

## ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ

УДК 69.003:699.87:502.1:338.28

DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8801/2020-1.31>

Шпакова Г.В.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри будівельних технологій,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2124-0815>

## ПРЕИДЕНТИФИКАЦИЯ ФОРМУВАННЯ ВАРТОСТІ СТАЛОГО БУДІВЕЛЬНОГО АКТИВУ ШЛЯХОМ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ РЕЦИКЛІНГУ

*У статті розглянуто шляхи та принципи переходу будівельної галузі до моделі циркулярної економіки. Проаналізовано види сталих бізнес-моделей для імплементації до сучасних корпоративних будівельних організацій. Розглянуто стан сучасної будівельної галузі й узаяно об'єктивні причини повільних темпів запровадження рециклінгових технологій у виробництві. Розглянуто метод оцінки вартості життєвого циклу будівельного об'єкта, механізм прогнозування й оцінки вартості сталого будівельного активу для прийняття управлінських рішень девелоперами під час визначення характеристик і параметрів трансформації проєктів сталого або циркулярного будівництва на основі рециклінгу. У прийнятій моделі оцінки вартості життєвого циклу будівельного об'єкта запропоновано приймати як точки моніторингу моменти трансформації функціонального призначення будівельних об'єктів залежно від стану попиту та інтересів стейкхолдерів сталого девелоперського проєкту.*

**Ключові слова:** циркулярна економіка, сталий розвиток, оцінка будівельних активів, циркулярне будівництво, будівельні відходи, рециклінг.

## ПРЕИДЕНТИФИКАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТОИМОСТИ УСТОЙЧИВОГО СТРОИТЕЛЬНОГО АКТИВА ПУТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ РЕЦИКЛИНГА

Шпакова А.В.

*В статье рассмотрены пути и принципы перехода строительной отрасли к модели циркулярной экономики. Проанализированы виды устойчивых бизнес-моделей для имплементации в современных корпоративных строительных организациях. Рассмотрено состояние современной строительной отрасли и указаны объективные причины медленных темпов внедрения рециклинговых технологий в производстве. Предложены метод оценки стоимости жизненного цикла строительного объекта, механизм прогнозирования и оценки стоимости устойчивого строительного актива, используемый для принятия управленческих решений девелоперами при определении характеристик и параметров трансформации проєктов устойчивого или циркулярного строительства на основе рециклинга. В принятой модели оценки стоимости жизненного цикла строительного объекта предложено принимать как точки мониторинга моменты трансформации функционального назначения строительных объектов в зависимости от состояния спроса и интересов стейкхолдеров устойчивого девелоперского проєкта.*

**Ключевые слова:** циркулярная экономика, устойчивое развитие, оценка строительных активов, циркулярное строительство, строительные отходы, рециклінг.

## PRE-IDENTIFICATION OF THE SUSTAINABLE BUILDING ASSET VALUE FORMATION THROUGH FUNCTIONAL TRANSFORMATION BASED ON RECYCLING

Shpakova Hanna

*The article discusses the ways and principles of the transition of the construction industry to a circular economy model. The main barriers to the introduction of the circular economy in the construction industry are analyzed. As a result of the compare analysis of various models using the principles of CE with the needs of the construction industry, a list of business models that can be used for implementation in modern building corporate structures was formed. Types of sustainable business models are considered in which resources are considered as a bank of materials, which forms the value of a building asset. The state of the modern construction industry is considered and objective reasons for the slow pace of implementation of recycling technologies in production are indicated. The applicability of existing business models for the transformation of the construction industry, taking into account the requirements of sustainable development, is considered. The factor of improving the implementation environment of the CE transfer project in the construction industry determined. It is the creation of a methodology for assessing the constant cost of construction assets for the needs of stakeholders in the construction industry. Ways are proposed to modify the method of assessing the life cycle cost of a building project and economic*

*mechanisms for forecasting and evaluating the cost of a sustainable building asset for management decision-making by developers when determining the characteristics and transformation parameters of sustainable or circular construction projects based on recycling. The key points of monitoring and recalculating the cost of the project life cycle are proposed to choose transformation points for the functional purpose of the construction object, depending on the needs of the real estate market. It is proposed to determine the values of the variables that form the life cycle value through the Markov chain method, to take into account the uncertainty in the cost of a sustainable building asset. As a result of the analysis of various models on modern CE principles with the needs of the construction industry, a list of business models was created that can be used for implementation in modern corporate building structures.*

**Keywords:** circular economy, sustainable development, valuation of construction assets, circular construction, construction waste, recycling.

**Постановка проблеми.** Однією зі стратегій ЄС, спрямованих на поліпшення сталості економіки держав-членів, є парадигма циркулярної економіки (ЦЕ). У рамках цієї стратегії було прийнято план дій з упровадження циркулярної економіки [1]. Фонд Елен Макартур визначає ЦЕ як «промислово систему, яка є оновлюваною та оновлюючою і за намірами, і за задумом. Вона змінює концепцію «кінця життя» відновленням, спрямуванням до використання поновлюваних джерел енергії, виключає використання токсичних хімічних речовин, пропагує повторне використання і спрямована на виключення відходів шляхом використання найкращих практик дизайну матеріалів, продуктів, систем і, нарешті, реалізує все це в бізнес-моделях» [2]. Основною ідеєю циркулярної економіки є включення всіх ресурсів, які використовуються у світовій економіці, до постійно оновлюваного глобального виробничого циклу з приділенням особливої уваги до розвитку ощадливих та безвідходних технологій використання ресурсів. Для такої потужної ресурсоемної галузі людської діяльності, як будівництво, на перший план, окрім стратегічних питань формування нових «екологосумісних» технологій, які становлять основу переходу до циркулярної економіки, постають питання повернення до промислового обігу величезних обсягів ресурсів, які зараз «заморожені» в існуючих будівлях та спорудах. Стає зрозумілим, що концепція рециклінгу будівельних матеріалів повинна стати основою формування нового ринку рециклінгових матеріалів як одного з ключових чинників формування вартості нових будівельних активів. Також актуальною проблемою переходу будівельної галузі до функціонування на принципах ЦЕ є недостатнє обґрунтування економічних переваг переходу до сталого або циркулярного будівництва, немає достатньої кількості інструментарію для прогнозування економічних результатів застосування сталих принципів у будівництві. Наступним кроком удосконалення середовища втілення проекту трансферу ЦЕ до будівельної галузі є створення методики оцінки сталої вартості будівельних активів для потреб стейкхолдерів будівельної галузі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Будівельний сектор є одним із найбільших споживачів ресурсів і природного капіталу. Його складники споживають понад 40% ресурсів і генерують до 40% відходів [3]. У традиційній лінійній моделі життєвого циклу будівельного об'єкта в кінці терміну придатності його очікує знесення, а у кращому разі – переробка частини відходів для нового використання. Циркулярна економіка (ЦЕ) позиціонується як парадигма, яка спрямована на досягнення цілей сталого розвитку шляхом збереження природного капіталу і створення нової економічної цінності, забезпечення управління

природними ресурсами і зниження впливу негативних зовнішніх чинників. Поєднання інноваційних моделей будівництва та принципів ЦЕ надає значні переваги, які дають змогу забезпечувати циклічну циркуляцію будівельних активів зі збереженням їхньої найвищої вартості. Останнім часом «циркулярними будівлями» почали називати будівельні об'єкти з тривалим терміном життя як самого об'єкта, так і окремих його частин та конструкцій, часто модульної конструкції з упровадженням концепції подальшого розбирання без пошкоджень у кінці життєвого циклу з метою подолання поточних екологічних викликів та проблем.

Принципи, що увійшли до поняття ЦЕ, розвивалися в рамках різних наукових напрямів (регенеративний дизайн, ефективна економіка тощо). Поняття ЦЕ формувалося протягом останнього десятиріччя для поєднання різних практик, пов'язаних із промисловою екологією і сталим розвитком. Використання принципів ЦЕ в будівельній галузі передбачає множину підходів до будівництва та експлуатації будівель і споруд, пов'язаних із поняттям сталості, і сьогодні цю тему ще недостатньо досліджено.

Одна з головних особливостей ЦЕ – системи із замкненим циклом, які під час використання в будівництві можуть бути представлені як циркулюючі потоки будівельних матеріалів, що через різні стратегії вклучені до технічних (промислових) та біологічних циклів.

Ефективність використання ресурсів є другим аспектом ЦЕ, який означає «робити більше з меншими витратами», тоді як для будівництва ЦЕ означає зменшення використання сталих вхідних ефектів (енергія та матеріали) та проектування будівель і споруд із меншою кількістю вихідних ефектів (відходи та викиди) [4]. Також для зниження потреби в додаткових природних ресурсах будівництво повинно продукувати міцні будівлі з тривалим життєвим циклом із безпечних для екології матеріалів [5]. У. Шталь і Ж. Редей-Мулвей у своїй роботі стверджують, що довговічні будівлі позитивно впливають на соціальний вимір будівництва, формуючи кращу якість життя [6].

М. Бронгарт пропонував використовувати будівельні запаси будівельними компаніями спільно в рамках концепції «спільного використання» для забезпечення більш ефективного використання природних запасів [7]. У роботі колективом авторів пропонувався для переведення будівництва до ЦЕ принцип «3R»: скорочення витрат ресурсів, повторне використання, рециклінг (з англ. *resources, reuse, recycling*) [6]. Цей принцип є досить удаलोю основою формування стратегії сталості для будівельної галузі для зниження впливу будівництва на навколишнє середовище та управління відходами будівельного виробництва. Однак принцип «3R» був розкритикований як недостатній для пере-

ходу будівельної галузі до ЦЕ і в подальшому отримав розвиток у бік збільшення кількості стратегій. Остаточний перелік стратегій включає: відмову від неекологічного, зміну точки зору на необхідні результати, скорочення витрат ресурсів, повторне використання, ремонт, відновлення до стану нового, повторне виробництво, зміну функціонального призначення, рециклінг, подовження експлуатації. Проектування будівель згідно з вимогами ЦЕ також включає й інші стратегії, такі як: модульність, адаптивність, гнучкість, проектування можливості розбирання та повторного збирання. Ці стратегії проектування дають змогу підвищити ефективність використання ресурсів за збереження цінності будівельних конструкцій, виробів та матеріалів [8].

**Постановка завдання.** Головною умовою успішного трансферу моделі ЦЕ до будівельної галузі є використання інноваційних бізнес-моделей, які б ураховували принципи ЦЕ і водночас створювали економічні стимули для всіх зацікавлених сторін у галузі будівельного девелопменту. Поряд з аналізом та адаптацією існуючих екологосумісних бізнес-моделей до потреб будівельної галузі для проходження успішного трансферу принципів ЦЕ необхідно використовувати методологічний інструментарій для забезпечення прогнозування економічних результатів застосування сталих принципів у галузі будівництва: сталому будівництві, циркулярному будівництві та сталих девелоперських проєктах. Також необхідно розглянути прикладні питання формування вартості сталих будівельних активів в умовах трансферу ЦЕ до будівельної галузі на принципах рециклінгу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Незважаючи на визнаний потенціал використання моделі ЦЕ в будівельній галузі, реалізація цього процесу зараз обмежується спробами використовувати безвідходні технології і розробляти нові технології переробки будівельних відходів [9]. Зазвичай девелопери не зацікавлені в застосуванні принципів ЦЕ до своїх проєктів через велику трудомісткість процесів збору та управління інформацією щодо використовуваних конструкцій і матеріалів із погляду відповідності концепції сталості та циркулярності, а також недостатньої кількості інструментів для аналізу дохідності й витрат сталого проєкту. Першим кроком до зміни цієї тенденції є аналіз циркулярних бізнес-моделей, який може бути використаний у будівельній галузі.

Для застосування в будівельній галузі найбільш придатними є моделі, які пропонують створення цінностей для всіх стейкхолдерів девелоперського проєкту, особливо для виробників і постачальників. Одним із найбільш перспективних варіантів є модель розгляду будівельного об'єкта під час проектування як банку матеріалів, яка створює ситуацію взаємної вигоди для різних учасників, залучених до різних етапів життєвого циклу будівельного об'єкта і забезпечує їх адаптацію до використання циркулярних стратегій. Також існують інші бізнес-моделі для циркулярного росту, які мають різний рівень циркулярності залежно від ступеня зменшення негативного впливу на зовнішнє середовище. За ступенем збільшення циркулярності, тобто відповідності принципам ЦЕ, бізнес-моделі поділяються так: 1) відновлююча утилізація відходів; 2) циркулярний ланцюг постачання; 3) продукт як послуга; 4) подовження життєвого циклу продукту; 5) створення платформ обміну. Відповідно, від першої до п'ятої бізнес-моделі зменшуються витрати на

впровадження цих бізнес-моделей у корпоративну практику. Однак відмовитися від застосування в будівництві більш дорогих моделей немає можливості з огляду на велику кількість невирішених проблем у галузі сталості та циркулярності вже існуючих будівель та споруд.

Розглянувши бізнес-моделі, які адаптивні до будівельної галузі, можна переходити до питань удосконалення інструментарію оцінки процесу переходу будівельної галузі до принципів ЦЕ. Для визначення вартості будівельних активів в умовах переходу та функціонування ЦЕ провідним завданням є формування системи оцінки сталості будівельних об'єктів як системи оцінки чинників сталого розвитку, що впливають на вартість активу та є основою прогнозування вартості рециклінгових ресурсів.

Традиційною методикою оцінки вартості будівельного об'єкта з урахуванням сталості є визначення вартості життєвого циклу (ВЖЦ) для будівель. Вартість життєвого циклу об'єкта включає всі витрати, які виникають протягом життєвого циклу за час його існування [10]. Відповідні витрати або грошові потоки, а також прибуток і зовнішні екстерналії повинні розглядатися від процесу зародження ідеї девелоперського проєкту до моменту утилізації об'єкта. Вартість життєвого циклу (ВЖЦ) використовується для порівняння різних альтернатив або для оцінки майбутніх витрат на різних масштабних рівнях (проєкт, будівля чи окремий елемент будівлі). Цей метод може відноситися до всього життєвого циклу, конкретної фази реалізації девелоперського проєкту. Оцінювання може бути виконано для будь-якого моменту, що відноситься до життєвого циклу об'єкта. ВЖЦ – це динамічна системна процедура, яка повинна здійснюватися неодноразово з метою отримання актуальних значень. Також необхідно використовувати сценарний підхід для подолання невизначеності протягом життєвого циклу будівельного об'єкта.

Пропонується як моніторингові точки аналізу вартості девелоперського сталого проєкту використовувати прогнозовані моменти трансформації функціонального призначення будівельного об'єкта залежно від стану ринку нерухомості та запитів стейкхолдерів девелоперського проєкту.

Залежно від наявної інформації про будівельний об'єкт методика ВЖЦ може бути більш чи менш деталізованою. Деталізовані методики ВЖЦ потребують запровадження проєктних методів управління життєвим циклом об'єкта з використанням WBS (ієрархічної структури робіт) та CBS (ієрархічної структури витрат) проєкту.

NPV (чиста зведена вартість) теж один із найуживаніших підходів у будівельних проєктах, який використовується для опису компонентів ієрархічної структури витрат. У нашому випадку NPV використовується як компонент оцінки вартості сталого будівельного активу на основі ВЖЦ, як у формулі (1):

$$NPV=C+R-S+A+M+E (+W+O), \quad (1)$$

де  $C$  – обсяг інвестицій,  $R$  – заміна вартість,  $S$  – вартість перепродажу в кінці експлуатаційного періоду (залишкова вартість),  $A$  – щорічні поточні витрати на експлуатацію, технічне обслуговування і ремонт,  $M$  – неперіодичні витрати на експлуатацію, технічне обслуговування і ремонт,  $E$  – вартість енергії, що споживається об'єктом,  $W$  – вартість водних ресурсів, що споживає об'єкт,  $O$  – інші витрати.

Кожен зі складників формули має певний ступінь невизначеності, що під час використання даного методу оцінки інвестиційного девелоперського проекту не дає можливості вважати дані моделі довірчими. У зв'язку із цим пропонується в подальших дослідженнях визначати значення цих величин методом ланцюгів Маркова для врахування невизначеності вартості сталого будівельного активу.

**Висновки з проведеного дослідження.** Було досліджено шляхи трансферу моделі циркулярної економіки в будівельну галузь. У результаті аналізу різних моделей використання принципів ЦЕ до потреб будівельної

галузі сформовано перелік бізнес-моделей, які можуть бути використані для імплементації в сучасних будівельних корпоративних структурах. Розглянуто застосовність існуючих бізнес-моделей до трансформації з урахуванням вимог сталого розвитку в будівельній галузі. Також розглянуто методи оцінки вартості життєвого циклу будівельного об'єкта та запропоновано механізм для прогнозування та оцінки вартості сталого будівельного активу для прийняття управлінських рішень девелоперами під час визначення характеристик та параметрів реалізації проектів сталого або циркулярного будівництва.

#### Список використаних джерел:

1. EU Commission 2018. Implementation of the Circular Economy Action Plan. URL : <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/> (accessed: 13 February 2020).
2. The Ellen MacArthur Foundation 2013 Towards the Circular Economy. URL : <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf> (accessed: 13 February 2020).
3. Ness D.A., Xing K. Toward a Resource-Efficient Built Environment: A Literature Review and Conceptual Model. *Journal of Industrial Ecology*, 2017. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12586> (accessed: 13 February 2020).
4. *Factor five: Transforming the global economy through 80% improvements in resource productivity* / Von Weizsacker E. et al. United Kingdom : Routledge.
5. Esa M.R., Halog A., Rigamonti L. Strategies for minimizing construction and demolition wastes in Malaysia. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017. № 120. P. 219–229. URL : [https://www.academia.edu/32260940/Strategies\\_for\\_minimizing\\_construction\\_and\\_demolition\\_wastes\\_in\\_Malaysia](https://www.academia.edu/32260940/Strategies_for_minimizing_construction_and_demolition_wastes_in_Malaysia) (accessed: 13 February 2020).
6. Stahel W.R., Reday-Mulvey G. Jobs for tomorrow: the potential for substituting manpower for energy. New York : Vantage Press, 1981. P. 238.
7. Braungart M., McDonough W., Bollinger A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions e a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*. 2016. P. 1–12. URL : [https://www.academia.edu/19041548/Cradle-to-cradle\\_design\\_creating\\_healthy\\_emissions\\_a\\_strategy\\_for\\_eco-effective\\_product\\_and\\_system\\_design](https://www.academia.edu/19041548/Cradle-to-cradle_design_creating_healthy_emissions_a_strategy_for_eco-effective_product_and_system_design) (accessed: 13 February 2020).
8. Cheshire D. Building revolutions: Applying the Circular Economy to the built environment. RIBA Publishing, 2016. P. 128.
9. Adams K., Osmani M., Thorpe A and Thornback J. Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Waste and Resource Management*. 2017. Vol. 170. № 1. P. 15–24.
10. Wübbenhorst K.L. Life cycle costing for construction projects. *Long Range Planning*. 1986. Vol. 19. P. 87–97.

#### References:

1. EU Commission 2018. Implementation of the Circular Economy Action Plan [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/> [accessed 13 February 2020].
2. The Ellen MacArthur Foundation 2013 Towards the Circular Economy [Online]. Available: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf> [accessed 13 February 2020]
3. Ness D. A., Xing K. (2017) Toward a Resource-Efficient Built Environment: A Literature Review and Conceptual Model. *Journal of Industrial Ecology*. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12586> [accessed 13 February 2020]
4. *Factor five: Transforming the global economy through 80% improvements in resource productivity* / Von Weizsacker E. et al. United Kingdom: Routledge.
5. Esa M.R., Halog A., Rigamonti L. (2017) Strategies for minimizing construction and demolition wastes in Malaysia. *Resources, Conservation and Recycling*. no. 120: pp. 219-229. Available: [https://www.academia.edu/32260940/Strategies\\_for\\_minimizing\\_construction\\_and\\_demolition\\_wastes\\_in\\_Malaysia](https://www.academia.edu/32260940/Strategies_for_minimizing_construction_and_demolition_wastes_in_Malaysia) [accessed 13 February 2020]
6. Stahel W.R., Reday-Mulvey G. (1981) Jobs for tomorrow: the potential for substituting manpower for energy. New York: Vantage Press.
7. Braungart M., McDonough W., Bollinger A. (2006) Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions e a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*. Pp. 1-12. Available: [https://www.academia.edu/19041548/Cradle-to-cradle\\_design\\_creating\\_healthy\\_emissions\\_a\\_strategy\\_for\\_eco-effective\\_product\\_and\\_system\\_design](https://www.academia.edu/19041548/Cradle-to-cradle_design_creating_healthy_emissions_a_strategy_for_eco-effective_product_and_system_design) [accessed 13 February 2020]
8. Cheshire D. (2016) Building revolutions: Applying the Circular Economy to the built environment. RIBA Publishing.
9. Adams K., Osmani M., Thorpe A and Thornback J (2017). Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Waste and Resource Management*. vol. 170, no. 1, Pp. 15–24.
10. Wübbenhorst K. L. (1986) Life cycle costing for construction projects. *Long Range Planning*. vol. 19. pp. 87–97.