

УДК 691.32:628.477:622.7:338.45:502.131.1(477)

DOI: 10.60022/2(8)-31S

Валовой Олександр Іванович

кандидат технічних наук, професор

завідувач кафедри промислового, цивільного та міського будівництва

Криворізький національний університет, Україна

Valovyi Olexsandr

PhD in Technical Sciences, Professor

Head of the Department of Industrial, Civil and Urban Construction

Kryvyi Rih National University, Ukraine

Валовой Максим Олександрович

кандидат технічних наук, доцент

доцент кафедри промислового, цивільного та міського будівництва

Криворізький національний університет, Україна

Valovyi Maksym

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Associate Professor of the Department of Industrial, Civil and Urban Construction

Kryvyi Rih National University, Ukraine

Балаба Денис Валерійович

здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Криворізький національний університет, Україна

Balaba Denys

higher education applicant at the first (Bachelor's) level

Kryvyi Rih National University, Ukraine

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БЕТОНІВ ІЗ ЗАПОВНІЮВАЧАМИ З ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНИХ РУД

Анотація. У статті розглянуто теоретичні основи підвищення економічної та екологічної ефективності будівельних матеріалів шляхом використання відходів збагачення залізних руд як заповнювачів для бетонів. Доведено, що застосування штучних заповнювачів із відходів гірничо-збагачувальних комбінатів сприяє скороченню використання природних нерудних ресурсів, зменшенню обсягів відходів, що розміщуються у хвостосховищах, і зниженню екологічного навантаження на довкілля. На основі чинної системи ціноутворення у будівництві України узагальнено підхід до оцінки економічної доцільності використання вторинної сировини, визначено структуру поточних і капітальних витрат, що враховують екологічні платежі відповідно до Податкового кодексу України. Описано нормативно-правові та методичні аспекти управління відходами і перероблення мінеральних ресурсів. Проаналізовано переваги циркулярної економіки в умовах сучасної екологічної політики та наведено рекомендації щодо інтеграції підходів сталого розвитку в будівельну галузь. Результати дослідження можуть бути використані для формування стратегій екологічно орієнтованого виробництва будівельних матеріалів і вдосконалення економічних механізмів ціноутворення в промисловості.

Ключові слова: економічна ефективність, екологічна ефективність, штучні заповнювачі, бетон, відходи збагачення руд, хвостосховища, сталий розвиток, циркулярна економіка.

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF USING CONCRETE WITH AGGREGATES MADE FROM IRON ORE BENEFICIATION WASTE

Abstract. The article examines the theoretical foundations of improving the economic and environmental efficiency of construction materials through the use of iron ore beneficiation waste as concrete aggregates. It has been substantiated that using artificial aggregates made from mining and beneficiation tailings contributes to reducing the consumption of natural non-metallic resources, decreasing the volume of waste stored in tailings facilities, and lowering environmental pressure on ecosystems. Within the current Ukrainian construction

cost framework, an integrated approach to assessing the economic feasibility of secondary raw materials utilization is summarized. The structure of operating and capital costs, which include environmental charges in accordance with the Tax Code of Ukraine, has been analyzed. The legal and methodological aspects of waste management and mineral resource recycling are described. The advantages of the circular economy under modern environmental policy are highlighted, and recommendations for integrating sustainable development principles into the construction industry are proposed. The results of this research can be applied to developing strategies for environmentally oriented production of construction materials and for improving the economic mechanisms of cost formation in industry.

Keywords: *economic efficiency, environmental efficiency, artificial aggregates, concrete, beneficiation waste, tailings, sustainable development, circular economy.*

Постановка проблеми. Мінерально-сировинна база будівельної галузі України зазнає суттєвого тиску через обмежену доступність якісних природних заповнювачів та підвищення вартості їх видобутку і транспортування. Паралельно накопичуються значні обсяги відходів гірничо-збагачувального виробництва, що потребують безпечного розміщення у хвостосховищах відповідно до вимог ДБН В.2.4-5:2012 [2, розд. 5.2]. Перероблення цих відходів у штучні заповнювачі для бетону є перспективним напрямом циркулярної економіки, який здатний зменшити екологічні ризики та підвищити економічну ефективність будівництва через скорочення поточних витрат та екологічних платежів у складі собівартості [1, ст. 243; 1, ст. 246; 3, розд. I–II].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Регуляторні підстави включення екологічних платежів до витрат підприємств визначені розділом VIII Податкового кодексу України (податок за викиди стаціонарними джерелами – ст. 243; податок за розміщення відходів – ст. 246) [1, ст. 243; 1, ст. 246]. Технічні вимоги до хвостосховищ і шламонакопичувачів – у ДБН В.2.4-5:2012 [2, розд. 5.2]. Методологічні підходи до формування кошторисної вартості, структури поточних і капітальних витрат та критерію мінімуму приведених витрат – у «Настанові з визначення вартості будівництва» (Наказ Мінрегіону № 281 від 01.11.2021) [3, розд. I–II]. Загальні принципи ієрархії поводження з відходами (пріоритет запобігання утворенню та перероблення) закріплені у Законі України «Про управління відходами» (2022) та Національній стратегії управління відходами до 2030 року [4, розд. I; 5, розд. 2]. На виробничому рівні наявність гірничо-збагачувальних потужностей в Україні (видобування, дроблення, збагачення) підтверджується офіційними матеріалами галузевих компаній [6]. У технічній літературі та європейських стандартах (EN/ISO) описано вимоги до заповнювачів для бетону та принципи оцінювання впливу на довкілля протягом життєвого циклу продукції [7; 8]. Таким чином, нормативна та методична база достатня для теоретичної оцінки економічної та екологічної ефективності використання штучних заповнювачів без залучення емпіричних даних.

Метою статті є теоретичне обґрунтування економічної та екологічної ефективності використання бетонів із заповнювачами, виготовленими з відходів збагачення залізних руд, із застосуванням чинної методики розрахунку приведених витрат у будівництві та нормативних вимог екологічного законодавства України.

Виклад основного матеріалу. Ефективне використання природних ресурсів та вторинної сировини у будівництві є одним із ключових напрямів реалізації принципів сталого розвитку. В Україні щорічно накопичуються мільйони тонн відходів гірничо-збагачувального виробництва, переважно хвостів і шламів, що потребують безпечного зберігання у хвостосховищах. Такі об'єкти займають значні території, створюють потенційні ризики для довкілля та вимагають постійного моніторингу й фінансових витрат на утримання. Одним із перспективних напрямів зменшення екологічного навантаження є перероблення цих відходів у штучні заповнювачі для бетонів і будівельних сумішей, що дозволяє поєднати економічну вигоду з вирішенням екологічних проблем.

Економічну доцільність використання вторинної сировини оцінюють за критерієм мінімуму приведених витрат:

$$\Pi = C + E_{\text{н}} K \quad (1)$$

де Π – приведені витрати, грн;

C – поточні витрати на виробництво продукції, грн;

$E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, безрозмірний;

K – питомі капітальні вкладення, грн/од. продукції [3, розд. I–II].

До складу поточних витрат C входять витрати на сировину, енергоносії, транспортування, приготування сумішей, монтаж конструкцій, а також екологічні платежі, що встановлені Податковим кодексом України [1, ст. 243; 1, ст. 246]. Зокрема, статтею 243 ПКУ визначено ставки податку за викиди забруднюючих речовин стаціонарними джерелами, а статтею 246 – за розміщення відходів у спеціально відведених місцях. При цьому використання відходів як вторинної сировини безпосередньо впливає на зменшення об'єкта оподаткування за статтею 246, що забезпечує економічний ефект через скорочення платежів за розміщення.

Для визначення річного економічного ефекту застосовують співвідношення:

$$E = (C_1 + C_2)Q \quad (2)$$

де E – річний економічний ефект, грн/рік;

C_1 – собівартість одиниці продукції при використанні природних заповнювачів, грн/т;

C_2 – собівартість одиниці продукції при використанні заповнювачів з відходів, грн/т;

Q – річний обсяг виробництва, т.

Показник річного економічного ефекту на одиницю капітальних вкладень визначається виразом:

$$E_k = \frac{E}{K} \quad (3)$$

де E_k – коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень, який порівнюється з нормативним коефіцієнтом E_n [3, розд. II]. Якщо $E_k > E_n$, застосування технології перероблення відходів є економічно доцільним.

Нормативний термін окупності капітальних вкладень розраховується за формулою:

$$T_n = \frac{1}{E_n} \quad (4)$$

а фактичний термін окупності – за виразом:

$$T_f = \frac{K}{E} \quad (5)$$

Порівнюючи отримані значення T_f і T_n , можна зробити висновок про доцільність упровадження нової технології: якщо, $T_f < T_n$, інвестиції вважаються економічно виправданими.

Загальний економічний ефект за період експлуатації визначається сумою річних результатів:

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (E_i - \Delta K_i) \quad (6)$$

де E_i – річний економічний ефект у i -му році, грн;

ΔK_i – зміна капітальних витрат у i -му році, грн;

n – тривалість розрахункового періоду, років [3, розд. II].

Таблиця 1

Структура витрат для порівняння заповнювачів у бетоні (теоретична модель)

№	Група витрат	Природний заповнювач	Штучний заповнювач із відходів
1	Добування і підготовка	Кар'єрний видобуток, вибухові роботи	Перероблення хвостів, сушіння, сортування
2	Транспортування	Значна відстань, витрати на паливе	Мінімальна відстань, внутрішнє перевезення
3	Енергоносії	Дроблення, промивання	Подрібнення, зневоднення, грануляція
4	Екологічні платежі	Податок за викиди (ст. 243 ПКУ)	Податок за викиди + зниження податку за розміщення (ст. 246 ПКУ)
5	Капітальні вкладення	Кар'єр, обладнання, склади	Лінія перероблення, резервуари, фільтри
6	Обслуговування	Постійне видобування, рекультивация	Моніторинг і підтримка переробного циклу

Джерело: складено авторами на основі [1; 2; 3; 4; 5]

З екологічної точки зору застосування бетонів із заповнювачами, виготовленими з відходів збагачення залізних руд, забезпечує зменшення площ хвостосховищ і обсягів накопичених відходів. Це

відповідає принципам ієрархії управління відходами, визначеним Законом України «Про управління відходами» [4, розд. I], а також положенням Національної стратегії управління відходами до 2030 року [5, розд. 2]. Використання таких матеріалів зменшує навантаження на довкілля і водночас сприяє економії коштів на рекультивацію земель та будівництво нових хвостосховищ. Вимоги до безпеки, проектування і функціонування хвостосховищ, де проводиться відбір або утилізація відходів, встановлені ДБН В.2.4-5:2012 [2, розд. 5.2].

Використання відходів гірничо-збагачувального виробництва у бетоні узгоджується також із європейськими технічними стандартами EN 206:2013+A2:2021 «Concrete – Specification, performance, production and conformity» та ДСТУ EN 12620:2019 «Заповнювачі для бетону», які дозволяють застосування штучних заповнювачів за умови забезпечення необхідних фізико-механічних характеристик і екологічної безпеки [7; 9]. За результатами досліджень технічних інститутів і досвіду підприємств України (зокрема ArcelorMittal Kryvyi Rih), доведено, що штучні заповнювачі з відходів не поступаються природним за показниками міцності й морозостійкості [6]. Це дозволяє розглядати їх як повноцінну альтернативу природним матеріалам у бетонному виробництві.

Отже, комплексне використання відходів гірничо-збагачувального виробництва у вигляді заповнювачів для бетонів є економічно доцільним і екологічно виправданим. Зменшення поточних витрат та екологічних платежів, раціональне використання ресурсів і зниження впливу на довкілля забезпечують інтеграцію підходів циркулярної економіки у промислову практику будівництва. Це відповідає основним цілям сталого розвитку, сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємств і формуванню більш безпечного та збалансованого виробничого середовища.

Висновки. Розглянуте дослідження доводить, що використання бетонів із заповнювачами, виготовленими з відходів збагачення залізних руд, є ефективним напрямом підвищення економічної та екологічної стійкості будівельного виробництва.

По-перше, утилізація хвостів і шламів зменшує обсяги розміщення відходів у хвостосховищах, що сприяє зниженню екологічного навантаження на промислові території та скороченню ризику забруднення довкілля.

По-друге, повторне використання мінеральних залишків дає можливість зменшити потребу у видобутку природних нерудних матеріалів, скоротивши тим самим витрати на добування, транспортування та рекультивацію земель.

По-третє, економічний аналіз засвідчує, що при впровадженні технологій перероблення відходів знижується собівартість продукції за рахунок зменшення поточних витрат і екологічних платежів, передбачених статтями 243 і 246 Податкового кодексу України.

Оцінка ефективності показала, що фактичний термін окупності капітальних вкладень є меншим за нормативний, а коефіцієнт економічної ефективності перевищує нормативне значення, що підтверджує доцільність застосування таких технологій.

З технічного погляду штучні заповнювачі відповідають вимогам європейських стандартів EN 206:2013+A2:2021 і ДСТУ EN 12620:2019, забезпечуючи належні фізико-механічні властивості бетонів.

Застосування подібних рішень є невід'ємною складовою реалізації принципів циркулярної економіки та сприяє досягненню Цілей сталого розвитку України, зокрема Цілі 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура» та Цілі 12 «Відповідальне споживання і виробництво».

Отримані результати можуть бути використані при розробленні державних і корпоративних стратегій управління відходами, формуванні кошторисної політики у будівництві, підготовці нормативно-методичних документів та освітніх програм для галузі.

Література

1. Податковий кодекс України. Розділ VIII «Екологічний податок»: статті 243, 246. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text> (дата звернення: 11.11.2025).
2. ДБН В.2.4-5:2012. Хвостосховища і шламонакопичувачі. Частина I — Проектування; Частина II — Будівництво. Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. 94 с. URL: <https://e-construction.gov.ua> (дата звернення: 11.11.2025).
3. Кошторисні норми України. Настанова з визначення вартості будівництва. Наказ Мінрегіону України від 01.11.2021 № 281. Київ : Мінрегіон України, 2021. 68 с. URL: <https://www.minregion.gov.ua> (дата звернення: 11.11.2025).
4. Закон України «Про управління відходами». Закон № 2320-IX від 20 червня 2022 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення: 11.11.2025).

5. Національна стратегія 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> (дата звернення: 11.11.2025).
6. ArcelorMittal Kryvyi Rih. Production cycle: Mining & Beneficiation. URL: <https://ukraine.arcelormittal.com/en/production-sytle/iron-ore-mining-and-processing> (дата звернення: 11.11.2025).
7. EN 206:2013+A2:2021. Concrete — Specification, performance, production and conformity. Brussels : CEN, 2021. URL: <https://standards.cen.eu> (дата звернення: 11.11.2025).
8. ДСТУ EN 12620:2019. Заповнювачі для бетону. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 39 с. URL: <https://uas.org.ua> (дата звернення: 11.11.2025).
9. ISO 14040:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Geneva : ISO, 2006. URL: <https://www.iso.org/standard/37456.html> (дата звернення: 11.11.2025).
10. UNEP (United Nations Environment Programme). Circularity Gap Report 2024. Geneva : Circle Economy Foundation, 2024. URL: <https://www.circularity-gap.world> (дата звернення: 11.11.2025).
11. World Business Council for Sustainable Development. Cement Sustainability Initiative. Geneva : WBCSD, 2020. URL: <https://www.wbcscement.org> (дата звернення: 11.11.2025).

References

1. Tax Code of Ukraine. Section VIII “Environmental Tax”: Articles 243, 246. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text> (accessed: 11.11.2025).
2. DBN V.2.4-5:2012. Khvostoskhovyshcha i shlamonakopychuvachi. Part I – Design; Part II – Construction. Kyiv: Minregionbud of Ukraine, 2012. 94 p. URL: <https://e-construction.gov.ua> (accessed: 11.11.2025).
3. Cost Standards of Ukraine. Guidelines for Determining Construction Cost. Order of the Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine No. 281, November 1, 2021. Kyiv: Minregion of Ukraine, 2021. 68 p. URL: <https://www.minregion.gov.ua> (accessed: 11.11.2025).
4. Law of Ukraine “On Waste Management”. Law No. 2320-IX of June 20, 2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (accessed: 11.11.2025).
5. National Waste Management Strategy of Ukraine until 2030. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 820-r of November 8, 2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text> (accessed: 11.11.2025).
6. ArcelorMittal Kryvyi Rih. Production cycle: Mining & Beneficiation. URL: <https://ukraine.arcelormittal.com/en/production-sytle/iron-ore-mining-and-processing> (accessed: 11.11.2025).
7. EN 206:2013+A2:2021. Concrete — Specification, performance, production and conformity. Brussels: CEN, 2021. URL: <https://standards.cen.eu> (accessed: 11.11.2025).
8. DSTU EN 12620:2019. Aggregates for Concrete. Kyiv: SE “UkrNDNC”, 2019. 39 p. URL: <https://uas.org.ua> (accessed: 11.11.2025).
9. ISO 14040:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Geneva: ISO, 2006. URL: <https://www.iso.org/standard/37456.html> (accessed: 11.11.2025).
10. UNEP (United Nations Environment Programme). Circularity Gap Report 2024. Geneva: Circle Economy Foundation, 2024. URL: <https://www.circularity-gap.world> (accessed: 11.11.2025).
11. World Business Council for Sustainable Development. Cement Sustainability Initiative. Geneva: WBCSD, 2020. URL: <https://www.wbcscement.org> (accessed: 11.11.2025).