

*Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292. Ефективна економіка. 2024. № 4.*

**DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.4.42>**

**УДК 339.97**

*I. С. Міхно,*

*к. е. н, доцент кафедри бізнес-аналітики та цифрової економіки,*

*Національний авіаційний університет*

*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3661-1965>*

## **ЦИРКУЛЯРНА ЕКОНОМІКА В КОНТЕКСТІ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ БУДІВНИЦТВА**

*I. Mikhno,*

*PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Business Analytics and Digital economy, National Aviation University*

## **CIRCULAR ECONOMY IN THE CONSTRUCTION WASTE RECYCLING CONTEXT**

*В статті розглянута проблема переробки відходів будівництва, кількість яких постійно зростає внаслідок військових дій в Україні та наявності застарілого житлового фонду, що втратив свої споживчі властивості. Пропонується впровадження циркулярної економіки та принципів покращення безпеки та еколого-економічного становища в Україні для відновлення потенціалу країни. Проаналізовано основні стадії та процеси переробки відходів будівництва з урахуванням їх фракційної переробки та вторинного*

використання при відбудові населених пунктів, що базується на раціональному використанні ресурсів та інноваційності, сприятиме зменшенню вартості відновлення зруйнованих населених пунктів за рахунок подовження життєвого циклу товарів та впровадження основ ресурсозбереження. Зроблено висновок, що ефективне будівництво можливе тільки при покращенні екологічних, економічних факторів, підвищенню рівня безпеки та технологічності, однак терміни відновлення пошкодженої інфраструктури залежатимуть від особливостей конкретного об'єкту. Розроблено методику оцінки ефективності майбутнього будівництва, надано рекомендації щодо її підвищення. Проаналізовано сучасні програмні ресурси для покращення якості життя суспільства, одним з яких є створення інтерактивних мап, що ілюструють наявність ризик-факторів, які можуть стати причиною погіршення стану здоров'я населення для швидкого реагування урядових та суспільних структур і їх нейтралізації, створенні комфортних умов існування людини. Зроблено висновок, що гармонійна життєдіяльність людини у природному середовищі в поєднанні з впровадженням інновацій здатне стати основою подальшого економічного зростання України, а дотримання екологічного законодавства в поєднанні з технологічним розвитком регіонів при впровадженні екологічно безпечних стартапів, які б сприяли швидкому становленню циркулярної економіки підвищить інвестиційну привабливість країни.

The article considers the problem of recycling construction waste, the amount of which is constantly growing as a result of military operations in Ukraine and the presence of an outdated housing stock that has lost its consumer properties. The author proposes to introduce a circular economy and principles of improving the security and environmental and economic situation in Ukraine to restore the country's potential. The main stages and processes of processing construction waste are analysed, taking into account their fractional processing and reuse in the reconstruction of settlements, which is based on the rational use of resources and innovation, will help reduce the cost of restoring destroyed settlements by extending

*the life cycle of goods and introducing the basics of resource conservation. It is concluded that efficient construction is possible only with the improvement of environmental and economic factors, increased safety and manufacturability, but the timing of the restoration of damaged infrastructure will depend on the characteristics of a particular facility. The article develops a methodology for assessing the efficiency of future construction and provides recommendations for its improvement. The article analyses modern software resources for improving the quality of life of society, one of which is the creation of interactive maps illustrating the presence of risk factors that can cause deterioration in the health of the population for rapid response of governmental and public structures and their neutralisation, and creation of comfortable conditions for human existence. It is concluded that harmonious human activity in the natural environment, combined with the introduction of innovations, can become the basis for further economic growth in Ukraine, and compliance with environmental legislation, combined with the technological development of regions in the introduction of environmentally friendly start-ups that would contribute to the rapid development of the circular economy, will increase the country's investment attractiveness. Taking into account the need to restore destroyed territories, it was concluded that it is necessary, first of all, to sort and dispose of waste and contribute to the restoration of the ecosystem in these territories without hazardous waste and destroyed infrastructure.*

**Ключові слова:** *відходи будівництва, циркулярна економіка, відновлення після війни, еколого-економічний розвиток регіону, ефективне будівництво.*

**Keywords:** *construction waste, circular economy, post-war recovery, ecological and economic development of the region, efficient construction.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.**

В період військового конфлікту та при його завершенні на території України залишається велика кількість пошкоджених будівель, що не

підлягають реконструкції та створює проблему погіршення екологічного стану даної місцевості, нераціонального природокористування і потребує негайного вирішення. Більшість з цих будівель є небезпечними та можуть спричинити обвали, травмування громадян, пожежі та інші небажані події, які можливо нейтралізувати шляхом утилізації зруйнованих будівель, відновленням екосередовища та побудовою нового, екологічно безпечного та енергоефективного житла та господарських споруд.

Враховуючи досвід провідних країн у сфері сортування і переробки сміття, перш за все, потрібно розглянути кожен будівлю з позиції функції її максимальної корисності, тобто створенні класифікації будівель та будівельних матеріалів за ступенем можливості їх повторного використання чи переробки.

Одночасно при сортуванні і фракційній переробці будівельних відходів можна суттєво зменшити витрати на створення нових приміщень, що сприяє ресурсозбереженню та зменшує фінансове навантаження на економіку України, яка на даний час перебуває у складному становищі внаслідок військових дій, втрат територій, ресурсів, зменшенню надходжень у бюджет та високим витратам на оборону країни.

Для екологічної переробки будівельних відходів авторами пропонується побудова сучасних мобільних комплексів з переробки сміття поблизу зруйнованих населених пунктів з попереднім сортуванням відходів та наявністю глибокої очистки. І хоча вартість переробки буде збільшена за рахунок транспортних витрат на доставку до переробного пункту, екологічний ефект та вплив на якість життя суспільства буде впливати позитивніше та в грошовому еквіваленті буде доцільнішим, ніж захоронення чи переробка відходів на місці руйнування.

Однією з проблем, які виникатимуть при сортуванні залишків споруд після руйнації внаслідок військових дій в Україні є наявність елементів, що зруйновано пожежею, небезпечними хімічними речовинами та біологічними відходами при наявності смертельних випадків у будівлі та можливість

використання наявних ресурсів вторинно або безпечна утилізація залишків, що обумовило мету написання даної статті.

### ***Формулювання цілей статті (постановка завдання).***

Однією з цілей даного дослідження є пошук оптимального рішення для розв'язку задачі максимально ефективного використання наявної техніки та потужностей даного регіону для швидкого відновлення зруйнованих територій з урахуванням інноваційних технологій, цифровізації, діджиталізації економіки та інформаційних систем.

Метою написання даної статті є розробка моделі переробки відходів будівництва, що буде реалізована на території України у післявоєнний період, врегулювання адміністративних та екологічних проблем на даних територіях, створення класифікації об'єктів переробки та їх структурних складових у контексті відновлення українських населених пунктів, Європейської інтеграції та принципів циркулярної економіки.

Однак, для вирішення поставлених у дослідженні задач та реконструкції українських територій після війни, перш за все, потрібна ефективно-діюча організаційно-економічна система, що базується на принципах прозорості, інклюзивності, відкритості, екологічності, максимальної віддачі кожного виконавця програми, відсутності тіньових схем, демократичності з метою побудови спільного, успішного майбутнього в Україні та збільшенні економічного потенціалу країни.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Про необхідність покращення екологічного стану планети, яка існувала ще до війни в Україні, писали у своїх роботах J. Dirisu та ін., однак, в кризових ситуаціях, таких як війна, існує вирогідність ускладнення економічних та екологічних проблем, деградація навколишнього середовища та загострення проблем з накопиченням неутилізованого сміття [1].

В утилізації будівельних матеріалів існують особливості переробки, що перш за все викликано характером матеріалів та їх фізичними і хімічними

властивостями, що сприяє розробці нових методів переробки для кожної фракції сміття та покращенню ефективності існуючих систем переробки [2].

Pandiaraj Karthigai Priya та ін. наголошують на сортуванні відходів будівництва для раціональної їх переробки та кращого вторинного використання, збільшенню альтернативних варіантів поводження з відходами [3].

Mona S. Mohammed та ін. зазначають, що подрібнення та переробка бетонних конструкцій у порошкоподібний стан може надалі використовуватись як природний заповнювач нових будівельних конструкцій чи елементів у інших сферах виробництва, що сприятиме не тільки ресурсозбереженню, але і енергоефективності внаслідок високих теплоізоляційних властивостей матеріалу [4].

Одним з факторів, що сприятиме вторинному використанню будівельних залишків є відносно довгий термін розкладання відходів (від 1 до 100 років в залежності від матеріалу), екологічне навантаження, що впливає на стан здоров'я населення, наявність обмежених земельних площ в Україні під сміттєзвалища та альтернативні шляхи використання земельних ресурсів. S. Nasier у своїх роботах наголошує, що екологічні проблеми повинні стояти вище комерційних, а вплив відходів на екосистему є суттєвим та розповсюджується між країнами, тоді як переробка сприяє появі нових методів утилізації та розвитку науки [5].

Досвід попередніх поколінь сприяє переосмисленню потоків відходів та їх економічної доцільності у зв'язку зі створенням нових тенденцій та технологій, що базуються на принципах циркулярної економіки та здатні вирішити проблеми, що створені надмірним споживанням продукції, війнами, низьким економічним станом та створює новий вид ринку, що заснований на вторинному використанні продукції, про що свідчать роботи таких вчених як С. Denton [6].

Аналіз джерел інформації показав актуальність проблеми та зацікавленість багатьох вчених у вивченні даного питання, однак, досі у світі

немає єдиної концепції поводження з відходами будівництва, що робить дане дослідження доцільним та своєчасним, тоді як військовий конфлікт в Україні ставить нові виклики перед суспільством та наукою і потребує негайного вирішення, що додає унікальності даній роботі та має практичне застосування у майбутньому в Україні та за її межами.

### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Переосмислення роді відходів у розвинутих країнах почалось ще на початку 20 сторіччя, коли почали з'являтися перші аналоги виробництв, спрямовані на вторинне використання товарів та ресурсів, покращення стану екології, що стало поштовхом для розвитку так званої «циркулярної економіки», яка базується на принципі максимальної переробки відходів та ресурсозбереженню і енергоефективності.

Складність видобутку ресурсів, їх обмеженість, висока вартість технологічних первинних товарів та створення небезпечних сміттєвих полігонів сприяло зміні традиційних форм поводження з відходами та перетворення даного напрямку на бізнес, який здатен не тільки покращити екологічний стан, а і створювати прибуток та підвищувати суспільну корисність вироблених товарів.

Стратегічна важливість ресурсів для України, що на даний час знаходиться у стані війни, є значною за рахунок збереження ресурсів, коштів на відновлення країни, формуванню Європейських стандартів та принципів, тому вторинна переробка відходів, що сформована на засадах «зеленої економічної системи» та рециркуляції є пріоритетним напрямом розвитку.

За даними українських джерел інформації станом на 1 червня 3,5 млн українців мають пошкоджене або зруйноване житло. Йдеться про 116 тис. об'єктів загальною площею 14 млн кв.м. З них багатоповерхових будинків — 12,3 тис. (12 млн кв. м), індивідуальних садиб — 104,1 тис. (1,7 млн кв. м) [7].

При врахуванні станом на червень 2022 року окупованих територій (близько 10% від території України), де зруйнованими є або повністю населені пункти або більшість будівель (більше 70%), кількість будівель

зростає до 320 тисяч та постійно збільшується з кожним днем проведення військових дій.

Також при обліку застарілого житлового фонду в Україні, терміни експлуатації якого або скінчились, або наближаються до закінчення, кількості аварійних будівель та непридатних для використання споруд, доцільно провести загальнонаціональне оновлення інфраструктури населених пунктів згідно зі світовими сучасними екологічними нормативами, принципами енергоефективності та безпеки, що також сприятиме покращенню якості життя населення та зменшення ризиків для життєдіяльності.

Для покращення результатів моніторингу та ефективності відбудови українських населених пунктів пропонується залучення органів місцевого самоврядування та місцевих адміністрацій, громадських організацій та активістів на регіональному рівні, що допоможе в підвищенні якості та прозорості проекту, що контролюватиметься на вищому державному рівні. Економічне виснаження війною сприятиме залученню інвестицій на місцевому рівні та міжнародній допомозі, що планується для впровадження у кожному регіоні з залученням розвинутих країн та покладенням відповідальності на кожного з учасників процесу.

Створення балансу між державними, міжнародними, суспільними та бізнес-структурами у формуванні сфери утилізації відходів та відбудові України має фундаментальну роль при виборі методів реалізації та контролю проекту, однак, досвід розвинутих країн показує позитивні тенденції при збільшенні ролі бізнесу та підприємництва у процесах переробки відходів, впровадженні інновацій та екологічності, що зможе збільшити економічний розвиток країни та сприяти утворенню нових робочих місць, відновленню еколого-економічних показників країни.

При реалізації проекту оновлення інфраструктури населених пунктів та відбудові чи реконструкції будівель з дотриманням максимальної

екологічності та принципів циркулярної економіки для проекту повинно бути використано декілька стадій загального напрямку:

- Попередній розбір наповнення споруди з сортуванням відходів
- Виокремлення та розбір найбільш цінних частин будівлі
- Розбирання та сортування за фракціями складних конструкцій
- Розбирання та сортування за фракціями інженерної мережі, вікон, дверей та ін. конструкцій
- Демонтаж бетонних виробів
- Демонтаж відвальних приміщень з фракційним сортуванням.
- Моніторинг фізико-хімічних властивостей попередньо відсортованого сміття, виокремлення елементів, що можна використовувати у подальшому без переробки
- Підбір методу переробки даної фракції відходів для вторинного використання
- Внесення коректив до існуючих проектів перебудови населених пунктів з врахуванням наявних ресурсів
- Переробка відходів будівництва та перетворення їх у товар (ресурс)
- Вторинне використання фракційно переробленого сміття.

При демонтажі житлових будинків доцільно використовувати технологію алмазної різки та поелементного зносу будівлі для кращого відділення різних фракцій сміття, що значно зменшить вартість майбутнього будівництва.

Технології вторинної переробки залежатимуть від стану відходів, подальшому плані їх використання та доцільності переробки з урахуванням інших факторів впливу.

| 1 етап утилізації                                  |                                                                                                                |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Демонтаж споруди, розділення відходів за фракціями | Покрівельний матеріал                                                                                          |
|                                                    | Меблі, техніка, інше наповнення                                                                                |
|                                                    | Мармур, плиточні вироби, непошкоджене покриття                                                                 |
|                                                    | Придатні для використання ізоляційні матеріали, елементи електромережі та ін. інфраструктурні елементи будівлі |
|                                                    | Придатні для використання віконні та дверні системи                                                            |
|                                                    | Блоки                                                                                                          |
|                                                    | Придатні металоконструкції                                                                                     |
|                                                    | Дерево, брус                                                                                                   |
|                                                    | Цегла та ін.                                                                                                   |

**Рис. 1. Схема виокремлення основних фракцій відходів, що можна використовувати як ресурс без попередньої переробки з будівель, що не придатні для використання внаслідок військових дій.**

*Джерело: Систематизовано, узагальнено та згруповано за даними автора*

Другою стадією після сортування та транспортування відходів до переробного пункту стане їх переробка, що технологічно буде різною для кожного компонента. Основні елементи, що будуть перероблені представлені на рис. 2.

| Фракція, що буде перероблена                                  | Технологія                                                                                                                        | Утворений ресурс                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Бетонний брукт                                                | Видалення забруднювачів, подрібнення, просіювання                                                                                 | Бетонний заповнювач (RCA)                                                                              |
| Металеві відходи                                              | Фракційне розділення, видалення забруднювачів, різання, переплавлення                                                             | Сировина для продукції металопрокату                                                                   |
| Скляні відходи                                                | Сортування, промивання, магнітна сепарація дроблення, сортування на вібрості                                                      | Перероблений склобій, наповнювач пластику, керамічні, склокерамічні матеріали, піноскло, глазур скляна |
| Дроти, гумові вироби (проводка після розділення за фракціями) | Очищення, подрібнення, піроліз, регенерація, термо-пресування                                                                     | Синтетична нафта, термолізний газ, технічний вуглець, регенерат, гумова мука                           |
| Пластикові відходи                                            | Сортування, подрібнення, очищення, сушка, можливе термопресування, грануляція                                                     | Флекс, плівка, полістирол                                                                              |
| Деревина, дсп, мдф і т.д.                                     | Очищення, подрібнення, висушування, пресування. При виробництві складних матеріалів - додавання інших елементів після подрібнення | Вторинний щебінь                                                                                       |
| Покрівельно-бітумні відходи                                   | Очищення, подрібнення, піроліз, можливе поєднання з іншими сполуками                                                              | Теплоізоляційні матеріали, арболіт, мдф, дсп                                                           |
| Відходи щебня, асфальту, бетону                               | Очищення, подрібнення                                                                                                             | Бітумний порошок, мастика, бітумно-мінеральна маса, бітумно-полімерна сировина, ековата                |
| Лінолеум, відходи полівінілхлориду                            | Сухе очищення, подрібнення, хімічне розчинення                                                                                    | Термоізоляційні матеріали, полімерна сировина                                                          |

**Рис. 2. Основні компоненти відходів будівництва, що після попереднього сортування потребують переробки для їх вторинного використання**

*Джерело: Систематизовано, узагальнено та згруповано за даними автора*

Окрім екологічності рециклінгу дані технології здатні позитивно вплинути на ресурсний потенціал для перебудови населених пунктів України, сприяти зменшенню енергетичного навантаження, збільшити оборот виробництва товарів, створити нові робочі місця, стати стимулом для впровадження еколого-ефективних технологій та інновацій, сприяти залученню інвесторів та міжнародних компаній для відбудови.

Оскільки кожен збудований будинок після війни буде оснащений бомбосховищем, що матиме протирадіаційні властивості, для будівництва широко використовуваним матеріалом стануть гідро та теплоізоляційні матеріали, що можна отримувати з вторинної сировини, що утворилась внаслідок розбору та переробки відходів будівництва.

Вікна майбутніх споруд також доцільно покривати прозорою плівкою, що попереджує поранення внаслідок сколів та руйнування скляних виробів та можна отримати шляхом переробки відходів.

Матеріали для будівництва бажано застосовувати екологічно-безпечні та легкі, що буде сприяти меншій травматичності під час руйнування. Прикладом може стати керпен, торфоблоки, що можуть міксуватись для різних частин забудови з керамічними блоками, пінобетоном, гіпсокартоном, сендвіч-панелями, які також доцільно отримувати з використанням вторинної сировини. Можливе застосування 3-д принтерів для створення будівель, сировиною для яких стануть перероблені відходи будівництва, що значно зменшить витрати та час створення конструкцій, а технології вже описані та опробовані міжнародними компаніями [8].

За даною методикою будівництва критерієм оптимальності може бути функція корисності для українського суспільства ( $Q$ ), що задовольняє критеріям екологічності ( $y_1$ ), економічності ( $y_2$ ), безпеки ( $y_3$ ) та технологічності ( $y_4$ ):

$$Q(y_1, y_2, y_3, y_4) \rightarrow \max \quad (1),$$

Які можна відобразити за допомогою матриці оцінок від 1 до 10, де найбільший показник відображає кращу ефективність за певним аналізованим параметром.

**Таблиця 1. Матриця показників ефективності будівництва**

| Величина показника | Екологічність                                                                                                                                                                                                                                                            | Економічність                                                                                                                                      | Безпечність                                                                                                                                                                                                                                                        | Інноваційність                                                                                                                                                                          |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0-1                | Наявність відходів без їх утилізації, відчутний негативний вплив на екосистему, постійна деградація навколишнього середовища, нераціональне природокористування, відсутність екологічного контролю.                                                                      | Висока вартість будівництва (більше 10 тис. Дол. США за м.кв), низький темп будівництва (більше 5 років для будівлі 1000 кв.м висотою 5 поверхів). | Нестабільність системи, відчутний негативний вплив на громадян (погіршення стану здоров'я, збільшення захворюваності та смертності), ризик настання небезпечних ситуацій, непрогнозованість, незахищеність, відсутність реакції та дій на зміни та можливі ризики. | Використання застарілих та неефективних технологій, нераціональне використання ресурсів, відсутність індивідуального підходу до будівництва, відсутність автоматизації.                 |
| 2                  | Утилізація відходів шляхом поховання, негативний накопичувальний вплив на екосистему, деградація навколишнього середовища, нераціональне природокористування, відсутність дієвого екологічного контролю.                                                                 | Висока вартість будівництва (8-10 тис. Дол. США), низький темп будівництва (4-5 років для будівлі 1000 кв.м висотою 5 поверхів).                   | Нестабільність системи, негативний вплив на громадян (погіршення стану здоров'я, збільшення захворюваності та смертності), ризик настання небезпечних ситуацій, непрогнозованість, незахищеність, низька швидкість реакції на зміни.                               | Використання застарілих та відносно неефективних технологій, нераціональне використання ресурсів, відсутність індивідуального підходу до будівництва, мінімальний рівень автоматизації. |
| 3                  | Утилізація відходів шляхом поховання з наявністю попереднього сортування цінних фракцій, негативний накопичувальний вплив на екосистему, часткова деградація навколишнього середовища, нераціональне природокористування, слабкий екологічний контроль на рівні держави. | Відносно висока вартість будівництва (7-8 тис. Дол. США), низький темп будівництва (близько 4 роки для будівлі 1000 кв.м висотою 5 поверхів).      | Нестабільність, велика кількість ризиків, низький рівень відповідальності, відносна незахищеність, низький горизонт планування (1-2 роки) нижче середнього за швидкістю реакція на зміни.                                                                          | Використання застарілих та відносно неефективних технологій, відносно нераціональне використання ресурсів, регіональний підхід до будівництва, мінімальний рівень автоматизації.        |

Продовження таблиці 1.

| Величина показника | Екологічність                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Економічність                                                                                                                           | Безпечність                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Інноваційність                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4                  | Утилізація відходів шляхом поховання з наявністю попереднього сортування цінних фракцій, негативний накопичувальний вплив на екосистему, деградація навколишнього середовища, нераціональне природокористування, слабкий екологічний контроль на рівні держави.                                                  | Відносно висока вартість будівництва (6-7 тис. Дол. США), низький темп будівництва (3-4 роки для будівлі 1000 кв.м висотою 5 поверхів). | Низький рівень охорони здоров'я, велика кількість ризиків, велика кількість підрядників та сумнівно відповідальних осіб, нижче середнього рівень культури та освіти населення, помірна стійкість систем, середній горизонт планування (2-3 роки), нижче середнього за швидкістю реакція на зміни. | Використання технологій (до 1990 років), відносно нераціональне використання ресурсів, регіональний підхід до будівництва, недостатній рівень автоматизації.                                                                     |
| 5                  | Утилізація відходів шляхом поховання з наявністю попереднього сортування цінних фракцій та газовидобувною установкою, негативний накопичувальний вплив на екосистему, відчутна деградація навколишнього середовища, нераціональне природокористування, середній екологічний контроль на рівні держави та громад. | Помірна вартість будівництва (5-6 тис. Дол. США), помірний темп будівництва (близько 3 років для будівлі 1000 кв.м висотою 5 поверхів). | Помірний рівень охорони здоров'я, велика кількість ризиків, велика кількість підрядників та сумнівно відповідальних, середній рівень культури та освіти населення, помірна стійкість систем, середній горизонт планування (3-4 роки помірна за швидкістю реакція на зміни                         | Використання технологій (до 2000 років), частково нераціональне використання ресурсів, регіональний підхід до будівництва, помірний рівень автоматизації.                                                                        |
| 6                  | Утилізація відходів шляхом спалювання або поховання з попереднім сортуванням, природне самовідновлення, незначна деградація екосистеми, помірний екологічний контроль.                                                                                                                                           | Помірна вартість будівництва (4-5 тис. Дол. США), помірний темп будівництва (2,5-3 роки для будівлі 1000 кв.м висотою 5 поверхів).      | Середній рівень охорони здоров'я, відносна захищеність, середній рівень культури та освіти населення, відносна стійкість систем, середній горизонт планування (4-5 років) середня за швидкістю реакція на зміни.                                                                                  | Використання технологій (до 2008 років), використання технологій та обладнання, що були закуплені у розвинутих країн, як морально застаріле чи малоефективне, регіональний підхід до будівництва, середній рівень автоматизації. |

Продовження таблиці 1.

| Величина показника | Екологічність                                                                                                                                                                                                                                                              | Економічність                                                                                                                                               | Безпечність                                                                                                                                                                                                          | Інноваційність                                                                                                                                                                  |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7                  | Утилізація відходів шляхом спалювання або поховання з попереднім сортуванням, наявність очисних споруд, природне самовідновлення, незначна деградація екосистеми, помірний екологічний контроль (бізнес, держава, суспільство).                                            | Виправдана вартість будівництва (близько 3-4 тис. Дол. США), середній темп будівництва (близько 2 років для будівлі 1000 кв.м висотою 5 поверхів).          | Вище середнього рівень охорони здоров'я, відносна захищеність, достатній рівень культури та освіти, відносна стійкість систем, середній горизонт планування (близько 5 років) середня за швидкістю реакція на зміни. | Використання інновацій та опробованих технологій (не старіше 30 років), висока ефективність технологій, автоматизація на рівні 50-75%, часткова оптимізація систем та процесів. |
| 8                  | Незначний негативний вплив на екосистему, 20-30% відходів залишаються непереробленими, самовідновлення навколишнього середовища, існування людини та природної системи при наявності незначних впливів та модифікацій природного середовища, відносна енергоефективність.  | Конкурентноспроможна вартість будівництва (2-3 тис. Дол. США), високий темп будівництва (близько 1 року для будівлі 1000 кв.м висотою 5 поверхів).          | Вище середнього рівень охорони здоров'я, відносна захищеність, достатній рівень культури та освіти, стійкість, високий горизонт планування (більше 5 років), достатньо швидка реакція на зміни.                      | Використання новітніх розробок, впровадження та тестування стартапів, 75-90% автоматизація процесів виробництва та експлуатації систем, раціональність, оптимізація.            |
| 9                  | Незначний негативний вплив на екосистему, 0-20% відходів залишаються непереробленими, самовідновлення навколишнього середовища, гармонійне існування людини та природної системи при наявності незначних впливів та модифікацій природного середовища, енергоефективність. | Конкурентноспроможна вартість будівництва (300 дол. США -2 тис. Дол. США), високий темп будівництва (0,5-1 років для будівлі 1000 кв.м висотою 5 поверхів). | Високий рівень охорони здоров'я та гарний стан здоров'я мешканців, захищеність, високий рівень культури та освіти, стійкість, високий горизонт планування, достатньо швидке реагування на зміни.                     | Використання інноваційних рішень (не більше 10 років від дати патентування), 90% автоматизація процесів виробництва та експлуатації систем, раціональність, висока оптимізація. |
| 10                 | Відсутність негативного впливу на екосистему, 0% відходів, відновлення навколишнього середовища, гармонійне існування людини та природної системи, енергоефективність.                                                                                                     | Низька вартість м2 будівництва (не більше 300 дол. США), висока швидкість будівництва (до 6 місяців).                                                       | Покращення стану здоров'я мешканців, захищеність, високий рівень культури та освіти, стійкість та стабільність, швидке реагування на зміни.                                                                          | Використання інноваційних рішень (не більше 5 років від дати патентування), автоматизація процесів виробництва та експлуатації, максимальна оптимізація.                        |

З табл. 1 бачимо, що максимальна оцінка майбутньої споруди можлива тільки при застосування екологічних та інноваційних матеріалів, що по-перше повинні бути безпечні для довкілля, по-друге побудовані згідно нормативів у короткий період та з використанням принципів циркулярної економіки, що позитивно відобразиться на більшості параметрів будівлі.

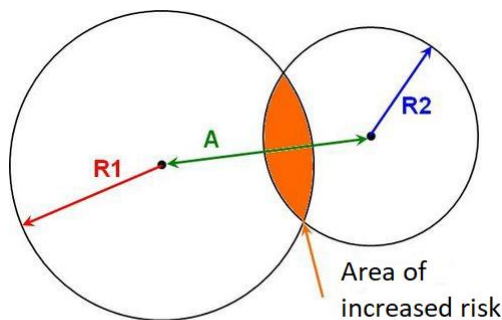
При наявності декількох стратегій реалізації будівництва бажано віддати перевагу проектам з кращими показниками безпеки та екологічності за принципом максимізації функції корисності.

При наявності фактора ризику, здебільшого його вплив розповсюджується за принципом кола з радіусом дії  $R$  та зонами впливу різної потужності ( $N$ ). Кількість осіб ( $n$ ), яка може відчувати даний ризик в певному радіусі вимірюється в середній щільності населення у певний часовий період на даній площі.

Експертна оцінка настання ризику на певній території розраховується за формулою:

$$r = \frac{t}{T} * \sum_{i=1}^M (n * w), \quad (2)$$

Де  $t$  – кількість ризикових подій на даній місцевості (час впливу),  $T$  – загальна кількість подій (досліджуваний часовий інтервал).



**Рис. 3. Зони впливу від двох негативних факторів на дану територію**

*Джерело: Створено на основі авторського дослідження*

З рис. 3 бачимо, що при наявності двох ризик факторів (Наприклад, один – потраплення ракети у будівлю, що призвів до захворювань, які можна вилікувати при витрачанні фінансових коштів, другий – постійний

негативний вплив на стан здоров'я населення з причини будівництва споруди з неекологічної сировини), що можна оцінити в грошовому еквіваленті ( $w$  - витрати на відновлення стану здоров'я людини чи нейтралізації причини ризику) посилюється при перетині зон впливу (оранжевий колір), а при оцінці їх потужності ( $N$ ) та кількості осіб, що зазнають негативний вплив ( $n$ ), мають обраховуватись через знаходження інтегрального показника сили дії ризик-факторів на дану місцевість.

Це дає змогу оцінити безпечність території та технологій, що будуть використані для будівництва нових споруд при закінченні військових дій в Україні.

При аналізі ризик-факторів при забудові територій після війни в Україні потрібно скласти таблицю можливих ризиків для населення з метою зменшення негативного впливу в певних районах України, своєчасному попередженню ризиків та інформованості суспільства про реальну картину життєдіяльності на даній території з зазначенням можливих ризик-факторів, їх потужності та радіусу впливу.

Для ілюстрації та оперативного корегування даних пропонується створення інтерактивної мапи ризик-факторів з можливістю створення шарів, та їх аналізу, прогнозування подальшого розвитку та усунення негативних впливів з врахуванням екологічного стану територій.

Для створення інтерактивної мапи пропонується таких програмних продуктів як QGIS, Google Earth, gvSIG, OpenStreetMap та ін. геоінформаційні програми, що можуть поєднувати просторове розміщення заданих об'єктів та їх властивостей, інтерактивність, аналіз шарів та вільний доступ, а також використовувати розроблений продукт у мобільних додатках.

Важливим етапом відбудови є створення логістичних хабів, які б мали додаткове устаткування та резервні запаси основних інструментів для швидкої відбудови і захисту при настанні ризикових ситуацій. Наповнення логістичних хабів доцільно використовувати з відходів, які не втратили свої споживчі властивості, тим самим продовжуючи їх життєвий цикл.

Моніторинг екологічної ситуації при розробці подальших кроків в разі припинення війни повинен базуватись не тільки на припущенні про самовідновлення природних ресурсів при відсутності забруднюючих факторів, але і в ретельному аналізі всіх компонент екосистеми, що можуть впливати на життєдіяльність людини та інших істот, тому першим завданням, що стане перед суспільством стане очищення територій від відходів, нейтралізація ризик-факторів та налагодження інфраструктури. Перші етапи відновлення країни повинні вже попередньо плануватись та створюватись з урахуванням принципів циркулярної економіки та впровадження інновацій, залучення провідних міжнародних компаній, фондів, установ, що ґрунтуються на екологічних орієнтирах та створенні безпечного середовища для проживання людини. Саме тому переробка відходів будівництва, що включає в себе максимальний рециклінг, стане основою подальших сценарних підходів для прийняття управлінських рішень і створенні відновленої України, яка стане місцем впровадження сучасних технологій і характеризуватиметься високою якістю життя при еколого-економічному зростанні.

### ***Висновки та перспективи подальших розвідок у даному напрямі.***

На даний час у світі є актуальної проблема накопичення відходів будівництва, що супроводжується постійно зростаючою кількістю сміття та фракцій, що мають довгий термін розкладання. Для України характерною особливістю є велика кількість зруйнованих споруд та об'єктів інфраструктури внаслідок військових дій, що створюють додаткове екологічне навантаження та збільшення ризиків для життєдіяльності населення. Одночасно в більшості пострадянських країн залишається застарілий житловий фонд, термін експлуатації якого закінчився, а реконструкція не має сенсу внаслідок фізичного зносу та великої собівартості процесу.

В статті пропонується впровадження принципів циркулярної економіки при переробці відходів будівництва, що значно зменшить фінансово-ресурсні витрати на створення нових конструкцій та зможе стати додатковим стимулом для впровадження інвестицій у відновлення України та залучення міжнародних партнерів.

При переробці відходів будівництва пропонується попереднє сортування сміття та поетапна фракційна переробка на новоствореному заводі з утилізації сміття, що буде знаходитись за межами населеного пункту при умові його транспортування для зменшення екологічного навантаження на території, де можуть проживати мешканці населеного пункту.

При подальшому будівництві інфраструктури та відновленні населених пунктів пропонується максимально використовувати наявну вторинну сировину при нейтралізації негативних ефектів матеріалів.

Запропонована система оцінки ефективності будівництва має на меті поєднання еколого-економічних факторів, факторів безпеки та інноваційності, що позитивно відобразиться на результативних показниках та підвищить якість життя населення.

Для збільшення інформативності, своєчасній реакції на ризик-фактори та попередженню створення негативних ефектів пропонується створення інтерактивної мапи ризиків для населення даної території, що має містити шари з наданням інформації щодо ризик-фактору, можливості усунення чи його нейтралізації, еколого-економічну оцінку. Наявність застарілого житлового фонду чи використання неекологічних матеріалів для будівництва також потрібно розглядати як ризик-фактор, що може призвести до погіршення стану здоров'я населення та додатковим витратам на його відновлення чи державним видаткам при втраті працездатності людини, тому створення інноваційної країни, що впроваджує принципи циркулярної економіки – перший крок до економічного зростання України, що сприятиме поверненню населення до Батьківщини та створення конкурентного середовища на міжнародних ринках.

## Література

1. Dirisu, J., Joseph, O., Babalola, P. O., Oyedepo, S. O., Fayomi, O. S. I., Oluwasegun, K. M., ... & Ajibero, M. (2022). Utilization of Waste Materials for Eco-Friendly Building Ceilings: An Overview. *Key Engineering Materials*, 917, 285-295.
2. Ni, X., Wu, Z., Zhang, W., Lu, K., Ding, Y., & Mao, S. (2020). Energy utilization of building insulation waste expanded polystyrene: Pyrolysis kinetic estimation by a new comprehensive method. *Polymers*, 12(8), 1744.
3. Priya, PK, Vanitha, S., & Meyyappan, P. (2020, Листопад). Utilization of waste for building materials—a review. У IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering* (Vol. 955, No. 1, p. 012048). IOP Publishing.
4. Mohammed, M. S., ElKady, H., & Abdel-Gawwad, H. A. (2021). Utilization of construction and demolition waste and synthetic aggregates. *Journal of Building Engineering*, 43, 103207.
5. Nasier, S. (2021). Utilization of recycled form of concrete, E-wastes, glass, quarry rock dust and waste marble powder as reliable construction materials. *Materials Today: Proceedings*, 45, 3231-3234.
6. Denton, C., & Weber, H. (2022). Rethinking waste within business history: A transnational perspective on waste recycling in World War II. *Business History*, 64(5), 855-881.
7. Суспільне. Новини. Електронний ресурс. URL: <https://suspilne.media/251131-za-cas-vijni-v-ukraini-zrujnovano-abo-poskodzeno-116-tisac-zitlovih-budinkiv/> (дата звернення: 05.11.2023).
8. Shahzad, Q., Shen, J., Naseem, R., Yao, Y., Waqar, S., & Liu, W. (2021). Influence of phase change material on concrete behavior for construction 3D printing. *Construction and Building Materials*, 309, 125121.

## References

1. Dirisu, J., Joseph, O., Babalola, P. O., Oyedepo, S. O., Fayomi, O. S. I., Oluwasegun, K. M., ... & Ajibero, M. (2022), "Utilization of Waste Materials for Eco-Friendly Building Ceilings: An Overview", *Key Engineering Materials*, vol. 917, pp. 285-295.
2. Ni, X., Wu, Z., Zhang, W., Lu, K., Ding, Y., & Mao, S. (2020), "Energy utilization of building insulation waste expanded polystyrene: Pyrolysis kinetic estimation by a new comprehensive method", *Polymers*, vol. 12(8), 1744.
3. Priya, PK, Vanitha, S., & Meyyappan, P. (2020), "Utilization of waste for building materials—a review", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 955, No. 1, p. 012048. IOP Publishing.
4. Mohammed, M. S., ElKady, H., & Abdel-Gawwad, H. A. (2021), "Utilization of construction and demolition waste and synthetic aggregates", *Journal of Building Engineering*, vol. 43, 103207.
5. Nasier, S. (2021), "Utilization of recycled form of concrete, E-wastes, glass, quarry rock dust and waste marble powder as reliable construction materials", *Materials Today: Proceedings*, vol. 45, pp. 3231-3234.
6. Denton, C., & Weber, H. (2022), "Rethinking waste within business history: A transnational perspective on waste recycling in World War II", *Business History*, vol. 64(5), pp. 855-881.
7. Suspil'ne. Novyny (2022), "During the war, 116,000 residential buildings were destroyed or damaged in Ukraine", available at: <https://suspilne.media/251131-za-cas-vijni-v-ukraini-zrujnovano-abo-poskodzeno-116-tisac-zitlovih-budinkiv/> (Accessed 05.11.2023).
8. Shahzad, Q., Shen, J., Naseem, R., Yao, Y., Waqar, S., & Liu, W. (2021), "Influence of phase change material on concrete behavior for construction 3D printing", *Construction and Building Materials*, vol. 309, 125121.

*Стаття надійшла до редакції 19.03.2024 р.*