

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-280-4-25-36>

УДК 500.3:006.354:504.064.4:658.567

## ПОТЕНЦІАЛ УТИЛІЗАЦІЇ БЕТОННИХ ВІДХОДІВ НА ДЕОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ: ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ

Маслош О.В., Подкуйко В.М.

## POTENTIAL FOR UTILIZATION OF CONCRETE WASTE IN DECONTAMINATED TERRITORIES: ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS

Maslosh O.V., Podkuiko V.M.

Луганська область в результаті активних бойових дій отримала найбільш зруйновану інфраструктуру, оскільки в цю зону потрапили населені пункти з потужними промисловими об'єктами, багатоквартирними будинками, соціальною інфраструктурою та мостами. Мільйони кубічних метрів бетонних відходів, що утворилися в процесі такої руйнації, містять різні хімічні елементи та забруднення від вибухових речовин, такі як важкі метали, вуглеводні, ароматичні сполуки, нітрати, нітриди, хлориди.

Для прискорення нейтралізації забруднень у післявоєнному відновленні, суспільство може вживати заходи з утилізації та вторинного використання бетонних відходів для запобігання їхньому нагромадженню в навколишньому середовищі. Утилізація та використання бетонних відходів у післявоєнному відновленні повинні стати стратегічною метою, спрямованою на поліпшення управління відходами, зменшення впливу на навколишнє середовище та створення стійкого будівельного сектору.

В роботі показано, що потенціальними перевагами вторинного використання бетонних відходів будуть зменшення відходів, викидів CO<sub>2</sub>, підвищення енергоефективності виробництва первинного бетону, мінімізація викидів забруднень. Своєю чергою це сприятиме впровадженню засад кругової економіки, на підставі яких повинно відбуватися післявоєнне відновлення, та стимулюванню залучення інноваційних технологій переробки бетонних відходів.

Утилізація бетонних відходів може відбуватися через різні стратегії, такі як сортування та рециклінг, використання вторинного бетону в конструкціях, виробництво вторинного бетону з домішками та співпраця з іншими галузями.

В роботі показано недоліки та переваги кожної стратегії, надано порівняльні характеристики видів

рециклінгу, що дає уявлення про доцільність використання кожної стратегії в різних умовах.

Ефективна утилізація бетонних відходів повинна не тільки допомагати зберігати природні ресурси та зменшувати негативний вплив на довкілля, але і мати вагомі економічні переваги, тому в роботі виділено критерії екологічних та економічних факторів, які можуть бути використані при визначенні доцільності тієї чи іншої стратегії утилізації бетонних відходів.

**Ключові слова:** післявоєнне відновлення, бетонні відходи, технології утилізації бетонних відходів, рециклінг, потенціал утилізації бетонних відходів, стратегія утилізації бетонних відходів, екологічні фактори, економічні фактори, ефективні стратегії утилізації бетону, вторинний бетон.

**Вступ.** Світове співтовариство розуміє екологічну цінність довкілля та докладає чимало зусиль до його збереження, адже воно є запорукою нашого добробуту та життя на планеті. Однак, у реаліях війни на території України, негативний вплив на екосистеми стає надзвичайно актуальним. Це пов'язано зі значним зростанням технологій та індустріалізацією суспільства, а також масштабними руйнуваннями інфраструктури населених пунктів в зоні бойових дій.

Військові конфлікти спричинюють серйозні екологічні проблеми, такі як забруднення ґрунтів, водойм та повітря. Руйнування підприємств, об'єктів інфраструктури утворюють тисячі кубічних метрів бетонних відходів, які потребують утилізації. В зв'язку з цим стає надзвичайно важливим порівняння стратегій та технологій утилізації бетонних відходів для обґрунтування

умов максимального збереження природних ресурсів та мінімізації негативного впливу на екосистеми.

Усвідомлення взаємозв'язку екологічних та економічних аспектів утилізації бетонних відходів є важливим етапом у розробці стійкої та результативної моделі відновлення післявоєнних руйнувань. Такий підхід допоможе досягти балансу між потребами сучасного суспільства та збереженням екологічної рівноваги, що є ключовим для сталого розвитку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Необхідності врахування екологічної складової при післявоєнному відновленні України присвячено достатню кількість наукових праць. Але на сучасному етапі проведення дослідження саме екологічної складової на окупованих територіях є ускладненим, що пов'язано з відсутністю доступу до реальних даних. Аналіз наукових публікацій вказує на те, що інформація про кількість та якість вибухових речовин, що застосовуються в зоні бойових дій, залишається закритою і недоступною для наукової спільноти.

Крім того, емпіричне встановлення складу забруднюючих речовин та визначення динаміки їхньої зміни в навколишньому середовищі на цей момент також неможливе. Відсутність доступу до отримання зразків атмосфери, води та ґрунту для подальших аналізів ускладнює можливість вивчення екологічної ситуації на цих територіях.

Не менш важливим фактором є відсутність інформації навіть в офіційних статистичних джерелах щодо кількості пошкоджених об'єктів на окупованих територіях та в зоні бойових дій. Це створює значні труднощі для розробки повноцінних стратегій екологічного відновлення та збереження природних ресурсів у відсутності базових даних.

Щодо технологій переробки бетону, то ці дослідження постійно вдосконалюються. Наприклад, у роботах [1-3] надані наукові дані про ефективність різних методів переробки та їх впливу на довкілля. Важливими також є роботи, які досліджують світовий досвід переробки бетонних відходів, зокрема [4-7], де висвітлено передовий підхід до вирішення цієї проблеми.

Окрім того, суттєве значення для нашого дослідження мають роботи, присвячені вивченню еколого-економічної обґрунтованості переробки бетонних відходів [7-8]. Отримані результати можуть сприяти вдосконаленню систем управління відходами в будівельній сфері.

Деякі дослідження, такі як [5-6,8-9], зосереджуються на екологічному менеджменті відходів будівельного виробництва. Це важливий внесок у розуміння проблеми, проте виникає необхідність подальших досліджень, щоб з'ясувати конкретні шляхи реалізації запропонованих підходів та їхній вплив на практику утилізації бетону

Усі ці дослідження надають цінні висновки, проте слід відзначити, що деякі дослідники залишають питання щодо шляхів досягнення бажаного результату без конкретних рекомендацій. Таким чином, пріоритетним завданням для подальших наукових досліджень є розробка конкретних практичних рекомендацій та технологічних підходів для успішної реалізації переробки бетонних відходів у післявоєнному відновленні країни.

Разом з тим, багато дослідників в роботах викладає своє бачення бажаного результату, але ніяким чином не надає шляхи досягнення цього результату.

Тому **метою статті** є дослідження потенціалу утилізації бетонних відходів на деокупованих територіях у післявоєнному періоді з урахуванням екологічних та економічних аспектів.

**Виклад основного матеріалу.** Луганська область внаслідок активних бойових дій зазнала найбільших руйнувань інфраструктури. Це пов'язано з тим, що в зоні бойових дій опинилися населені пункти з потужними промисловими об'єктами, багатоквартирними будинками, соціальною інфраструктурою та мостами.

За словами колишнього голови Луганської обласної військової адміністрації Сергія Гайдаєстаном на травень 2022р на території області було зруйновано 11300 будинків, серед яких 3188 багатоповерхівки різного призначення [10] з бетонних конструкцій, залишки яких і дадуть переважну кількість бетонних відходів.

Очікуваною мінімальною орієнтовною кількістю бетонних відходів тільки зі зруйнованих будинків буде 3,757млн м<sup>3</sup>(з умов розрахунку зруйнованих 3188 багатоповерхових будинків, серед яких за нашими оцінками 90% складають 5 поверхові стандартні будинки 60-70 років минулого століття та 10% 9 поверхові стандартні будинки 80-х років минулого століття, для будівництва яких в середньому потрібно 133 м<sup>3</sup> бетонних виробів на кожен поверх та 460,4 м<sup>3</sup> на підвальні приміщення [11]).

Бетонні відходи, які утворюються після бойових дій, можуть містити різні хімічні елементи та забруднення внаслідок руйнування будівель, вибухів, а також можливого використання хімічних речовин або бойових засобів. Основні забруднення, які можуть бути присутні в бетонних відходах після бойових дій, та їх дію на організм людини наведено в табл. 1.

Суспільство має і може вживати заходів для пришвидшення нейтралізації забруднень довкілля. Одним з найважливіших та найпоширеніших методів є утилізація та вторинне використання бетонних відходів, що

допоможе запобігти їх викиданню в природне середовище.

Ці заходи повинні включати:

- розробку та підтримку ініціатив вторинного використання бетонних матеріалів;
- екологічну реконструкцію постраждалих територій з урахуванням екологічних аспектів, що стимулюватиме використання природних матеріалів, де це можливо;

- застосування екологічно чистих технологій переробки та очищення, які мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище.

Таблиця 1

**Вплив забруднень бетонних відходів на довкілля та здоров'я людей**

Забруднення	Токсична дія на людину	Вплив на навколишнє середовище
Важкі метали	Накопичення в організмі, нейротоксичність, канцерогенність	Забруднення ґрунту, водоймищ та рослин
Вуглеводні	Нейротоксичність, алергенні впливи	Забруднення ґрунту та водних ресурсів, шкода флорі та фауні
Поліциклічні ароматичні сполуки	Канцерогенність, мутагенність	Забруднення повітря та ґрунту, шкода для біорізноманіття
Нітрати та нітроти	Метгемоглобінемія, вплив на розвиток нервової системи	Забруднення ґрунту та водних ресурсів, екотоксикологічний вплив
Хлориди	Шкода ниркам, репродуктивний токсин	Забруднення ґрунту та водних ресурсів

складено авторами за [12-13]

Таблиця 2

**Переваги утилізації бетонних відходів**

Перевага	Зміст
зменшення відходів	утилізація бетонних відходів дозволяє зменшити обсяг сміття та відходів, які потрапляють на сміттєзвалища. це сприяє поліпшенню управління відходами та збереженню природних ресурсів
відновлення ресурсів	переробка бетонних відходів дозволяє відновити корисні матеріали, які можна використовувати в будівництві та інших галузях. це сприяє раціональному використанню ресурсів та зменшенню потреби в природних матеріалах
зменшення викидів CO <sub>2</sub>	виробництво цементу, який є ключовою складовою бетону, включає велику кількість викидів CO <sub>2</sub> , використання переробленого бетону може допомогти зменшити екологічний слід будівництва та зменшити викиди парникових газів.
енергоефективність	виробництво бетону з нових матеріалів вимагає більше енергії порівняно з використанням переробленого бетону, утилізація бетонних відходів може сприяти збереженню енергії та зменшенню витрат на виробництво
сприяння круговій економіці	утилізація бетонних відходів є важливою складовою кругової економіки, де матеріали переробляються та використовуються повторно, замість того щоб бути викинутими, це сприяє створенню стійких та ефективних систем використання ресурсів
економія ресурсів та земель	використання переробленого бетону може зменшити потребу у вилученні нових матеріалів та виділенні нових земель під видобуток, це важливо для збереження природних ресурсів та запобігання деградації ґрунту
стимулювання інновацій	розвиток та впровадження технологій для утилізації бетонних відходів може стимулювати інновації та розвиток галузі переробки будівельних відходів
мінімізація викидів забруднень	переробка бетону може допомагати у мінімізації викидів забруднюючих речовин та хімічних забруднень в природу

Утилізація бетонних відходів є найбільш доцільним заходом з ряду причин, включаючи екологічні, економічні та соціальні аспекти (табл. 2).

Узагальнюючи, утилізація бетонних відходів є стратегічним та доцільним заходом, спрямованим на поліпшення управління відходами, зменшення впливу на навколишнє середовище та створення стійкого будівельного сектору.

Використання вторинного бетону є важливим кроком у стратегії екологічної та економічної доцільної утилізації бетонних відходів. Цей підхід впливає з усвідомлення важливості оптимізації природокористування та скорочення викидів на сміттєзвалища.

Виробництво традиційного бетону вимагає значних кількостей сировини та великих енергетичних витрат, при цьому супроводжується великими викидами CO<sub>2</sub>. Використання вторинного бетону [10] дозволяє зменшити ці негативні впливи, оскільки його виробництво вимагає менше енергії та зменшує кількість викидів (табл. 3).

Утилізація бетонних відходів після бойових дій вимагає специфічних стратегій та підходів через можливу наявність об'єктів, які можуть бути пошкоджені чи зруйновані під час конфлікту. Нижче проводиться опис різних

стратегій утилізації бетонних відходів з урахуванням технологій рециклінгу, переробки та виготовлення вторинного бетону. Кожна стратегія розглядається з точки зору технічної складності та викидів CO<sub>2</sub>.

#### Напрямок 1. Сортування та рециклінг

Передбачає роздільний збір відходів (відходи можна розділяти за типами, такими як арматура, цегла, бетонні брили та інші матеріали) та рециклінг (процес переробки бетонних відходів для виготовлення нового бетону або інших будівельних матеріалів).

Рециклінг [14-18] може бути механічний, термічний, хімічний

У контексті вивчення різних методів рециклінгу бетонних відходів можна визначити їхні переваги, недоліки та потенційні сфери застосування. Механічний рециклінг відзначається зменшенням викидів CO<sub>2</sub> та ефективним використанням матеріалу, однак вимагає значних енергетичних витрат та може призвести до неоднорідності вторинного бетону. Термічний рециклінг відзначається високим ступенем переробки, але вимагає великих енергетичних витрат та може викликати емісії забруднюючих речовин. Хімічний рециклінг є ефективним, але викликає технологічні та екологічні виклики.

Таблиця 3

**Переваги використання вторинного бетону в будівельній галузі**

Основний аспект	Інформація
створення замкнутого циклу виробництва	використання вторинного бетону забезпечує перетворення бетонних відходів у високоякісний будівельний матеріал, сприяючи утилізації та зменшенню потреби в нових природних ресурсах
зменшення використання природних ресурсів	вторинний бетон дозволяє економити природні ресурси, так як для його виробництва потрібно менше вапна, каменю та інших компонентів, порівняно з традиційним бетоном
сталість будівельних проектів	використання вторинного бетону сприяє збереженню довкілля та може підвищити сталість будівельних проектів, особливо у контексті зростаючого інтересу до сталого будівництва.
конкурентна перевага на ринку	у контексті збільшеного інтересу до сталості будівництва, використання екологічних матеріалів, таких як вторинний бетон, може стати конкурентною перевагою на ринку будівельних послуг
ключовий елемент стратегії утилізації	використання вторинного бетону є ключовим елементом стратегії ефективної утилізації бетонних відходів, сприяючи збереженню ресурсів та сталому розвитку будівельної галузі
створення замкнутого циклу виробництва	бетонні відходи перетворюються в якісний будівельний матеріал, що сприяє не лише утилізації відходів, а й зменшує потребу в нових природних ресурсах для виробництва бетону

Таблиця 4

## Порівняльні характеристики видів рециклінгу

Переваги	Недоліки	Застосування
<b>Механічний рециклінг</b>		
<p><i>Зменшення викидів CO<sub>2</sub>:</i> Механічний рециклінг дозволяє зменшити викиди CO<sub>2</sub> порівняно із виробництвом нового бетону, оскільки не вимагає виробництва великої кількості відновлювальної енергії.</p> <p><i>Ефективне використання матеріалу:</i> Вторинний бетон, отриманий за допомогою механічного рециклінгу, може мати задовільні технічні характеристики і використовуватися у будівництві.</p>	<p><i>Енергетичні витрати:</i> Процес механічного подрібнення може вимагати значних енергетичних витрат, що може вплинути на екологічну ефективність.</p> <p><i>Якість вторинного бетону:</i> Якість вторинного бетону може залежати від якості вихідного бетону та умов процесу рециклінгу, що може призвести до неоднорідності матеріалу.</p>	<p>Механічний рециклінг широко використовується в будівельній галузі для виготовлення нового бетону та інших матеріалів. Отриманий вторинний бетон може бути використаний у відновленні інфраструктури, де важлива якість матеріалу та дотримання стандартів безпеки.</p>
<b>Термічний рециклінг</b>		
<p><i>Високий ступінь переробки:</i> Термічний рециклінг забезпечує високий ступінь переробки бетону, включаючи видалення органічних домішок та вологи.</p> <p><i>Можливість використання в різних галузях:</i> Отриманий вторинний матеріал може бути використаний у будівництві чи навіть у виробництві електроенергії.</p>	<p><i>Великі енергетичні витрати:</i> Термічний рециклінг вимагає значних енергетичних витрат для нагрівання бетону, що може зменшити його екологічну ефективність.</p> <p><i>Можливі емісії забруднюючих речовин:</i> Процес нагрівання може призводити до викидів шкідливих речовин, таких як оксиди азоту та сірки, що може негативно вплинути на навколишнє середовище.</p>	<p>Термічний рециклінг може знаходити застосування у виробництві цементу, де отримані вторинні матеріали можуть бути використані в якості сировини. Також вторинний матеріал може бути використаний для виробництва електроенергії чи інших теплових джерел енергії.</p>
<b>Хімічний рециклінг</b>		
<p><i>Висока ефективність переробки:</i> Хімічний рециклінг може бути ефективним методом, що дозволяє отримати вторинний матеріал високої якості.</p> <p><i>Можливість одержання високоякісного вторинного матеріалу:</i> Процес розкладання за допомогою хімічних реагентів дозволяє отримати вторинний матеріал з контрольованими властивостями.</p>	<p><i>Складність технології:</i> Хімічний рециклінг може вимагати складних технологій та великої кількості реагентів, що може збільшити витрати та знизити екологічну ефективність.</p> <p><i>Можливість викидів шкідливих речовин:</i> Використання хімічних реагентів може призводити до викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище.</p>	<p>Хімічний рециклінг може мати застосування у виробництві високоякісного вторинного бетону, а також у виробництві інших хімічних продуктів. Також отриманий вторинний матеріал може бути використаний у будівельній індустрії.</p>

Таблиця 5

## Характеристики використання вторинного бетону в конструкціях

Переваги	Недоліки	Застосування
<p><i>Мінімізація витрат на переробку:</i> Використання вторинного бетону прямо в конструкціях дозволяє уникнути етапу додаткової переробки та зменшити витрати.</p> <p><i>Зменшення викидів:</i> Використання вторинного бетону сприяє зменшенню викидів CO<sub>2</sub>, оскільки цей метод не вимагає великої кількості енергії для переробки.</p>	<p><i>Обмеженість застосування відходів:</i> Можливості використання вторинного бетону можуть бути обмеженими в певних конструкціях, де важлива якість та стабільність матеріалу.</p> <p><i>Можливість зниження якості:</i> Якість вторинного бетону може впливати на якість вихідного бетону та умови його виготовлення</p>	<p>Вторинний бетон може бути використаний у будівництві будівель, доріг, мостів, а також в інших галузях інфраструктури. Важливим є відповідний відбір технічних характеристик вторинного бетону залежно від конкретних вимог конструкції</p>

## Напрямок 2. Використання вторинного бетону в конструкціях

Стратегія використання вторинного бетону в конструкціях (табл. 5) передбачає пряме використання бетонних відходів для будівництва нових конструкцій. В цьому методі [14] вторинний бетон отримується шляхом використання відходів попереднього бетону у якості компоненту для виготовлення нового бетону, який потім використовується для будівництва.

З розвитком технологій виробництва вторинного бетону та розширенням досліджень у сфері сталого будівництва, використання вторинного бетону в конструкціях може стати стандартним і ефективним підходом до утилізації бетонних відходів у будівельній індустрії. Застосування вторинного бетону може також зростати за рахунок підвищення екологічних стандартів та регулювань у будівельній галузі.

## Напрямок 3. Виробництво вторинного бетону з домішками

Стратегія виробництва вторинного бетону з домішками [4,6] (табл. 6) передбачає змішування бетонних відходів з новими матеріалами для отримання вторинного бетону. До бетонних відходів можуть додаватися домішки, такі як різні в'язучі речовини, арматура, речовини для поліпшення характеристик бетону (наприклад, пластифікатори), для забезпечення високої якості та властивостей отриманого матеріалу.

Розвиток технологій виробництва вторинного бетону з домішками може включати в себе вдосконалення методів сортування та обробки бетонних відходів, а також розробку нових домішок, які підвищують якість та стійкість отриманого матеріалу. Збільшення регулювань та стандартів у галузі вторинного будівельного матеріалу також може підтримати подальший розвиток цієї стратегії.

Таблиця 6

Характеристики виробництва вторинного бетону з домішками

Переваги	Недоліки	Застосування
<p><i>Гнучкість у виготовленні:</i> Змішування бетонних відходів з домішками надає гнучкість у керуванні характеристиками вторинного бетону.</p> <p><i>Можливість контролювати властивості матеріалу:</i> Додавання домішок дозволяє впливати на властивості вторинного бетону, такі як міцність, пружність, водостійкість тощо</p>	<p><i>Потреба у точному визначенні співвідношення відходів та нових матеріалів:</i> Для досягнення оптимальних властивостей вторинного бетону необхідно точно визначити співвідношення між бетонними відходами та додатковими матеріалами.</p> <p><i>Можливість впливу на якість:</i> Неконтрольоване використання домішок може вплинути на якість та стабільність вторинного бетону</p>	<p>Вторинний бетон, виготовлений з домішками, може бути використаний у будівництві різноманітних конструкцій, таких як стіни, стовпи, плити та інші елементи. Важливо підбирати домішки так, щоб вони відповідали вимогам конкретного застосування.</p>

Таблиця 7

Характеристики напрямку використання бетонних відходів в інших галузях

Переваги	Недоліки	Застосування
<p><i>Максимізація використання відходів:</i> Співпраця з іншими галузями дозволяє максимально використовувати бетонні відходи у виробництві різноманітних будівельних матеріалів.</p> <p><i>Розширення можливостей вторинного використання:</i> Спільна робота з іншими галузями може відкривати нові можливості використання бетонних відходів, що сприяє сталому використанню ресурсів.</p>	<p><i>Потреба у взаємодії з іншими галузями:</i> Співпраця вимагає ефективної взаємодії між різними галузями, що може бути трудомістким завданням.</p> <p><i>Можливість труднощів у координації:</i> Координація між галузями може бути складною через різні вимоги, стандарти та процеси.</p>	<p>Бетонні відходи можуть бути використані у виробництві асфальту для покращення характеристик дорожнього покриття, у виробництві цегли для будівництва, в агрегатах для будівельних робіт тощо. Співпраця може включати обмін відходами, ресурсами та експертною інформацією.</p>

#### Напрямок 4. Співпраця з іншими галузями

Стратегія співпраці з іншими галузями (табл. 7) передбачає використання бетонних відходів у співпраці з різними секторами промисловості, такими як виробництво асфальту, цегли, агрегатів та інших будівельних матеріалів [4,14]. Ця стратегія спрямована на максимізацію використання відходів та розширення можливостей їх вторинного використання.

Розвиток співпраці з іншими галузями може сприяти створенню інтегрованих моделей використання відходів у різних секторах промисловості. Можливість взаємодії може сприяти зменшенню впливу будівельної галузі на навколишнє середовище та створенню більш сталої та ефективної системи використання ресурсів. Також доцільним може бути використання бетонних відходів для будівництва нових доріг, мостів та інших

інфраструктурних об'єктів та створення ландшафтних об'єктів.

Кожна з цих стратегій має свої унікальні переваги та виклики. Вибір конкретної стратегії повинен ґрунтуватися на специфічних умовах після повоєнного руйнування, враховуючи екологічні, економічні та технічні фактори.

Розглянемо основні критерії, які варто враховувати при розробці стратегій утилізації бетонних відходів.

Екологічні фактори - це різноманітні аспекти навколишнього середовища, які впливають на природні ресурси та біорізноманіття. Ці фактори включають в себе [8,9,15] аспекти забруднення, використання природних ресурсів та вплив на клімат (табл.8).

Ці критерії взаємодіють між собою, створюючи комплексний підхід до екологічної утилізації бетонних відходів, що сприяє сталому розвитку та збереженню навколишнього середовища.

Таблиця 8

Основні критерії екологічних факторів при розробці стратегій утилізації бетонних відходів

Критерій	Сутність
1. зменшення викидів CO <sub>2</sub>	забезпечення енергоефективності у всіх етапах утилізації бетону є ключовим аспектом для зменшення викидів CO <sub>2</sub> , використання технологій, що споживають менше енергії, та перехід до відновлювальних джерел енергії в процесах виробництва може значно знизити вплив на атмосферу
2. мінімізація водних ресурсів	утилізація бетонних відходів повинна мінімізувати використання води, застосування ефективних технологій для обробки та зменшення витрат води, а також систем збору та використання дощової води, може сприяти раціональному використанню водних ресурсів
3. матеріалозбереження	процес рециклінгу та використання бетонних відходів для створення нових будівельних матеріалів важливий для матеріалозбереження. застосування цих матеріалів в будівництві сприятиме збереженню природних ресурсів та скороченню викидів відходів
4. збереження біорізноманіття	уникання утилізації бетонних відходів в екосистемах та природних областях важливе для збереження біорізноманіття. мається на увазі врахування впливу утилізації на місцеві екосистеми та природні резервати
5. поширення переробних процесів	використання технологій, спрямованих на мінімізацію відходів та оптимізацію виробництва, є важливим аспектом утилізації бетонних відходів. ініціативи, що сприяють впровадженню цих технологій, можуть значно знизити вплив на навколишнє середовище
6. безпека та здоров'я	контроль та моніторинг за вмістом токсичних речовин у бетонних відходах є обов'язковим для забезпечення безпеки працівників та мешканців. дотримання стандартів та впровадження безпечних технологій гарантує мінімізацію негативного впливу на здоров'я
7. вплив на клімат	ефективне управління тепловикладами під час утилізації бетонних відходів є ключовим аспектом стратегій, спрямованих на зменшення впливу на клімат. це включає контроль та мінімізацію викидів тепла під час процесів утилізації.
8. соціальні аспекти	покращення якості життя людей та їх здоров'я, підвищення екологічної обізнаності населення

Таблиця 9

**Основні критерії економічних факторів при розробці стратегій утилізації бетонних відходів**

<b>Критерії</b>	<b>Сутність</b>
1. зменшення витрат на виробництво	однією з основних економічних переваг утилізації бетонних відходів є можливість зменшення витрат на виробництво будівельних матеріалів, використання відновлених або рецикльованих матеріалів може бути ефективним способом скорочення сировинних витрат і, отже, зниження виробничих витрат
2. стимулювання вторинного ринку	утилізація бетонних відходів може створювати нові ринки для вторинних матеріалів. рецикльовані бетонні відходи можуть стати цінним ресурсом для будівельної галузі, що дозволяє розвивати вторинний ринок та стимулювати конкуренцію
3. ринковий запит	з урахуванням зростання уваги до сталого будівництва та екологічних стандартів, попит на будівельні матеріали, які виготовлені з відновлених відходів, може зростати. утилізація бетонних відходів відповідає цьому ринковому тренду та може забезпечити конкурентні переваги
4. зниження витрат на вивезення та утилізацію відходів	утилізація бетонних відходів може допомогти зменшити витрати на їх транспортування та обробку на полігоні сміття, рециркуляція та використання цих відходів на місці може виявитися економічно вигіднішим порівняно з вивезенням на полігон
5. заощадження енергії	утилізація бетонних відходів для виробництва нових матеріалів може призвести до економії енергії порівняно з видобутком та обробкою природних ресурсів. це може вплинути на зниження витрат на електроенергію та паливо виробничих процесів
6. зниження витрат на відновлення інфраструктури	використання бетонних відходів для відновлення інфраструктури, такої як дороги та мости, може зменшити витрати на будівництво та ремонт. матеріали з вторинних ресурсів можуть бути доступні за більш низьку ціну, сприяючи ефективному використанню бюджетів
7. стимулювання інновацій	розробка та впровадження технологій для утилізації бетонних відходів може стати джерелом інновацій та відкриття нових ринків. підприємства, які інвестують у сталі та ефективні технології утилізації, можуть здобути перевагу на ринку
8. створення робочих місць	розвиток сектору утилізації бетонних відходів може призвести до створення нових робочих місць в галузі переробки, виробництва та обслуговування. це може мати позитивний вплив на економіку регіону

Ефективна утилізація бетонних відходів не тільки допомагає зберігати природні ресурси та зменшувати негативний вплив на довкілля, але і може мати значущі економічні переваги [19-20]. Розглянемо ряд економічних критеріїв, які слід враховувати при розробці стратегій утилізації бетонних відходів (табл.9).

Важливість кожного критерію може бути врахована шляхом встановлення вагових коефіцієнтів, які дадуть можливість визначити, наскільки важливий той чи інший критерій для досягнення цілей повоєнного відновлення.

Кожна стратегія повоєнного відновлення може бути оцінена за кожним критерієм. На основі цих оцінок можна провести порівняння різних стратегій та визначити їхні сильні та слабкі сторони.

Для визначення оптимальної стратегії необхідно враховувати всі критерії, включаючи екологічні та економічні. Оптимальна стратегія

повинна забезпечувати баланс між цими критеріями та сприяти сталому та ефективному відновленню після війни.

**Висновки.** Руйнування інфраструктури Луганської області внаслідок воєнних подій вже справило значний вплив на довкілля, що призвело до утворення мільйонів тонн бетонних відходів. Оскільки природне розкладання цих відходів - тривалий та складний процес, важливо вживати заходів з їх переробки та повторного використання, щоб запобігти їх захороненню в навколишньому середовищі.

Для ефективного вирішення проблеми відходів у післявоєнному відновленні суспільство може використовувати чотири основні стратегії утилізації: сортування та рециклінг, використання вторинного бетону в конструкціях, виробництво вторинного бетону з домішками та співпраця з іншими галузями.



Переробка та повторне використання бетонних відходів у післявоєнному відновленні має стати стратегічним пріоритетом, спрямованим на покращення управління відходами, зменшення шкідливого впливу на довкілля та розвиток екологічно стійкого будівельного сектору. Потенціал переробки та повторного використання бетонних відходів є значним і може сприяти екологічній стійкості та сталому економічному розвитку регіону.

### Література

1. Автомонова В. О., Власенко В.В., Зайцева К.О., Кривільова С.П. Рециклінг відходів виробництва та брухту бетонних конструкцій як центральна ланка концепції екологізації заводів ЗБК. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ"*. Серія : Хімія, хімічна технологія та екологія. 2017. № 48. С. 16-23. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/0b013ab2-a73c-43fd-bf7f-85dfef984e19/content> (дата звернення 23.11.2023).
2. S.Giorgi, M.Lavagna, A Campioli. Guidelines for effective and sustainable recycling of construction and demolition waste .*Designing Sustainable Technologies, Products and Policies* (pp.211-221). URL: [https://www.researchgate.net/publication/326150814\\_Guidelines\\_for\\_Effective\\_and\\_Sustainable\\_Recycling\\_of\\_Construction\\_and\\_Demolition\\_Waste](https://www.researchgate.net/publication/326150814_Guidelines_for_Effective_and_Sustainable_Recycling_of_Construction_and_Demolition_Waste)( дата звернення 23.11.2023)
3. How is Sustainable Concrete Made? A Guide For Architects, Designers, and Builders. *Website: UGREEN* URL: <https://ugreen.io/how-is-sustainable-concrete-made-a-guide-for-architects-designers-and-builders/>(дата звернення 23.11.2023)
4. M. Machaka, A. Elkordi , J. M. Khatib. Handbook of Sustainable Concrete and Industrial Waste Management Recycled and Artificial Aggregate, Innovative Eco-friendly Binders, and Life Cycle Assessment, Beirut Arab University University of Wolve, 2021 part 1 - Natural fibers URL: [https://www.researchgate.net/publication/356907128\\_Handbook\\_of\\_Sustainable\\_Concrete\\_and\\_Industrial\\_Waste\\_Management\\_Recycled\\_and\\_Artificial\\_Aggregate\\_Innovative\\_Eco-friendly\\_Binders\\_and\\_Life\\_Cycle\\_Assessment\\_1st\\_Edition\\_-\\_December\\_1\\_2021\\_part\\_1\\_-\\_Natu](https://www.researchgate.net/publication/356907128_Handbook_of_Sustainable_Concrete_and_Industrial_Waste_Management_Recycled_and_Artificial_Aggregate_Innovative_Eco-friendly_Binders_and_Life_Cycle_Assessment_1st_Edition_-_December_1_2021_part_1_-_Natu)(дата звернення 23.11.2023)
5. [Dongxing Xuana](#), Chi Sun Poon a, Wei Zhengb Management and sustainable utilization of processing wastes from ready-mixed concrete plants in construction: *Resources, Conservation and Recycling* Vo.136, September 2018, Pages 238-247 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344918301393>(дата звернення 23.11.2023)
6. Abraham T. Gebremariam, Francesco Di Maio, Ali Vahidi, Peter Rem. Innovative technologies for recycling End-of-Life concrete waste in the built environment *Resources, Conservation and Recycling* Vo. 163, December 2020, 104911 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344920302299>(дата звернення 23.11.2023)
7. Смаль М.В., Дзюбинська О.В., Шелкович О Світовий досвід повторного використання бетону в будівельному виробництві *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2017. вип. 7. С 233-238.
8. Аругюнян А.І., Шуваєв А.А. Екологічно-економічна доцільність комплексного управління потоками відходів в будівельній галузі. *Мости та тунелі: теорія, дослідження практика*. 2020. № 18. С. 9-17. URL: <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/217692>(дата звернення 23.11.2023)
9. Лялюк О.Г., О.Г.Ратушняк О.Г., Лялюк А.О. Екологічний менеджмент відходів будівельного виробництва. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2017. № 1. С. 94-100. URL: [\(Microsoft Word - \306\363\360\355\340\353 2017-1\)](#) ([vntu.edu.ua](http://vntu.edu.ua))(дата звернення 23.11.2023).
10. Ситуація на Луганщині - скільки будинків зруйновано в Луганській області - наслідки російської агресії на Луганщині - веб-сайт: Парламент.УА. URL: <https://parlament.ua/news/gajdaj-nazvav-kilkist-zrujnovanih-okupantami-budinkiv-na-luganshchini/>(дата звернення 23.11.2023)
11. ДСТУ Б В.2.6-64:2008. Технічні норми, правила і стандарти. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Конструкції будинків і споруд. Панелі стінові зовнішні бетонні і залізобетонні для житлових і громадських будинків. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 37 с..
12. Чалая О. С., Фатєєва Н.Ю. Вплив важких металів на організм людини. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. - 2018. - Вип. 190. С. 110-116. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg\\_2018\\_190\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2018_190_19). (дата звернення 23.11.2023)
13. Сплодитель, А., Голубцов, О., Чумаченко, С., & Сорокіна, Л. Забруднення земель внаслідок агресії Росії проти України. Київ: ГО "Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023 URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii.pdf>(дата звернення 23.11.2023)
14. Рихліцька О. В. Бетони з підвищеними експлуатаційними властивостями на основі заповнювачів рециклінгу бетону: дис. докт. філ.: 192 Будівництво та цивільна інженерія. Львів, 2023. 176с. URL:

- <https://lpnu.ua/sites/default/files/2023/radaphd/23182/disertaciya-rikhlicka-ov.pdf>(дата звернення 23.11.2023)
- Хрутьба, В. О., Вайганг, Г. О., Крюковська, Л. І.І. Визначення показників екологічної безпеки проектів використання відходів як дорожньо-будівельного матеріалу. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2015. 4(4), С.64-71.
  - Chen, Y., Vandecasteele, C., Shen, D., & Xuan, X. Municipal solid waste incineration residues recycled for typical construction materials—a review. *RSC Advances*, 2019No 10 95, С.6279-6291. DOI link: <https://doi.org/10.1039/D1RA08050D>
  - Dodoo A, Gustavsson L and Asthre, R. Carbon Implications of End-of-life Management of Building Materials. *Resources, Conservation and Recycling*. 2009. 53: 276-286.
  - Etcheberria M, Vázquez E, Marí, A and Barra M. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*. 37: 2007. 735-742.
  - Brown, A., & Green, C. "Economic Impact of Concrete Waste Utilization in Construction." *Journal of Sustainable Development*, 2018. 15(2), 75-88.
  - Vivian W.Y. Tam Economic comparison of concrete recycling: A case study approach I *Resources, Conservation and Recycling* [Volume 52, Issue 5, March 2008, P. 821-828](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344907002248) URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344907002248>(дата звернення 23.11.2023)
- ### References
- Avtomonova V. O., Vlasenko V.V., K. O. Zaitseva K.O., Kryvilova S.P. Retsyklinh vidkhodiv vyrobnytstva ta brukhtu betonnykh konstruksii yak tsentralna lanka kontseptsii ekolohizatsii zavodiv ZBK. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Serii : Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia. 2017. № 48. S. 16-23. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/0b013ab2-a73c-43fd-bf7f-85dfef984e19/content> (data zvernennia 23.11.2023).
  - Giorgi S., Lavagna M., Campioli A. Guidelines for effective and sustainable recycling of construction and demolition waste .*Designing Sustainable Technologies, Products and Policies*. pp. 211-221. URL: [https://www.researchgate.net/publication/326150814\\_Guidelines\\_for\\_Effective\\_and\\_Sustainable\\_Recycling\\_of\\_Construction\\_and\\_Demolition\\_Waste](https://www.researchgate.net/publication/326150814_Guidelines_for_Effective_and_Sustainable_Recycling_of_Construction_and_Demolition_Waste) (data zvernennia 23.11.2023)
  - How is Sustainable Concrete Made? A Guide For Architects, Designers, and Builders. Website: UGREENURL: <https://ugreen.io/how-is-sustainable-concrete-made-a-guide-for-architects-designers-and-builders/> (data zvernennia 23.11.2023)
  - Machaka M., Elkordi A., Khatib. Handbook of Sustainable Concrete and Industrial Waste Management Recycled and Artificial Aggregate, Innovative Eco-friendly Binders, and Life Cycle Assessment, Beirut Arab University University of Wolve, 2021 part 1 - Natural fibers URL: [https://www.researchgate.net/publication/356907128\\_Handbook\\_of\\_Sustainable\\_Concrete\\_and\\_Industrial\\_Waste\\_Management\\_Recycled\\_and\\_Artificial\\_Aggregate\\_Innovative\\_Eco-friendly\\_Binders\\_and\\_Life\\_Cycle\\_Assessment\\_1st\\_Edition\\_-\\_December\\_1\\_2021\\_part\\_1\\_-\\_Natural\\_fibers](https://www.researchgate.net/publication/356907128_Handbook_of_Sustainable_Concrete_and_Industrial_Waste_Management_Recycled_and_Artificial_Aggregate_Innovative_Eco-friendly_Binders_and_Life_Cycle_Assessment_1st_Edition_-_December_1_2021_part_1_-_Natural_fibers) (data zvernennia 23.11.2023)
  - Dongxing Xuana, Chi Sun Poon a, Wei Zhengb Management and sustainable utilization of processing wastes from ready-mixed concrete plants in construction: *Resources, Conservation and Recycling*Vo.136, September 2018, Pages 238-247 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344918301393> (data zvernennia 23.11.2023)
  - Abraham T. Gebremariam, Francesco Di Maio, Ali Vahidi, Peter Rem. Innovative technologies for recycling End-of-Life concrete waste in the built environment *Resources, Conservation and Recycling* Vo. 163, December 2020, 104911 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344920302299> (data zvernennia 23.11.2023)
  - Smal M.V., Dziubynska O.V., Shelkovich O Svitovyi dosvid povtornoho vykorystannia betonu v budivelnomu vyrobnytstvi Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. 2017. vyp. 7. s 233-238.
  - Arutiunian A.I., Shuvaiev A.A. Ekolohichno-ekonomichna dotsilnist kompleksnoho upravlinnia potokamy vidkhodiv v budivelni haluzi. Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia praktyka. 2020. № 18. С. 9-17. URL: <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/217692> (data zvernennia 23.11.2023)
  - Lialiuik O.H., O.H.Ratushniak O.H., Lialiuik A.O. Ekolohichnyi menezhment vidkhodiv budivelnoho vyrobnytstva. Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii v budivnytstvi. 2017. № 1. S. 94-100. URL: (Microsoft Word - \306\363\360\355\340\353 2017-1) (vntu.edu.ua) (data zvernennia 23.11.2023).
  - Sytuatsiia na Luhanshchyni - skilky budynkiv zruinovano v Luhanskii oblasti - naslidky rosiiskoi ahresii na Luhanshchyni - veb-sait: Parlament.UA. URL: <https://parlament.ua/news/gajdaj-nazvav-kilkist-zrujnovanih-okupantami-budinkiv-naluganshchini/> (data zvernennia 23.11.2023)
  - DSTU B V.2.6-64:2008. Tekhnichni normy, pravyla i standarty. Obiekty budivnytstva ta promyslova produktsiia budivelnoho pryznachennia. Konstruksii budynkiv i sporud. Paneli stinovi zovnishni betonni i zalizobetonni dlia

- zhytlovykh i hromadskykh budynkiv. – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2009. – 37 s.
12. Chalaia O. S., Faticieva N.Iu. Vplyv vazhkykh metaliv na orhanizm liudyny. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. 2018. Vyp. 190. S. 110-116. - URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg\\_2018\\_190\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2018_190_19). (data zvernennia 23.11.2023)
  13. Splodytel, A., Holubtsov, O., Chumachenko, S., & Sorokina, L. Zabrudnennia zemel vnaslidok ahresii Rosii proty Ukrainy. Kyiv: HO "Tsentr ekolohichnykh initsiatyv «Ekodiia», 2023 URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii.pdf> (data zvernennia 23.11.2023)
  14. Rykhlytska O. V. Betony z pidvyshchenymy ekspluatatsiinymy vlastyvostiamy na osnovi zapovniuvachiv retsyklinhu betonu: dys. dokt. fil: 192 Budivnytstvo ta tsyvilna inzheneriia. Lviv, 2023. 176s. URL: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2023/radaphd/23182/disertaciya-rikhlytska-ov.pdf> (data zvernennia 23.11.2023)
  15. Khrutba, V. O., Vaihanh, H. O., Kriukovska, L. I.I. Vyznachennia pokaznykiv ekolohichnoi bezpeky proektivnykh vykorystannia vidkhodiv yak dorozhno-budivelnoho materialu. Tekhnolohichnyi audyt i rezervy vyrobnytstva. 2015. 4(4), s.64-71.
  16. Chen, Y., Vandecasteele, C., Shen, D., & Xuan, X.. Municipal solid waste incineration residues recycled for typical construction materials—a review. RSC Advances, 2019. No 10 95, S. 6279-6291. DOI link: <https://doi.org/10.1039/D1RA08050D>
  17. Doodoo A, Gustavsson L and Asthre, R. Carbon Implications of End-of-life Management of Building Materials. Resources, Conservation and Recycling. 2009. 53: 276-286.
  18. Etxeberria M, Vázquez E, Marí, A and Barra M. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. Cement and Concrete Research. 37: 2007. 735-742.
  19. Brown, A., & Green, C. (2018). "Economic Impact of Concrete Waste Utilization in Construction." Journal of Sustainable Development, 15(2), rr. 75-88.
  20. Vivian W.Y. Tam Economic comparison of concrete recycling: A case study approach | Resources, Conservation and Recycling Volume 52, Issue 5, March 2008, r. 821-828 URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344907002248> (data zvernennia 23.11.2023)

**Maslosh O.V., Podkuiko V.M. Potential for utilization of concrete waste in decontaminated territories: ecological and economic aspects**

*The Luhansk region, as a result of active combat, has incurred the most devastated infrastructure, as this area includes settlements with powerful industrial facilities, apartment buildings, social infrastructure, and bridges. Millions of cubic meters of concrete waste generated during such devastation contain various chemical elements and pollutants from explosive substances, such as heavy metals, hydrocarbons, aromatic compounds, nitrates, nitrites, and chlorides.*

*To expedite pollution neutralization in post-war recovery, society can take measures for the utilization and secondary use of concrete waste to prevent its accumulation in the surrounding environment. The utilization and use of concrete waste in post-war recovery should become a strategic goal aimed at improving waste management, reducing environmental impact, and creating a sustainable construction sector.*

*The paper demonstrates that potential benefits of secondary use of concrete waste include waste reduction, CO2 emission reduction, increased energy efficiency in the production of primary concrete, and minimization of pollution emissions. In turn, this will contribute to the implementation of circular economy principles, on which post-war recovery should be based, and stimulate the adoption of innovative technologies for processing concrete waste.*

*Concrete waste utilization can occur through various strategies, such as sorting and recycling, using secondary concrete in constructions, producing secondary concrete with additives, and collaboration with other industries. The paper outlines the drawbacks and advantages of each strategy, providing comparative characteristics of recycling types, offering insights into the appropriateness of each strategy under different conditions.*

*Effective concrete waste utilization should not only help preserve natural resources and reduce negative environmental impacts but also yield substantial economic benefits. Therefore, the paper identifies criteria for ecological and economic factors that can be used to determine the viability of specific concrete waste utilization strategies.*

**Keywords:** *post-war reconstruction, concrete waste, concrete waste disposal technologies, recycling, concrete waste disposal potential, concrete waste disposal strategy, environmental factors, economic factors, effective concrete disposal strategies, secondary concrete.*

**Маслош Ольга Володимирівна** – к.х.н, доцент, доцент кафедри економіки і підприємництва Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

**Подкуйко Валерій Миколайович** - здобувач першого (бакалаврського) рівня освіти кафедри економіки і підприємництва Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля