

УДК 691

Долина Ю. О., студент гр. БЦІ-25ск-1**Науковий керівник: Єліссєва М. О., к.т.н., ст. викладач кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки***(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)*

ЗЕЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ НА ПРИЦИПАХ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОГО ПІДХОДУ

Глобальна екологічна криза вимагає рішучих змін у кожному секторі національної економіки кожної країни. Будівельна галузь є одним із головних джерел глобальних викидів CO₂, тому потребує швидкої та глибокої трансформації. За даними Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025: Not just another brick in the wall [1], підготовленого Global Alliance for Buildings and Construction, будівельний сектор споживає 32 % світової енергії та спричинює 34 % світових викидів CO₂. Основними забруднювачами є традиційні та основні будівельні матеріали: цемент та сталь, саме на них припадає 18 % світових викидів парникових газів та основна кількість утворених будівельних відходів.

Сучасний низьковуглецевий підхід до будівництва ґрунтується на кількох взаємопов'язаних принципах, серед яких ключовим є перехід від сталості до регенеративного проектування – від зменшення шкоди до відновлення природних систем. Наукову основу такого підходу забезпечує оцінка життєвого циклу (LCA), що дозволяє точно визначити вплив будівель на довкілля від виробництва матеріалів до їх утилізації [2]. Практична реалізація декарбонізації відбувається через використання інноваційних матеріалів, технологій і рішень, а також завдяки модернізації наявного фонду будівель і впровадженню принципів циркулярної економіки. Традиційні підходи до «зеленого» будівництва, зосереджені переважно на енергоефективності, виявилися обмеженими. Вони часто не враховують вуглецевий слід, пов'язаний із виробництвом, транспортуванням і монтажем матеріалів. Досягнення цілей “net zero” – чистого нуля потребує не просто зниження споживання енергії, а переосмислення самої мети архітектурного проектування та будівництва.

На основі сучасних методологій і міжнародного досвіду в роботі запропоновано п'ять взаємопов'язаних принципів, які формують основу переходу до низьковуглецевого будівництва.

1. Від сталості до регенерації: нова філософія проектування.

Тривалий час основною метою будівельної галузі було стале будівництво, спрямоване на зменшення шкоди довкіллю. Однак в умовах кліматичної кризи цього вже недостатньо. Сучасний фокус зміщується на регенеративний дизайн [3] – підхід, що прагне не лише мінімізувати негативний вплив, а й створювати позитивні зміни для природних і соціальних систем. Як наголошує ініціатива UK Architects Declare [4], такий підхід трансформує саму філософію проектування: замість просто підтримувати баланс, він спрямований на активне відновлення середовища.

Цей підхід базується на двох основних принципах:

- співіснування з природою. Людські системи, у тому числі будівлі й міста, розглядаються як частина природних процесів, а не окрема категорія. Архітектура має бути інтегрованою у місцеві екосистеми, сприяти біорізноманіттю, очищенню води й повітря, покращенню якості ґрунтів.

- відповідальність перед майбутніми поколіннями. Проектні рішення мають враховувати довгострокові наслідки та залишати майбутнім поколінням не екологічні проблеми, а ресурси і здорове середовище.

2. Оцінка життєвого циклу (LCA).

Щоб перейти від філософських принципів до практичних дій, потрібні інструменти

точного вимірювання. Без кількісної оцінки будь-які заяви про «низьковуглецевість» залишаються декларативними.

Тут ключову роль відіграє оцінка життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA) – системний аналіз екологічного впливу будівлі або матеріалу протягом усього періоду їх існування.

Згідно з методологією, LCA охоплює кілька етапів:

- виробництво (A1 – A3): видобуток сировини, транспортування, виготовлення матеріалів;
- будівництво (A4 – A5): логістика і сам процес зведення;
- експлуатація (B1 – B7): використання енергії для опалення, охолодження, обслуговування тощо;
- кінець життєвого циклу (C1 – C4): демонтаж, утилізація, переробка.

Використання LCA ще на початкових стадіях проєктування дає змогу проєктувальникам усвідомлено обирати матеріали й технології, оцінювати різні конструктивні рішення та приймати обґрунтовані кроки для реального скорочення викидів. У такий спосіб декарбонізація перетворюється з гасла на конкретне інженерне завдання [5].

3. Інженерні мережі, матеріали та процеси.

Якщо методологія LCA дозволяє визначити, де саме і що саме потрібно скорочувати, то інженерні рішення вказують на те, як це реалізувати на практиці. Зменшення вуглецевого сліду охоплює три ключові аспекти – вибір будівельних матеріалів, виробів або конструкцій, оптимізацію будівельних процесів та підвищення ефективності експлуатаційних систем.

Матеріали і процеси.

Найбільшу частку втіленого вуглецю дають цемент і сталь. Тому основні зусилля спрямовані на їх заміну або оптимізацію:

- масивна деревина (CLT, Glulam): зберігає поглинутий вуглець і дає змогу будувати багатоповерхові конструкції;
- низьковуглецевий бетон: часткове заміщення клінкеру вторинними матеріалами (шлаком, золою-виносу тощо), використання технологій уловлювання CO₂;
- біоорієнтовані матеріали: костробетон, солом'яні панелі, ізоляція з міцелію чи целюлози.

Паралельно впроваджується процес попереднього виготовлення компонентів будівлі (каркасів, стінових панелей, покрівель тощо) на заводі, що зменшує кількість відходів і енергозатрат на будівельному майданчику, а також поступове використання електротехніки, замість використання дизеля.

Інженерні системи.

Після завершення будівництва ключовим чинником стає енергоефективність будівлі або споруди під час самої експлуатації. Основу цього підходу становить концепція «Fabric First» [6], що передбачає максимально герметичну оболонку будівлі, високі показники теплоізоляції та усунення містків холоду. Системи опалення й охолодження зазвичай базуються на теплових насосах, а вентиляція з рекуперацією тепла дозволяє суттєво зменшити енергоспоживання. Додаткову автономність забезпечують сонячні панелі, завдяки яким будівля може частково покривати власні енергетичні потреби.

4. Розумна модернізація.

Аналіз життєвого циклу (LCA) свідчить, що значна частина викидів утворюється ще до початку експлуатації будівлі – на етапі її зведення та виробництва матеріалів. Тому найекологічніша споруда – це та, яку не потрібно будувати заново. Саме з цієї причини одним із ключових напрямів стає «розумна модернізація» (intelligent retrofit) – оновлення, адаптація та повторне використання вже існуючих об'єктів. Практика архітектурного бюро Orms показує, що відмова від підходу «знести й побудувати

наново» дає змогу зберегти величезний обсяг втіленого вуглецю та скоротити екологічний слід проєктів [5]. Нові проєкти, своєю чергою, мають базуватися на двох принципах циркулярної економіки: проєктування для демонтажу, тобто конструкції повинні легко розбиратися, щоб їхні елементи можна було повторно використати та запровадження паспортизації будівельних матеріалів: цифрові бази даних, що фіксують склад і походження матеріалів, перетворюючи будівлі на «банки ресурсів» для майбутнього.

5. Культурна трансформація та спільні дії.

Жодні технологічні новації не матимуть значного впливу без глибоких змін у професійній культурі. Приклад мережі Architects Climate Action Network (ACAN) демонструє, що справжній перехід до низьковуглецевого будівництва можливий лише за умови об'єднання зусиль архітекторів, інженерів та забудовників [7]. Такі зміни мають охоплювати кілька ключових напрямів. По-перше, це оновлення нормативної бази: запровадження обов'язкових розрахунків втіленого вуглецю, створення податкових стимулів для реконструкції та перегляд стандартів матеріалів. По-друге, важливо підвищувати екологічну грамотність і змінювати освіту – включати принципи LCA та регенеративного підходу у навчальні програми. І, нарешті, необхідне відкрите поширення знань – формування професійних платформ для обміну досвідом.

Висновок. Наразі Україна потребує масштабного відновлення великої кількості об'єктів цивільної інфраструктури, пошкоджених або зруйнованих під час повномасштабної війни. З одного боку це можна розглядати як великий виклик, а із іншого як унікальну можливість переформатувати модель будівельної галузі та запровадити нові низьковуглецеві технології у відновлення всієї інфраструктури України. Перехід до низьковуглецевого будівництва – це не просто технічна зміна, а комплексна трансформація, що охоплює п'ять рівнів: філософський – формування регенеративного мислення, методологічний – застосування LCA, технологічний – впровадження інноваційних матеріалів і систем, стратегічний – розвиток модернізації та принципів циркулярності, і культурний – об'єднання професійних спільнот. Лише синергія цих напрямів здатна перетворити будівельну сферу з чинника екологічного навантаження на рушійну силу кліматичних змін, що не лише зменшує шкоду, а й сприяє відновленню планети.

Перелік посилань:

1. Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025: Not just another brick in the wall. Вебсайт Global Alliance for Buildings and Construction. URL: <https://globalabc.org/resources/publications/global-status-report-buildings-and-construction-20242025-not-just-another>
2. Free live courses | Construction LCA Bootcamp | One Click LCA Academy. LCA & EPDs for construction & manufacturing | One Click LCA. URL: <https://oneclicklca.com/resources/lca-bootcamp>
3. Regenerative Design Primer. Вебсайт UK Architects Declare. URL: [Regenerative Design Primer | UK Architects Declare Climate and Biodiversity Emergency](#)
4. UK Architects Declare Climate and Biodiversity Emergency. Вебсайт UK Architects Declare. URL: <https://uk.architectsdeclare.com/>
5. Whole life carbon: a deep dive into RICS Second Edition. Вебсайт Orms. Orms Architects. URL: <https://www.orms.co.uk/posts/whole-life-carbon-a-deep-dive-into-rics-second-edition>
6. What does Fabric First mean? Вебсайт Nottingham Energy Partnership. URL: <https://www.nottenergy.com/what-does-fabric-first-mean>
7. ACAN Embodied Carbon Thematic Group * Architects Climate Action Network – ACAN!. Architects Climate Action Network – ACAN! URL: <https://architectscan.org/embodied-carbon/>