

Н.М. Левченко, О.М. Назаренко, А.О. Березовська, П.В. Белоусова,
М.В. Щемелєв, А.А. Гаджівердієв

Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ БУДІВЕЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ ЗГІДНО ЕКОНОМІКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛУ

Здійснено аналіз сучасних підходів та технологій для зменшення будівельних відходів і їх повторної переробки в умовах економіки замкнутого циклу. Досліджено інноваційні методи управління будівельними відходами в контексті циркулярної економіки, підкреслюючи їхню практичну важливість для сталого розвитку. Наведено приклади успішного застосування інноваційних технологій у будівництві, заклик до їх активного впровадження з метою ефективного управління відходами та збереження навколишнього середовища.

Ключові слова: технології, управління, відходи, інновації, економіка, ефективність, ресурси, сталість, матеріали, цикл.

Постановка проблеми

У сучасних умовах зростання обсягів виробництва та споживання, проблеми екології та збільшення кількості відходів стають надзвичайно актуальними. Сучасний світ стоїть перед викликами сталого розвитку та ефективного використання ресурсів у всіх сферах людської діяльності. Необхідно шукати нові, більш сталі та ефективні підходи до управління відходами. Важливим напрямком є перехід до економіки замкнутого циклу. Ця концепція передбачає зменшення споживання первинних сировин та мінімізацію утворення відходів шляхом ефективного використання вторинних ресурсів та відновлюваних енергетичних джерел.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Останні дослідження та публікації в області управління будівельними відходами відображають зростаючий інтерес до використання інноваційних технологій для забезпечення сталості та ефективності процесів управління цими відходами. Дослідження акцентують увагу на використанні вторинних матеріалів, 3D-друку, Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту (AI) для оптимізації процесів управління відходами та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Публікації також розглядають проблематику впровадження цих технологій в практику будівельної галузі та надають приклади успішних проектів та ініціатив у цій сфері. Інноваційні підходи до управління будівельними відходами набувають все більшого значення для досягнення цілей сталого розвитку та збереження ресурсів.

11 березня 2020 року Європейська Комісія ухвалила План дій щодо «циркулярної» економіки

(Circular Economy Action Plan), спрямований на збалансованість трьох компонентів сталого розвитку: економічного, екологічного та соціального [1]. 23 червня 2022 року Україна отримала статус кандидата в члени ЄС. Тому наша країна має привести своє національне законодавство у відповідність до європейського. Законодавство ЄС щодо діяльності у сфері поводження з будівельними відходами ґрунтується на резолюції ООН 70/1 «Перетворення нашого світу: Порядок денний у сфері сталого розвитку на період до 2030 року», якою затверджено 17 Цілей у галузі Сталого Розвитку на період до 2030 року [2].

Мета

Проаналізувати сучасні інноваційні підходи та технології, котрі спрямовані на зменшення кількості будівельних відходів та їхню повторну переробку, а також визначенні можливостей їх впровадження в умовах економіки замкнутого циклу. Тому ця наукова стаття присвячена вивченню та аналізу інноваційних технологій у сфері управління будівельними відходами в контексті економіки замкнутого циклу. Впровадження інновацій в даній сфері є ключовим чинником для створення сталого й ресурсозберігаючого суспільства.

Важливо наголосити, що реалізація інноваційних підходів до управління будівельними відходами буде сприяти створенню сталої та конкурентоспроможної будівельної галузі, а також збереженню навколишнього середовища та оптимізації використання ресурсів для економіки замкнутого циклу.

Для досягнення цієї мети у статті проведено аналіз інноваційних технологій управління будівельними відходами, проаналізовано їхню ефективність та потенціал розвитку при впровадженні економіки замкнутого циклу, а також надано

рекомендації щодо їхнього впровадження в практику будівельної галузі.

Актуальність даної наукової статті обумовлена потребою впровадження більш ефективних та сталих практик управління будівельними відходами за принципами циркулярної економіки.

Виклад основного матеріалу

Економіка замкнутого циклу спрямована на мінімізацію відходів та збереження природних ресурсів. У будівельній галузі це особливо важливо, оскільки вона є значущим споживачем ресурсів та генератором відходів. Також циркулярна економіка сприяє ефективному використанню будівельних матеріалів та ресурсів шляхом їх повторного використання та переробки. Це дозволяє зберегти природні ресурси та зменшити екологічний вплив. Запровадження економіки замкнутого циклу буде сприяти зменшенню витрат на закупівлю нових матеріалів та ресурсів через використання вторинних ресурсів та відходів.

Розгляд та аналіз інноваційних практик у сфері управління будівельними відходами у контексті кругової економіки відкриває нові можливості для вдосконалення та оптимізації процесів у будівельній галузі. Економіка замкнутого циклу сприяє покращенню соціальної відповідальності підприємств та громадян у сфері управління відходами та забезпечує стале співіснування з природою.

Україна, як і багато інших країн, стикається з серйозними викликами у сфері управління відходами та забезпечення сталого розвитку, особливо в будівельній галузі. Однією з ключових стратегій для відповіді на ці виклики є впровадження принципів

циркулярної (кругової) економіки, спрямованої на максимізацію використання відходів та відновлюваних ресурсів [3].

Будівельна галузь, яка є важливим сектором української економіки, генерує значну кількість відходів. Циркулярна економіка передбачає створення системи, в якій відходи не спричиняють шкоди довкіллю, а, навпаки, стають важливим ресурсом для виробництва нових товарів. Це можливо шляхом використання технологій екологічної переробки та відновлення, створення системи управління відходами на будівельних майданчиках та пошуком альтернативних способів використання будівельних відходів у будівельній сфері.

Термін циркулярна економіка вперше був використаний у науковій літературі Д. Пірс та Р. Тернером у 1990 році [4]. Спираючись на принцип, що все є вкладом (input) у все інше, автори критично оцінили існуючу традиційну лінійну економічну систему та створили нову економічну модель, що була названа циркулярною економікою. Економіка та навколишнє середовище тісно пов'язані між собою за моделі циркулярної економіки, яка включає три економічні функції навколишнього середовища: постачання ресурсів, освоєння відходів та джерело енергії.

Економіка замкнутого циклу (циркулярна економіка) - це концепція ведення господарської діяльності, яка спрямована на збереження ресурсів та максимізацію використання матеріалів, продуктів та відходів [5]. Вона відрізняється від традиційної "лінійної" економіки, де ресурси видобуваються, використовуються та викидаються, і цей процес може бути нестійким для довкілля та ресурсів.

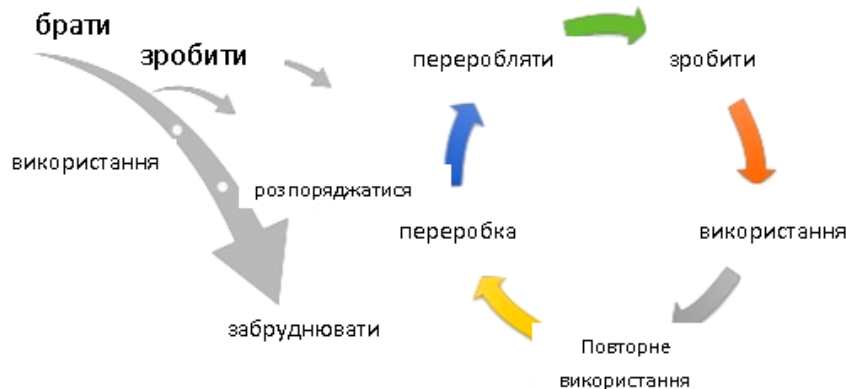


Рис. 1. Схема роботи «лінійної» та «циркулярної» економіки [6]

Основні принципи економіки замкнутого циклу включають:

- повторне використання будівельних матеріалів. Це може включати в себе ремонт, рециклінг та інші стратегії для подовження терміну служби матеріалів;
- матеріали збираються та переробляються для створення нових продуктів або матеріалів. Цей процес дозволяє зменшити відходи та знизити потребу у видобутку природних ресурсів;

- мінімізація відходів, які утворюються під час виробництва та споживання. Це може включати в себе вдосконалення процесів та

- конструкції, щоб зменшити надлишковість та невикористані ресурси;

- замість використання нестійких або обмежених ресурсів, шукаємо альтернативні матеріали, які можуть бути більш стійкими та ефективними.

- розробка продуктів та упаковки з урахуванням можливості легкої переробки та рециклінгу;

- подовження терміну служби матеріалів шляхом якісної конструкції та обслуговування.

Економіка замкнутого циклу спрямована на створення більш стійких та ефективних господарських систем, які забезпечують більш ефективне використання ресурсів та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Важливість цієї теми полягає в численних аспектах, але вона також стикається зі значними викликами та завданнями.

Такими як *споживання ресурсів*. Будівництво є однією з найбільших галузей, що споживає ресурси, включаючи матеріали, енергію та воду. Краще управління відходами допомагає зменшити втрати ресурсів та забезпечує більш ефективне використання їх.

Правильне управління відходами яке сприяє зменшенню кількості відходів, які потрапляють на смітницю. Це допомагає знизити негативний вплив сміття на довкілля.

Зменшення викидів відходів до атмосфери та водних ресурсів, що сприяє поліпшенню якості повітря та води.

Економічні вигоди, це про коректне управління відходами може зменшити витрати на видалення та обробку відходів. Крім того, відновлення матеріалів може створювати нові економічні можливості.

Виклик при управлінні будівельними відходами це також про відсортування та розділення різних типів відходів, це може бути складним завданням, особливо на великих будівельних майданчиках. Демонтаж будівель що часто супроводжується значною кількістю відходів, включаючи асбест, покриття інших матеріалів, які вимагають спеціалізованої обробки.

Забезпечення того, щоб підрядні компанії дотримувалися вимог щодо управління відходами, та їх дії відповідали законодавству щодо управління відходами, це може бути складним завданням, оскільки вимоги можуть відрізнятися в різних регіонах. А ще важливо підвищувати свідомість та обізнаність про управління відходами серед будівельних фахівців та громадськості, щоб забезпечити правильну реалізацію практик управління відходами.

Управління будівельними відходами також потребує системної роботи та розробки ефективних стратегій для вирішення викликів, пов'язаних з цією галуззю.

Як наприклад, **розробка та використання інноваційних матеріалів** для будівництва. Нові матеріали можуть впливати на ефективність, екологічну стійкість, якість та вартість будівництва.

Важливо розробляти матеріали, які не завдають шкоди навколишньому середовищу. Це включає в себе матеріали, які можуть бути рецикльовані, а також ті, що не виділяють шкідливі речовини. Нові інноваційні матеріали можуть допомогти підвищити

енергоєфективність будівель шляхом зменшення втрат тепла та оптимізації ізоляції.

Важливо розробляти матеріали, які є міцними та мають довгий термін служби. Це допомагає зменшити потребу в ремонті та заміні матеріалів. Нові матеріали можуть бути легкими та маневреними, що полегшує транспортування та монтаж на будівельному майданчику. А деякі нові матеріали дозволяють створювати більш креативний та естетичний дизайн будівель. Ці матеріали можуть бути вироблені з меншою кількістю витрат ресурсів та енергії, але важливо, щоб нові матеріали були доступні та конкурентоспроможні з точки зору вартості.

Використання 3D-друку у будівництві може істотно оптимізувати виробництво та зменшити кількість відходів. 3D-друк дозволяє створювати точні та індивідуально налаштовані деталі та компоненти для будівництва, що сприяє зменшенню відходів через необхідність обрізки або видалення непотрібних частин.

За допомогою 3D-друку можна виготовляти індивідуальні деталі для кожного проекту, що спрощує виробництво та зменшує відходи, оскільки не потрібно виробляти надлишок стандартних деталей. Також він дозволяє створювати складні форми та модульні конструкції, що можуть бути легше зібрані та встановлені, а також зменшують потребу у великих кількостях відходів.

Великою перевагою є зменшення логістичних проблем, бо виробництво на місці будівництва може зменшити транспортні витрати та відходи, пов'язані із привезенням матеріалів та компонентів на майданчик. Також можна використовувати вторинні матеріали, що дозволяють використовувати рецикльовані матеріали та зменшувати вплив будівництва на довкілля. Використання 3D-друку може суттєво зменшити час виробництва, що також сприяє зменшенню відходів і витрат.

Загалом, 3D-друк відкриває нові можливості для створення більш сталого та оптимізованого виробництва в будівництві, допомагаючи зменшити відходи та поліпшити якість та ефективність будівельних проектів.

У Нідерландах вже використовують 3D-друк для створення плит, блоків та інших будівельних матеріалів із перероблених відходів, таких як пластик [7]. Це допомагає зменшити використання нової сировини та сприяє циркулярній економіці. Взагалі Нідерланди відомі своєю активною роботою в галузі циркулярного будівництва. Тут існують ініціативи, що спрямовані на використання вторинних ресурсів у будівництві, таких як переробка відходів у будівельні матеріали, а також на створення дизайнів, які легко розбираються та переробляються.

А наприклад, об'єднані Арабські Емірати використовують 3D-друк для виробництва будівельних блоків із відходів будівництва та демонтажу [7]. Це сприяє сталому будівництву та зменшенню використання природних ресурсів.

Використання інтернет речей (IoT) для моніторингу та управління відходами на будівельних

майданчиках - це система, яка використовує мережу підключених до Інтернету датчиків і пристроїв для збору даних про генерацію, збір, транспортування і обробку відходів на будівельних об'єктах. Ця система дозволяє в режимі реального часу моніторити та керувати процесами, пов'язаними з управлінням відходами з метою покращення ефективності, сталості та екологічної безпеки будівництва.

Основні компоненти IoT-системи для управління відходами на будівельних майданчиках включають датчики, які встановлюються в контейнерах та збірних пунктах, для вимірювання рівня заповнення і типу відходів. Ще це пристрої, які збирають дані від датчиків і передають їх до центральної системи. Система, яка обробляє та аналізує дані від датчиків, надає операторам інформацію про стан відходів і дозволяє приймати рішення щодо вивозу та переробки відходів. Система, яка надсилає сповіщення операторам про необхідність вивозу відходів або вирішення інших питань, пов'язаних з управлінням відходами. Та система, яка аналізує накопичені дані для виявлення тенденцій та оптимізації процесів управління відходами.

За допомогою IoT, будівельні компанії можуть бути краще підготовлені до вивозу відходів, зменшуючи ризики переповнення контейнерів, покращуючи ефективність використання ресурсів і сприяючи сталому управлінню відходами на будівельних майданчиках.

Використання Інтернет речей (IoT) для моніторингу та управління відходами на будівельних майданчиках може істотно покращити ефективність управління відходами та допомогти зменшити негативний вплив будівництва на довкілля. Важливість та переваги IoT у цьому контексті це те що це дозволяє забезпечувати своєчасний вивіз та обробку відходів та уникнути їх переповнення, зменшення кількості використаних транспортних засобів та зменшення викидів.

За допомогою IoT, оператори можуть віддалено контролювати та координувати вивіз відходів, що підвищує ефективність та сприяє вчасному реагуванню на зміни, також це дозволяє вчасно виявляти та усувати аварії, такі як розливи небезпечних відходів, що допомагає уникнути серйозних екологічних проблем.

Також можна збирати дані про види та обсяги відходів, що допомагає планувати їх подальше використання та переробку в рамках концепції циркулярної економіки. Більш ефективно використовувати ресурси для обслуговування відходів, зменшуючи витрати на робочу силу та обслуговування техніки. А головне за допомогою IoT можна підвищити свідомість про використання відходів серед працівників та підрядників, що сприяє кращому використанню сортування та рециклінгу.

Загалом, використання IoT в управлінні відходами на будівельних майданчиках допомагає забезпечити більш ефективне та стає управління відходами, зменшити негативний вплив будівництва на довкілля та оптимізувати витрати.

Японія використовує Інтернет речей для моніторингу та управління відходами на будівельних майданчиках [8]. Датчики виявляють рівень заповнення контейнерів і автоматично сповіщають про необхідність вивозу відходів, що допомагає зменшити час та витрати на обслуговування.

Використання штучного інтелекту (AI) для прогнозування та оптимізації управління відходами є інноваційним підходом, який може допомогти ефективно та якісно управляти відходами на будівельних майданчиках та в інших сферах. А головні цілі для яких можна і потрібно використовувати штучний інтелект це:

- можливість *прогнозування генерації відходів*: AI може аналізувати історичні дані та інші параметри, щоб прогнозувати обсяги та типи відходів, які будуть згенеровані на будівельному майданчику. Це дозволяє оптимізувати планування вивозу відходів та ресурси для їх обробки.

- *оптимізація маршрутів вивозу*: AI може визначати найкоротші та найбільш оптимальні маршрути для збору та вивозу відходів, що зменшує час та витрати на транспортування.

- *реагування на зміни*: AI може виявляти зміни в обсягах відходів та інших факторах та надавати рекомендації щодо вирішення ситуацій, які вимагають негайного реагування, такі як переповнення контейнерів або аварії.

- *автоматизація сортування та рециклінгу*: AI може бути використаний для автоматизації сортування відходів та вибору оптимальних стратегій рециклінгу та вторинного використання відходів.

- *планування робочої сили*: AI може допомогти оптимізувати розподіл працівників для вивозу та обробки відходів, забезпечуючи ефективну роботу на будівельному майданчику.

- *аналіз вартості та витрат*: AI може допомогти аналізувати витрати на управління відходами та шукати можливості для їх зменшення.

З використанням штучного інтелекту, управління відходами стає більш точним, ефективним та сталим процесом. Це сприяє зменшенню негативного впливу будівництва на довкілля, економії ресурсів та забезпеченню дотримання екологічних норм та стандартів.

Використання штучного інтелекту (AI) для прогнозування та оптимізації управління відходами відбувається ось так :

перший крок - це збір різноманітних даних, таких як історичні дані щодо генерації відходів, погодних умов, робочого графіка, обсягів будівельних робіт тощо. Дані можуть бути отримані від сенсорів, датчиків та інших джерел;

другий крок - на основі зібраних даних можна створити моделі прогнозування, які допомагатимуть передбачити обсяги відходів у майбутньому. Моделі можуть використовувати різні методи машинного навчання, такі як регресія, нейронні мережі, дерева рішень тощо.

Далі відбувається оптимізація маршрутів вивозу: AI може визначити найоптимальніші

маршрути для збору та вивозу відходів, враховуючи різні фактори, такі як відстань, транспортні засоби, різновиди відходів та трафік. AI може автоматично виявляти зміни у генерації відходів та надавати рекомендації щодо реагування на них, наприклад, перерозподіл ресурсів для вивозу відходів у випадку несподіваних обсягів. Автоматизація сортування та рециклінгу для мінімізації відходів та оптимізації їх вторинного використання, це також дуже важлива функція AI.

Останній крок – це планування робочої сили для вивозу та обробки відходів на будівельних майданчиках, забезпечуючи оптимальну робочу продуктивність, та аналіз витрат та вартостей управління відходами для знаходження можливостей для їх зменшення та оптимізації процесів.

В цілому, використання штучного інтелекту для управління відходами допомагає автоматизувати та оптимізувати процеси, що призводить до зменшення витрат, збільшення сталості та зменшення негативного впливу будівництва на довкілля.

У Сполучених Штатах використовують системи штучного інтелекту для аналізу великих обсягів даних щодо відходів на будівельних майданчиках [9]. Це допомагає прогнозувати генерацію відходів, планувати оптимальні маршрути для їх вивозу та знаходити можливості для рециклінгу. Китай також використовує штучний інтелект для оптимізації процесів сортування відходів та вибору стратегій рециклінгу. Це допомагає ефективно використовувати вторинні ресурси та зменшити кількість відходів.

Світові приклади впровадження інноваційних технологій у управлінні будівельними відходами демонструють, як інноваційні технології можуть бути успішно використані для управління будівельними відходами в контексті економіки замкнутого циклу, що сприяє сталому використанню ресурсів та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище [10].

Якщо розглянути досвід країн, які активно застосовують циркулярну економіку в будівництві, можна побачити що ці країни демонструють вражаючий досвід у цьому напрямку.

Фінляндія активно розвиває концепцію циркулярного будівництва і створює інноваційні будівельні матеріали, які дозволяють максимально використовувати вторинні ресурси. Тут також проводять дослідження та пілотні проекти для розвитку циркулярних практик у будівництві.

Данія сприяє циркулярному будівництву через впровадження норм та стандартів, які спонукають будівельну індустрію до використання вторинних ресурсів та до продовження терміну служби будівельних об'єктів. Тут також розвивають інноваційні технології для рециклінгу будівельних матеріалів.

Швеція активно використовує вторинні ресурси у будівництві та розвиває програми стимулювання циркулярних практик. У цій країні проводяться дослідження та розробка інноваційних матеріалів та технологій для циркулярного будівництва.

Бельгія сприяє використанню вторинних ресурсів у будівництві та реалізує циркулярні проекти, спрямовані на мінімізацію відходів та зменшення впливу будівництва на навколишнє середовище.

Ці країни є прикладами того, як управління відходами у будівництві може бути оптимізоване шляхом впровадження циркулярних практик та інноваційних технологій.

Але впровадження інноваційних технологій у управлінні відходами в контексті циркулярної економіки супроводжується і рядом сучасних викликів і проблем.

Для успішної циркулярної економіки необхідно знайти джерела якісних вторинних ресурсів, а також забезпечити їх стабільний доступ. Це може бути викликом, оскільки не завжди легко знайти потрібні вторинні матеріали.

Оптимізація процесів сортування та обробки відходів може бути складним завданням. Тому необхідно розробляти ефективні технології та процедури для максимального використання ресурсів.

Наприклад законодавство та регуляторні обмеження можуть бути перешкодою для впровадження інноваційних практик у відходоуправлінні. Наявність чітких стандартів та нормативів є важливим пунктом для стимулювання циркулярних практик. Також реалізація інноваційних технологій вимагає значних інвестицій. Знайдення фінансування для таких проектів може бути викликом.

Для успішного впровадження циркулярних практик необхідно підвищити свідомість та обізнаність серед споживачів, підприємств і урядовців щодо важливості циркулярної економіки та відходоуправління. Матеріали та відходи можуть перетинати кордони, тому необхідна співпраця між країнами та регіонами для розв'язання циркулярних викликів.

Зробити більше, менше витрачаючи та зберігаючи ресурси - ось основне завдання циркулярної економіки в будівництві. Досягання цих цілей потребує спільних зусиль від урядів, підприємств та громадян, а ще і створення сприятливого середовища для інновацій та удосконалення управлінських практик.

Подальший розвиток галузі будівництва з використанням інноваційних технологій у управлінні будівельними відходами в контексті циркулярної економіки відкриває безліч перспектив і можливостей. А розробка та впровадження нових інноваційних будівельних матеріалів, які можна виготовляти з вторинних ресурсів, стане ключовим фактором у циркулярному будівництві. Це може включати в себе матеріали, отримані шляхом 3D-друку або інших інноваційних технологій.

Використання IoT і штучного інтелекту для моніторингу та управління відходами на будівельних майданчиках дозволить збирати дані про відходи, їх склад та обсяги. Це допоможе оптимізувати процеси

управління відходами та реалізувати їх більш ефективно використання.

Трансфер знань з циркулярної економіки та управління відходами допоможуть залучити громадськість, підприємства та уряди до спільних зусиль у цьому напрямку.

Циркулярна економіка може зменшити витрати на природні сировини та сприяти розвитку нових бізнес-моделей, які базуються на вторинних ресурсах та послугах, пов'язаних з управлінням відходами. Зменшення викидів і використання вторинних ресурсів сприяють сталому будівництву та дозволяють зменшити негативний вплив будівництва на довкілля.

З урахуванням росту свідомості щодо екологічних питань та ріст потреби в сталому будівництві, впровадження циркулярних практик у будівництві обіцяє забезпечити сталіший, більш стійкий до змін розвиток галузі та допомогти вирішити багато екологічних викликів.

Висновки

В добу зростаючої свідомості про важливість збереження природних ресурсів та зменшення негативного впливу на довкілля, управління будівельними відходами стає ключовим елементом будівництва в майбутньому. Ця наукова стаття розглядала важливість інноваційних технологій у циркулярному управлінні будівельними відходами і демонструвала, що ця тема має великий потенціал для розвитку та покращення, насамперед в Україні.

Використання інноваційних технологій дозволяє зменшити кількість будівельних відходів та оптимізувати їх обробку. Це сприяє мінімізації впливу будівництва на довкілля. За допомогою аналізу світових тенденцій і практичних прикладів було продемонстровано, як інноваційні технології, такі як використання вторинних ресурсів, 3D-друк, Інтернет речей (IoT) і штучний інтелект (AI), можуть поліпшити ефективність управління будівельними відходами та сприяти зменшенню відходів в будівництві.

Успішне впровадження циркулярних практик вимагає спільної дії від урядів, підприємств, та громадськості. Дослідження в цьому напрямку є ключовими для забезпечення збереження природних ресурсів та покращення якості довкілля, і ця галузь має великий потенціал для подальшого розвитку та інновацій.

Також дуже важливим пунктом є підвищення свідомості серед громадськості, підприємства та уряд щодо важливості циркулярного управління відходами є критичним. Свідомість про переваги циркулярної економіки та управління відходами повинна бути поширеною та підтриманою через освіту та інформаційні кампанії. Використання інноваційних практик в управлінні відходами може перетинати кордони. Міжнародна співпраця та обмін досвідом є ключовими для розвитку цього напрямку. Уряди повинні активно працювати над створенням сприятливого регулюючого середовища для

інновацій у галузі управління будівельними відходами. Ця галузь має потенціал змінити підхід до будівництва і сприяти більш сталому майбутньому.

Завершальний висновок полягає в заклику до активного впровадження інноваційних технологій та підходів у галузі будівництва та управління відходами, що є важливим кроком у напрямку сталого розвитку та збереження навколишнього середовища.

Література

1. ЄС. План дій ЄС щодо циркулярної економіки: Повідомлення Комісії до Європейського парламенту, Ради, Європейського економічного та соціального комітету та Комітету регіонів. 2015. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614>
2. Резолюція ООН 70/1, прийнята Генеральною Асамблеєю 25 вересня 2015 року. URL: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/ua/Agenda2030-UA.pdf>
3. Передрій А. Е. Сучасний стан та інноваційні технології циркулярної економіки в Україні // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" (Економічні науки). 2023. № 3. С. 26-31.
4. Про відходи: проект Закону від 21.06.2017 № 6602. – URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=62069
5. Мен, Сянхай і Дас, Сімран і Мен, Цзюнью. Інтеграція цифрового двійника і економіки замкнутого циклу в будівельній галузі. Стійкість. 2023. 15. 13186. DOI: 10.3390/su151713186.
6. Малюнок складено за опанованою інформацією. URL: <https://is.gd/SBSxU2>
7. Лаухін Д. В. и др. Аналіз застосування в будівельному виробництві адитивних технологій 3D-друку. 2020.
8. Дугінець Г. В. Концепція Інтернет речей у глобальному виробництві: досвід для України // Економіка і регіон. 2019.
9. Бенг Софі та Андерсен Бьорн. Використання штучного інтелекту для зменшення відходів на будівельних майданчиках. Журнал управління інженерними проектами та виробництвом. 2022. №12. С. 239. DOI: 10.32738/JEP-2022-0022.
10. Чала В. С., Орловська Ю. В., Глуценко А. В. Європейські практики інвестування зеленого будівництва: Підручник Д // Дніпро: Придніпровська держ. академія будівництва та архітектури. 2023. С. 82-90.

References

1. European Commission. (2015). *EU Action Plan for the Circular Economy: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614>
2. United Nations General Assembly. (2015). *UN Resolution 70/1, adopted by the General Assembly on 25 September 2015*. Retrieved from <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/ua/Agenda2030-UA.pdf>
3. Peredriy, A. E. (2023). *The current state and innovative technologies of the circular economy in Ukraine*. *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Economic Sciences)*, (3), 26-31.
4. Verkhovna Rada of Ukraine. (2017). *On Waste: Draft Law dated 21.06.2017 No. 6602*. Retrieved from http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=62069

5. Meng, Xianhai & Das, Simran & Meng, Junyu. (2023). *Integration of Digital Twin and Circular Economy in the Construction Industry. Sustainability.* 15. 13186. DOI:10.3390/su151713186.

6. The illustration is based on the information studied. (n.d.). Retrieved from <https://is.gd/SBSxU2>

7. Laukhin, D. V., et al. (2020). *Analysis of the application of additive 3D printing technologies in construction production.*

8. Duhynets, G. V. (2019). *The concept of the Internet of Things in global production: Experience for Ukraine. *Economy and Region**.

9. Bang, Sofie & Andersen, Bjørn. (2022). *Utilising Artificial Intelligence in Construction Site Waste Reduction. Journal of Engineering Project and Production Management.* 12. 239. DOI:10.32738/JEPPM-2022-0022.

10. Chala, V. S., Orlovska, Yu. V., & Glushchenko, A. V. (2023). *European practices of investing in green construction: Textbook D. *Dnipro: Prydniprovska State Academy of Construction and Architecture**, 82-90.

Автор: ЛЕВЧЕНКО Наталія Михайлівна,
професор, доктор наук з державного управління,
Національний університет Запорізька політехніка
Nataliia LEVCHENKO,
full Professor, Department of construction production
and project management,
Zaporizhzhia Polytechnic National University
E-mail – levchenkon65@gmail.com
ID ORCID: 0000-0002-3283-6924

Автор: НАЗАРЕНКО Олексій Миколайович,
доцент, кандидат технічних наук,
Національний університет Запорізька політехніка
Oleksiy NAZARENKO,
PhD, associate professor,
Zaporizhzhia Polytechnic National University
E-mail – alexnazar75.an@gmail.com
ID ORCID: 0000-0003-3738-1129

Автор: БЕРЕЗОВСЬКА Альона Олександрівна,
аспірант,
Національний університет Запорізька політехніка
Alyona BEREZOVSKA,
postgraduate,
Zaporizhzhia Polytechnic National University
E-mail – bvup2021@ukr.net
ID ORCID: 0009-0004-5503-5283

Автор: БЄЛОУСОВА Поліна Віталіївна,
студент-магістр,
Національний університет Запорізька політехніка
Polina BIELOUSOVA,
master's degree student,
Zaporizhzhia Polytechnic National University
E-mail – pomoogisebe@gmail.com
ID ORCID: 0009-0007-3867-0586

Автор: ЩЕМЕЛЄВ Максим Вікторович,
студент-магістр,
Національний університет Запорізька політехніка
Maksym SHCHEMELIEV,
master's degree student,
Zaporizhzhia Polytechnic National University
E-mail – maksymka68@gmail.com
ID ORCID: 0009-0009-6174-1463

Автор: ГАДЖІВЕРДІЄВ Аріф Аріфович,
студент-магістр,
Національний університет Запорізька політехніка
Arif HADZHIVERDIEV,
master's degree student,
Zaporizhzhia Polytechnic National University
E-mail – maksymka68@gmail.com
ID ORCID: 0009-0005-8046-6824

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION WASTE MANAGEMENT IN ACCORDANCE WITH CIRCULAR ECONOMY

N. Levchenko, O. Nazarenko, A. Berezovska, P. Bielousova, M. Shchemeliev, A. Hadzhiverdiyev
Zaporizhzhia Polytechnic National University, Ukraine

This study analyzes contemporary innovative approaches and technologies aimed at reducing construction waste and promoting its recycling, while also exploring their implementation potential within a circular economy framework. The scientific novelty lies in the examination of innovative strategies enhancing construction waste management within the circular economy context, contributing significantly to understanding and utilizing such technologies. Additionally, the practical value of this work is underscored by its provision of actionable insights and global best practices in implementing innovative technologies for construction waste management.

The article delves into the significance and opportunities of utilizing innovative technologies within the context of a circular economy, addressing pertinent issues, expanding the understanding of circular economy concepts in construction, and offering practical examples and recommendations for implementation. The impact of circular economy principles on waste reduction and resource optimization in construction is thoroughly analyzed, with a focus on tools and technologies such as secondary resource utilization, 3D printing, Internet of Things, and artificial intelligence to enhance waste management processes, ensuring their sustainability and efficiency.

Furthermore, the article showcases successful innovative projects and initiatives globally while examining challenges and future prospects. It advocates for the active adoption of innovative technologies in construction and waste management to foster sustainable development and environmental preservation. By highlighting the intersection of cutting-edge technology and environmental sustainability, this study provides a comprehensive overview of how the construction industry can evolve to meet contemporary environmental challenges, ultimately contributing to a more sustainable and efficient construction sector.

The research emphasizes the critical role of integrating technological advancements with circular economy principles to address the mounting issue of construction waste. It explores how the adaptation of these advanced technologies can lead to substantial reductions in waste generation, improved resource efficiency, and the development of sustainable construction practices. The study also underscores the importance of policy support and stakeholder collaboration in facilitating the widespread adoption of these innovative solutions.

In conclusion, this article not only presents a detailed analysis of current trends and technologies in construction waste management but also offers a forward-looking perspective on the future of the industry. It serves as a call to action for policymakers, industry professionals, and researchers to embrace and invest in innovative technologies that align with the principles of the circular economy, ensuring a resilient and environmentally responsible construction sector for future generations.

Keywords: *technologies, management, waste, innovations, economy, efficiency, resources, sustainability, materials, cycle*