язковою умовою є роздільний збір, який регулюють на законодавчому рівні. Приблизно 54 % компаній, які входять до Австрійської асоціації з переробки будівельних матеріалів (108 компаній), працюють у мобільному форматі, використовуючи дробильні та екранні установки, тоді як

46 % є стаціонарними (мають декілька модулів, які можуть бути компонованими). Стимулювання переробки будівельних відходів та зносу відбувається на законодавчому рівні, наприклад, через Закон про усунення забруднених територій, що передбачає стягнення 9,2 євро за кожну тону невідновлюваних відходів (тобто тих, які не підлягають переробці або неможливо переробити) [5–8].

Загалом у країнах ЄС середній рівень переробки будівельних відходів становить практично 28 % [7], і частка вторинної будівельної сировини вказує на позитивну динаміку, яка є результатом не лише заходів стимулювання, але й упровадження інноваційних технологій та сучасних організаційно-технологічних рішень для ефективного залучення відходів будівництва до повторного господарського обігу.

В управлінні потоками відходів будівництва ключовим аспектом є розмаїття будівельних відходів за їхнім походженням та морфологічним складом, що визначає варіативність методів їх збору, транспортування, передпідготовки та подальшої переробки. Згідно з цим підходом можна виділити дві основні групи відходів: перша група – відходи, що утворюються під час реконструкції, ремонту, нового будівництва, виробництва будівельних матеріалів, деталей і конструкцій; друга група – відходи від зносу будівель та споруд [9].

Крім того, класифікація будівельних відходів [2, 9] за джерелами їх утворення передбачає уточнення розподілу за такими категоріями: відходи від виробництва будівельних матеріалів і конструкцій; відходи, утворені в процесі поточних ремонтів; відходи від капітальних ремонтів; відходи, отримані під час модернізації та реконструкції; відходи від реставрації; відходи в результаті зносу споруд та будинків; відходи, утворені в процесі нового будівництва; відходи під час випробувань; відходи внаслідок надзвичайних ситуацій.

Однак наявні класифікація відходів будівництва в Державному класифікаторі України (ДК 005–96) [2, 3], яка визначає їх як відходи від надання послуг Б.3, групи 45, утворені під час будівельних робіт та знесення будівель і споруд (451), а також унаслідок техногенних та природних катастроф, не відображає всієї різноманітності відходів будівництва та зносу,

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

вимагає більш диференційованого підходу до їх технологічної обробки. Різні дослідження, зокрема [9], розглядають здатність відходів до повторного використання як критерій класифікації, виокремлюючи кондиційні, некондиційні відходи та будівельне сміття [5].

Кондиційні відходи являють собою конструктивні елементи, вироби та матеріали, які можуть бути повторно використані. Некондиційні відходи підходять для вторинної переробки, тоді як будівельне сміття призначене лише для захоронення. Зазначимо, що в деяких дослідженнях [2, 6, 7, 11] наголошено на тому, що кондиційні вироби та матеріали повинні бути виключені з категорії будівельних відходів через їхню здатність збереження первісних властивостей та можливість використання згідно з призначенням. Варто відзначити, що в деяких європейських країнах ці матеріали класифікують як вторинну сировину, а не як відходи будівництва.

Автори поділяють відходи будівництва та зносу на дві групи: першу групу визначають як вторинну сировину, а другу – як будівельні відходи. З цієї класифікації випливають три основні методи обробки відходів будівництва та зносу:

- захоронення;
- утилізація з використанням відходів як вторинної сировини;
- утилізація з отриманням енергії.

Ця класифікація зорієнтована на технологічний склад відходів, її використовують для оцінки їхньої екологічної безпеки та можливості використання як вторинної сировини. Також відходи будівництва класифікують за їхнім походженням на органічні, мінеральні та хімічні [6, 9].

Очевидно, що основний відсоток утворення відходів у будівельній галузі становлять відходи, які виникають під час реконструкції, ремонту, нового будівництва, а також виробництва будівельних матеріалів, деталей і конструкцій. Ці відходи характеризуються розрізненими місцями утворення та вимагають більш складного сортування, що ускладнює як логістичний процес управління такими потоками, так і визначення технологічних вимог для їхньої переробки з метою отримання максимальної споживчої

цінності для окремих видів відходів. Наприклад, під час розбирання 100-квартирного будинку в середньому може утворюватись від 15 до 20 тонн відходів будівництва, включаючи цеглу, залишки твердого бетону, стінові блоки з керамзитобетону, гіпсокартон, пінопласт, мінеральну вату, скло та інше [1, 8]. Очевидно, що класифікація цих відходів повинна враховувати не тільки джерело їх утворення, але і склад (визначення продукції) первісного будівельного матеріалу. Це надасть можливість, у разі застосування конкретних технологій, отримати продукцію з вторинної сировини з найбільшою споживчою цінністю та найвищою ефективністю переробки.

Відходи будівництва, що виникають під час зносу будинків та споруд, також мають свою унікальність, яка пов'язана з їхнім розміром, потребою в підготовці до первинного подрібнення та мінімальними вимогами до двоступеневого роздроблення. Ця унікальність спричиняє в основному направлення цих відходів на стаціонарні комплекси переробки через обмежені можливості їх обробки на місці утворення [9]. Це особливо актуально в контексті впровадження концепції реновації застарілого житлового фонду. Розрізняють статичні методи руйнування, такі як розколювання, дроблення, різка та розширення, і динамічні методи, зокрема ударні, вібраційні та вибухові. Динамічні методи руйнування отримали найбільше вдосконалення та відрізняються меншими питомими енергетичними витратами порівняно зі статичними методами.

У світовій практиці в основному використовують два основних підходи до організації переробки важких та габаритних будівельних відходів: переробка на місці утворення та переробка на спеціалізованих підприємствах-переробниках (спеціальних комплексах) [10, 11].

Перший варіант переробки обмежує можливості використання високопродуктивного обладнання, отримання чистої фракційної продукції з відходів будівництва та вимагає додаткових екологічних заходів для захисту навколишнього середовища, особливо в міських зонах.

Другий варіант передбачає додаткові логістичні витрати на процес переробки. Це дає можливість отримувати продукцію з вищою дода-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

ною вартістю, реалізовувати інноваційні організаційно-технологічні рішення та забезпечувати екологічність процесів переробки.

Найбільш екологічно доцільним методом утилізації будівельних відходів залишається той, при якому частину відсортованих відходів обробляють на місці (локального) збору та розбирання, а іншу направляють до стаціонарних центрів переробки [3, 5, 9].

Можливості використання будівельних відходів у системному управлінні організаційно-технологічною надійністю виробничих процесів в будівництві [4], можна поділити на дві групи:

перша група включає відходи, які не потребують високої якості вторинної сировини (відходи будівництва). Використання таких відходів дозволяє зекономити цінну та високоякісну первинну сировину без значного впливу на якість кінцевого продукту (наприклад, шумопоглинальні огороження, забутування споруджень, подушка для доріг та ін.);

друга група включає відходи, де висувають вимоги до якості і складу вторинної сировини, а самі відходи мають більшу цінність. Такі відходи можуть бути використані як вторинна сировина для нових будівельних (і не тільки) матеріалів (будівельні матеріали з використанням повністю або частково вторинної сировини). Ефективними методами такого використання будівельних відходів є рециклінг, регенерація та рекуперація.

Результати

Отже, ми вважаємо абсолютно обґрунтованим включення максимальної кількості будівельних відходів до процесу переробки. Класифікацію будівельних відходів потрібно здійснювати за кількома ключовими параметрами:

1. За видами будівельних матеріалів: розділення за матеріалами, такими як скло, бетон, цегла, деревина, гіпсокартон і т. д.

2. За кондиційністю: розподіл на кондиційні, некондиційні та непереробні відходи.

3. За придатністю до переробки відповідно до видів технологій: поділ відходів за доступними технологіями (технологія 1, технологія 2 і т. д.).

4. За габаритністю: умови сортування та транспортування, наприклад, групування за

умовами сортування та транспортування 1, 2 і т. д.

5. За критеріями безпеки: урахування чотирьох існуючих класів безпеки відходів.

6. За джерелами утворення: визначення джерел утворення відходів.

Удосконалення цієї класифікації дозволить систематизувати всі типи будівельних відходів не лише для отримання статистичних даних щодо обсягів їхнього утворення, але й для сортування в межах інформаційної системи управління потоками відходів, створення єдиної інформаційної платформи [2, 3, 9]. Це, у свою чергу, надасть можливість прогнозувати обсяги переробки, кількість готової продукції з перероблених відходів та оцінювати ефективність управління потоками відходів будівництва та зносу взагалі.

Важливо відзначити, що з розширенням технологічних можливостей та впровадженням нових технологій переробки буде розширюватися і класифікація відходів будівництва за цим принципом (рис. 1). Це відкриє нові можливості для залучення тих відходів, які раніше, наприклад, не підлягали переробці.

Наукова новизна та практична значимість

Результати наукової роботи, які наведені в цій статті, дозволяють поліпшити процеси управління потоками вторинних ресурсів, що сприяє не лише підвищенню ефективності використання ресурсів, але й зменшенню впливу будівельних процесів на навколишнє середовище. Застосування структури функціональних можливостей інформаційно-аналітичної системи управління відходами будівництва дозволяє точно визначати обсяги вторинних ресурсів, їх якість та придатність для конкретних будівельних завдань.

Крім того, управління потоками вторинних ресурсів є ключовим елементом у стратегіях сталого будівництва, що спрямовані на зменшення відходів та енергозатрат, а також на підвищення переробної здатності матеріалів. Це відкриває нові перспективи для створення екологічно чистих та енергоефективних будівельних об'єктів.

Тому управління потоками вторинних ресурсів у будівництві є актуальною та перспектив-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

ною науковою проблемою. Урахування аспектів алгоритму програмного модуля визначення системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ) будівельної галузі та їх

практичне впровадження сприяє підвищенню ефективності будівельних процесів та розвитку сталого будівництва.

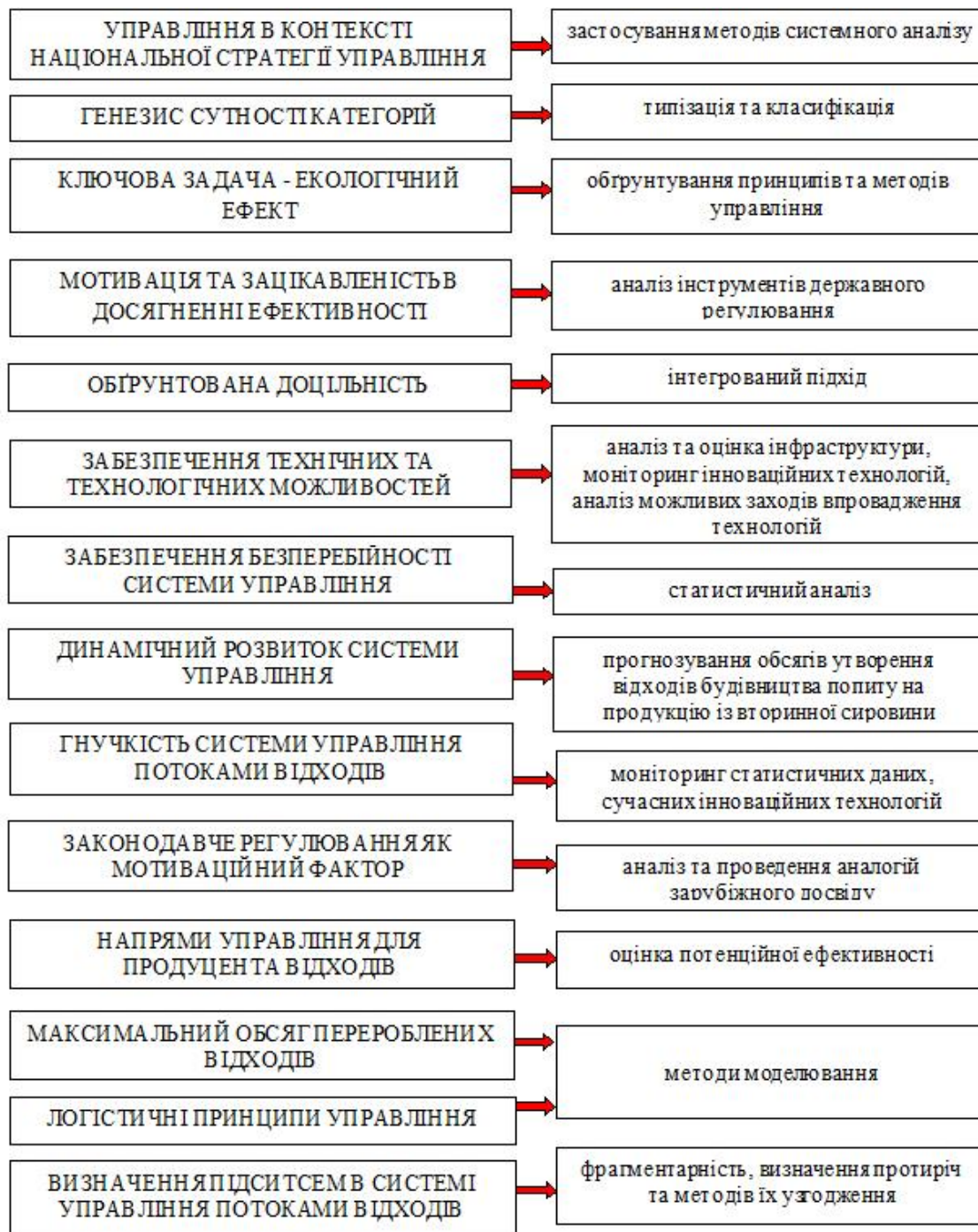


Рис. 1 . Обґрунтування доцільності створення системи комплексного управління потоками будівельних відходів як вторинної сировини

Fig. 1 . Rationale for creating a system of integrated management of construction waste flows as secondary raw materials

Висновки

Проаналізовано тенденції управління потоками вторинних ресурсів у будівельній галузі, що визначає науково-прикладну необхідність проведення досліджень у розрізі політики збереження матеріалів та зменшення енергетичних витрат, а також забезпечення екологічної, економічної та соціальної безпеки регіонів, підвищення економічної ефективності виробництва за рахунок використання інтенсивних факторів, що дозволяють збільшити обсяг національного доходу з мінімальними капітальними вкладеннями, зниження матеріальних витрат у загальній собівартості створення кінцевого продукту будівництва.

Отже, врахування потенціалу обробки відходів будівництва та стратегічної мети ефективного управління потоками відходів будівництва в рамках системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ), що передбачає максимальне залучення цих відходів до переробки, сприяє:

класифікації та вивченню корисності відходів будівництва для прогнозування можливих напрямів їх використання;

розробці та впровадженню технологій переробки різних видів відходів будівництва та зносу, із фокусом на мінімізації витрат та дотриманні екологічних стандартів;

установленню економічно обґрунтованих сфер застосування різних технологічних схем переробки відходів будівництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Арутюнян І. А., Шуваєв А. А. Екологічно-економічна доцільність комплексного управління потоками відходів в будівельній галузі. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2020. № 18. С. 9–17. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/217692>
2. Державний класифікатор України. *Класифікатор відходів ДК 005-96*. URL: <http://plast.vn.ua/DK005-96.html>
3. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. *Екологічний паспорт Запорізької області за 2020 рік*. URL: https://www.zoda.gov.ua/files/WP_Article_File/original/000142/142094.pdf
4. Павлов І. Д., Полтавець М. О., Павлов Ф. І. Системне управління організаційно-технологічною надійністю виробничих процесів в будівництві. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2020. № 17. С. 53–61. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/205011>
5. «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року». Розпорядження Кабінету міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>
6. Розпорядження Кабінету міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>
7. Рыщенко М. И., Федоренко Е. Ю., Лисачук Г. В., Шабанова Г. Н. Техногенные материалы и промышленные отходы как источник сырья для производства строительных материалов. *Экология и промышленность*. 2013. № 4. С. 10–16.
8. Фісуненко П., Герасимова О. Напрями зменшення ризиків воєнного екоциду за допомогою рециклінгу будівельних відходів в девелопменті нерухомості. *Економіка та суспільство*. 2022. № 45. С. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-41>
9. Шуваєв А. Інструментарій залучення відходів будівництва та зносу до повторного господарського циклу в контексті їх класифікаційних ознак. *Грааль науки*. 2021. № 10. С. 600–605. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.19.11.2021.114>
10. Li H., Chen Z., Yong L., Kong S. C. W. Application of integrated GPS and GIS technology for reducing construction waste and improving construction efficiency. *Automation in Construction*. 2005. Vol. 14. Iss. 3. P. 323–331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.007>
11. Pradhananga N., Teizer J. Automatic spatio-temporal analysis of construction site equipment operations using GPS data. *Automation in Construction*. 2013. Vol. 29. P. 107–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.004>

12. Puskás A., Corbu O., Szilágyi H., Moga L. M. Construction waste disposal practices: The recycling and recovery of waste. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2014. Vol. 191. P. 1313–1321. DOI: <https://doi.org/10.2495/sc141102>

A. A. SHUVAEV^{1*}

^{1*}Dep. «Industrial and Civil Engineering», Zaporizhzhia National University, Sobornyi ave., 226, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (096) 180 45 99, e-mail shywazp@gmail.com, ORCID 0000-0002-4919-485X

Tools for the Involvement of Construction and Demolition Waste in the Repeated Production Cycle

Purpose. This paper aims to analyze and classify construction and demolition waste. It is necessary that this classification not only reflects statistical data on waste generation, but also serves as an information basis for the integrated waste management system (IWMS). The main task of this system is to maximize the involvement of waste in economic recycling and to objectively reflect the technological capabilities of its processing. This is extremely important in the context of the implementation of European waste management principles and the implementation of the National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030. **Methodology.** The article considers the problems of construction waste management within the framework of the National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030, which provides for the implementation of measures and principles of waste management, including construction waste. The author analyzes the management problems in the field of construction and demolition waste, which substantiates the need to classify construction waste with the simultaneous harmonization of processing methods and technologies. Construction activities are inextricably linked to the management of various types of resources, among which secondary materials play a key role in the implementation of construction processes. The ability to effectively manage the flows of these secondary resources is critical to ensuring the sustainability and efficiency of construction production. In this context, the study of the importance of managing the flows of secondary resources becomes an integral part of strategies for optimizing construction processes. **Findings.** Construction waste from the demolition of buildings and structures is unique due to its size and the need to prepare it for primary crushing. This is especially true in the context of implementing the concept of renovation of the outdated housing stock. Various static and dynamic methods of destruction of building materials, in particular, impact and vibration, have been investigated, with dynamic methods being characterized by lower energy consumption. **Originality.** The work reflects the formation of theoretical and methodological directions based on the use of recycled materials in construction, as well as a comparative characterization of various methods of destruction of building materials. **Practical value.** The possibilities of recycling construction waste, in particular, their maximum involvement in recycling, which meets the goals of the Strategy of Ukraine, provides 50% of waste recycling.

Keywords: management of construction and demolition waste streams; classification; recycling technology; secondary raw materials

REFERENCES

1. Arutiunian, I. A., & Shuvaev, A. A. (2020). Environmentally-economic feasibility of integrated management of waste flows in the construction industry. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 18, 9-17. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/217692> (in Ukrainian)
2. *Derzhavnyy klasyfikator Ukrayiny. Klasyfikator vidkhodiv DK 005-96*. Retrieved from <http://plast.vn.ua/DK005-96.html> (in Ukrainian)
3. *Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. Environmental passport of Zaporizhzhia region for 2020*. Retrieved from https://www.zoda.gov.ua/files/WP_Article_File/original/000142/142094.pdf (in Ukrainian)
4. Pavlov, I. D., Poltavets, M. O., & Pavlov, F. I. (2020). System management of organizational-technological reliability of production processes in building. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 17, 53-61. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/205011> (in Ukrainian)
5. «Pro skhvalennya Natsional'noyi stratehiyi upravlinnya vidkhodamy v Ukrayini do 2030 roku». *Rozporядzhennya Kabinetu ministriv Ukrayiny vid 8 lystopada 2017 r. No 820-r*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text> (in Ukrainian)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

6. *Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated November 8, 2017 No. 820-p. «On Approval of the National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030»*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text> (in Ukrainian)
7. Ryshchenko, M. I., Fedorenko, E. Y., Lisachuk, G. V., & Shabanova, G. N. (2013). Tekhnogennyye materialy i promyshlennyye otkhody kak istochnik syr'ya dlya proizvodstva stroitelnykh materialov. *Ecology and industry*, 4, 10-16. (in Russian)
8. Fisunen, P., & Herasymova, O. (2022). Ways to reduce the risks of military ecocide through recycling of construction waste in real estate development. *Economy and Society*, 45, 1-5. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-41> (in Ukrainian)
9. Shuvaev, A. (2021). Instrumentariy zaluchennya vidkhodiv budivnytstva ta znosu do povtornoho hospodars'koho tsykladu v konteksti yikh klasyfikatsiynykh oznak. *Grail of Science*, 10, 600-605. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.19.11.2021.114> (in Ukrainian)
10. Li, H., Chen, Z., Yong, L., & Kong, S. C. W. (2005). Application of integrated GPS and GIS technology for reducing construction waste and improving construction efficiency. *Automation in Construction*, 14(3), 323-331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.007> (in English)
11. Pradhananga, N., & Teizer, J. (2013). Automatic spatio-temporal analysis of construction site equipment operations using GPS data. *Automation in Construction*, 29, 107-122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.004> (in English)
12. Puskás, A., Corbu, O., Szilágyi, H., & Moga, L. M. (2014). Construction waste disposal practices: the recycling and recovery of waste. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 191, 1313-1321. DOI: <https://doi.org/10.2495/sc141102> (in English)

Надійшла до редколегії: 07.08.2023

Прийнята до друку: 08.12.2023