

УДК: 338.45:691:502.131.1:004.65

DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.208.391-397>**Ларіонова К.А.**доктор філософії з публічного управління
Український державний університет науки і технологій**Larionova Kateryna**

PhD in Public Administration Sc.

Ukrainian State University of Science and Technology

<https://orcid.org/0000-0002-2402-5945>**Саркісян Л.Г.**

кандидат економічних наук

Державний торговельно-економічний університет

Sarkisian Larysa

PhD in Economic Sc.

State University of Trade and Economics

<https://orcid.org/0000-0003-3030-5000>

ПРОБЛЕМИ СТАТИСТИКИ ТА АНАЛІТИКИ ДАНИХ В ОЦІНЦІ ЗЕЛЕНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ БУДІВНИЦТВА

Статтю присвячено проблемам сучасної статистики зеленого будівництва в умовах цифрової трансформації та кліматичного переходу. Показано, що домінуючі підходи до вимірювання результатів озеленення будівельного сектору зосереджуються на адміністративних показниках, тобто сертифікатах, площах реновацій і обсягах інвестицій, і не відображають динаміки реальних енергетичних, вуглецевих і фінансових характеристик будівельних активів. Обґрунтовано, що ключовою причиною цієї обмеженості є фрагментація даних і відсутність об'єктно орієнтованої інфраструктури спостереження. Запропоновано концептуальну модель інтегрованої зеленої статистики, побудованої на осі BIM – LCA – Digital Building Logbook – MRV – зелена фінансова звітність, яка переводить вимірювання з площини статичних станів у площину траєкторій активів. Особливу увагу приділено рівню LOD 100 як критичній точці формування стартової екологічної та фінансової траєкторії будівель. Доведено, що інтеграція BIM і LCA на ранніх стадіях проектування створює передумови накопичення даних для прогнозно-орієнтованої статистики, здатної підтримувати як регуляторні рішення, так і зелене фінансування.

Ключові слова: зелена трансформація будівництва, зелена статистика, інфраструктура даних, BIM, LCA, Digital Building Logbook, MRV, траєкторії будівельних активів, зелена фінансова звітність

PROBLEMS OF STATISTICS AND DATA ANALYTICS IN ASSESSING GREEN TRANSFORMATIONS IN CONSTRUCTION

This article examines the methodological and infrastructural limits of contemporary green construction statistics in the context of digital transformation and the climate transition. Current measurement practices in the building sector remain dominated by administrative indicators – certificates, renovated areas, and investment volumes – which fail to capture the dynamic energy, carbon and financial trajectories of buildings as long-lived assets. As a result, the economic effects of green investments and the evolution of climate and energy risks remain weakly observable and difficult to compare across time and projects.

The purpose of the study is to conceptualize a shift from fragmented, event-based measurement toward an infrastructure-driven model of green statistics built on the integration of Building Information Modeling (BIM), Life Cycle Assessment (LCA), Digital Building Logbooks (DBL) and Measurement-Reporting-Verification (MRV) regimes, with a specific focus on early design stages (LOD 100) as the critical point where environmental and financial trajectories are formed.

Methodologically, the paper employs an institutional and systemic analysis that combines recent BIM–LCA research with EU regulatory frameworks (EPBD, Level(s), DBL, CSRD/ESRS) and MRV practices. A conceptual modeling approach is used to map how data layers and standards interact across the building life cycle and to identify information gaps that constrain statistical observability and comparability.

ISSN друкованої версії: 2224-6282

ISSN електронної версії: 2224-6290

© Ларіонова К.А., Саркісян Л.Г., 2025

The main result is a coherent measurement architecture (BIM – LCA – DBL – MRV – green financial statistics) that enables a transition from static status indicators to asset-level trajectories. It is shown that integrating BIM and LCA at LOD 100 makes buildings statistically observable as future-oriented green assets, allowing scenario-based comparison of design alternatives before trajectories become locked in. This creates the preconditions for panel-like, object-oriented green statistics capable of supporting risk assessment, investment decisions and policy evaluation beyond retrospective reporting.

Keywords: green construction, green statistics, data infrastructure, BIM, LCA, Digital Building Logbook, MRV, asset trajectories, green financial reporting

JEL classification:: Q56, L74, C81

Постановка проблеми. Сучасний світ дедалі більше організовується навколо даних. Статистика вже давно перестала бути лише інструментом фіксації минулого й перетворилася на ключовий механізм управління складними соціально-економічними процесами. Завдяки розвитку цифрових технологій, великих даних і аналітики вона отримала нові методологічні можливості: від інтеграції різнорідних джерел інформації до побудови прогнозних моделей і сценаріїв. Водночас саме в цій точці зростання дедалі чіткіше виявляються її внутрішні обмеження. Традиційні галузеві індикатори в будівництві, сформовані для індустріальної економіки та лінійних виробничих процесів, виявляються недостатніми для опису динамічних, міждисциплінарних і трансформаційних змін, що визначають сучасний розвиток.

Зелений перехід є одним із найбільш показових прикладів цієї напруги між новими суспільними цілями та застарілими вимірювальними рамками. Він не зводиться до окремих екологічних ініціатив чи технологічних інновацій, а означає глибоку перебудову економічних структур, моделей інвестування та логіки використання матеріальних активів. У цьому сенсі будівельний сектор посідає особливе місце. З одного боку, він є одним із найбільших споживачів енергії та матеріалів і джерелом значної частки глобальних викидів; з іншого – саме тут зосереджені ключові можливості для довгострокового скорочення екологічного навантаження через проектування, реновацію та управління будівельним фондом. Будівлі формують не лише просторове середовище життя, а й тривалі траєкторії енергоспоживання, вуглецевих викидів і фінансових зобов'язань на десятиліття вперед.

Проте на тлі цієї структурної ваги будівельного сектору статистичні підходи до дослідження його озеленення залишаються вкрай обмеженими. Переважно вони зосереджуються на обліку сертифікатів, площ, інвестиційних програм або виконаних проєктів, не здатних відповісти на ключові питання зеленого переходу: чи справді будівельний фонд рухається вздовж траєкторії декарбонізації, чи зменшуються системні енергетичні й фінансові ризики, чи створюють зелені рішення довгострокову економічну цінність. Між тим саме ці питання є визначальними як для державної політики, так і для інвесторів, фінансових установ і суспільства загалом.

Аналіз досліджень і публікацій. Ознайомлення з корпусом сучасних робіт, присвячених цифровому проєктуванню та екологічній оцінці будівель (зокрема, з дослідженнями Т. Обрехта та ін. [1], Дж. Басбагілла

та ін. [2], Ф. Резаї, С. Булле і П. Лесажа [3]), показує стійке зростання уваги до проблеми вимірювання наслідків зеленого будівництва. У центрі цих робіт перебуває питання створення порівнюваних сценаріїв майбутніх екологічних траєкторій будівель. Паралельно у самій статистичній науці розгортається дискусія про обмеженість традиційних підходів до моделювання та збору даних у складних динамічних системах [4; 5]. На наш погляд, ці дві лінії досліджень – інженерно-екологічна та статистично-методологічна – є двома сторонами однієї проблеми. В обох випадках ідеться про те, як зробити майбутні траєкторії складних систем вимірюваними. У будівництві це означає перетворення проєктних рішень на кількісні екологічні та енергетичні профілі; у статистиці – створення таких інфраструктур даних і методів аналізу, які дозволяють працювати з об'єктами, що змінюються у часі та залежать від багатьох взаємопов'язаних чинників.

Мета дослідження. Саме з розриву між потенціалом цифрових і аналітичних інструментів та інерцією статистичних систем і постає проблематика цієї статті. Її метою є концептуалізація переходу від фрагментованої статистики зеленого будівництва до інфраструктурної моделі вимірювання, заснованої на інтеграції BIM, LCA, цифрових будівельних логбуків і режимів MRV, із особливим акцентом на ранні стадії проєктування як критичну точку формування екологічних і фінансових траєкторій будівельних активів. Статистика тут розуміється у двох вимірах: 1) як інституційна система спостереження (джерела, одиниці, зв'язність); 2) як набір методів аналізу (похибка, причинність, прогноз). Стаття фокусується насамперед на першому вимірі, показуючи, як інфраструктура даних відкриває (або блокує) застосування другого.

Методи дослідження. Дослідження має аналітично-концептуальний характер і ґрунтується на систематизації та інтеграції наявних наукових, технічних і регуляторних підходів до вимірювання зеленої трансформації будівельного сектору. Основним методом є інституційно-системний аналіз, у межах якого поєднуються:

- наукові розробки з інтеграції BIM і LCA на ранніх стадіях проєктування;
- європейські регуляторні рамки (EPBD, Level(s), Digital Building Logbook, CSRD);
- практики вимірювання, звітності та верифікації (MRV).

Ці елементи розглядаються не ізольовано, а як складові єдиної інфраструктури даних, яка формує можливості та обмеження статистики зеленого будівництва.

Для узагальнення результатів використовується концептуальне моделювання, тобто побудова узгодженої схеми взаємозв'язків між цифровими моделями будівель (BIM), оцінкою життєвого циклу (LCA), цифровими будівельними логбуками (DBL), режимами MRV та фінансовою звітністю. Це дозволяє виявити, на яких рівнях і в які моменти життєвого циклу будівель виникають інформаційні розриви, що обмежують здатність статистики відображати реальний перебіг зеленої трансформації.

Виклад основних результатів дослідження. Попри швидке зростання обсягів зелених інвестицій, стандартів енергоефективності та екологічної сертифікації, сучасна статистика будівельного сектору залишається структурно неготовою до вимірювання реальної зеленої трансформації. Домінуючі показники зосереджені на подіях і статусах: кількості сертифікованих будівель, площах реновацій, обсягах витрат або виконаних проєктів. Вони відображають адміністративну активність, але не дозволяють відповісти на ключове питання зеленого переходу: чи змінюється екологічна та економічна траєкторія будівельного фонду.

Цей підхід має глибоке історичне коріння. Галузева статистика формувалася для обліку виробничих потоків і фізичних обсягів у індустріальній економіці, де головним було «скільки збудовано» і «скільки вкладено». У контексті зеленої трансформації цього виявляється принципово недостатньо. Декарбонізація будівництва є процесом, що розгортається в часі й залежить від архітектурних рішень, матеріальних виборів, режимів експлуатації та повторних інвестицій. Вона не може бути зведена до одноразових актів сертифікації чи завершення проєкту.

Криза сучасної статистики в оцінці зеленої трансформації будівництва має не лише інституційний, а й глибокий методологічний вимір. Як показав Л. Брейман у своїй програмній статті «Statistical Modeling: The Two Cultures» [4, р. 199–200], у статистиці співіснують дві принципово різні культури аналізу даних: модельно-орієнтована, яка виходить з припущення про заданий стохастичний механізм генерації даних, і алгоритмічна, яка розглядає цей механізм як невідомий і зосереджується на виявленні структур і закономірностей у самих даних. Тривала домінанта першої культури, за Л. Брейманом, призвела до відірваних від практики теорій і сумнівних емпіричних висновків у ситуаціях, де процеси є складними, гетерогенними та динамічними.

Саме такою є ситуація у галузі зеленої трансформації будівельного сектору. Ключова проблема, на нашу думку, полягає в тому, що класична статистика не працює з відповідним об'єктом спостереження: будівля для неї є або одиницею площі, або елементом ринку нерухомості, або носієм сертифікату. Натомість у зеленому переході будівля є динамічним активом, чий енергетичний, вуглецевий та фінансовий профіль змінюється протягом десятиліть. За цих умов припущення про стабільні, добре специфіковані стохастичні моделі, на яких традиційно ґрунтується галузева статистика, виявляються структурно слабкими. При цьому саме

алгоритмічно-орієнтовані підходи, що працюють із великими, неоднорідними та пов'язаними масивами даних, відкривають можливість емпірично відстежувати траєкторії будівельних активів у часі без жорстких апіорних припущень про їхню поведінку.

Однією з ключових структурних перешкод для оцінювання реальних ефектів зеленої трансформації будівельного сектору є фрагментація статистичних і адміністративних даних. Як показує досвід країн ЄС, навіть за наявності розвинених інструментів енергетичної сертифікації та реєстрів нерухомості ці масиви інформації залишаються ізольованими: бази даних щодо цін продажу та оренди не містять показників енергоефективності будівель, а реєстри ЕРС не пов'язані з фінансовими або кадастровими даними [6]. Через ізольованість енергетичних реєстрів і баз ринкових транзакцій статистика не має базового, об'єктно ідентифікованого набору даних, який дозволяє «звести» енергетичний профіль конкретної будівлі з її ринковою ціною в порівнюваному часі. За таких умов будь-які оцінки «економічної віддачі» енергоефективності перетворюються на припущення, бо неможливо коректно оцінити навіть кореляції (не кажучи про каузальну інтерпретацію), а отже, економічна результативність зелених інвестицій залишається поза полем статистичного підтвердження.

Саме в цьому контексті Європейський Союз запропонував концепцію Digital Building Logbook (DBL) як нового типу інфраструктури даних, покликаної інтегрувати розрізнені джерела інформації про будівлі. На відміну від традиційних реєстрів або сертифікаційних систем, DBL задумується не як ще одна база даних, а як інтероперабельний шлюз, що з'єднує енергетичні сертифікати, паспорти реновацій, індикатори розумної готовності будівель (Smart Readiness Indicators, SRI) та європейську рамку показників сталості Level(s), кадастрові та ринкові дані в єдину цифрову архітектуру. У цій логіці будівля перестає бути набором розрізнених адміністративних записів і перетворюється на безперервний інформаційний профіль, який супроводжує її протягом усього життєвого циклу [7].

З погляду статистики це означає зсув від обліку станів до аналізу траєкторій. Традиційна зелена статистика фіксує кількість сертифікатів, площі реновацій або обсяги інвестицій. Інфраструктура цифрових логбуків дозволяє відстежувати, як у часі змінюються енергетичні, вуглецеві та фінансові характеристики конкретних будівельних активів. З'являється новий клас показників: не «скільки зроблено», а наскільки швидко й стабільно будівельний фонд рухається вздовж траєкторії декарбонізації та зниження ризиків.

Цей зсув вимагає іншої архітектури даних, ніж та, на якій побудована класична галузева статистика. Її можна описати як послідовність взаємопов'язаних рівнів: BIM – LCA – DBL – MRV – зелена фінансова статистика (табл. 1).

BIM (Building Information Modeling) формує первинний вимірювальний шар, у якому будівля існує як структурований цифровий об'єкт із даними про всі конструктивні елементи, матеріали та інженерні

системи. Це переводить облік із описових категорій у об'єктно-орієнтовані дані, придатні для кількісного аналізу [8]. Без BIM будь-які екологічні оцінки залишаються агрегованими або припущеними.

LCA (Life Cycle Assessment) накладається на BIM як механізм, що перетворює геометрію й матеріали на потоки енергії, викидів і ресурсів у часі [1]. Саме тут будівля починає існувати як екологічна траєкторія, а не просто як фізичний об'єкт.

Дослідження Дж. Багбагілла щодо інтеграції BIM і LCA на ранніх стадіях проєктування показали фундаментальну проблему: відсутність автоматизованого, масштабованого зв'язку між цифровою моделлю будівлі та екологічними базами даних. Через ручне зіставлення елементів BIM із LCA-інструментами аналіз обмежувався окремими збірками (стіни, двері, навіси) і не міг бути застосований до будівлі як цілого, не кажучи вже про будівельний фонд [2].

Це має прямі статистичні наслідки. Якщо екологічні показники розраховуються лише для фрагментів або за спрощеними припущеннями, агреговані індикатори («викиди на м²», «ефективність інвестицій»)

відображають не реальні характеристики будівель, а параметри програмних моделей.

Саме тому BIM і LCA самі по собі не створюють статистики. Це робить DBL, який інтегрує BIM-моделі, LCA-результати, EPC, паспорти реновації, кадастрові та ринкові дані в єдиний цифровий профіль будівлі.

На цій основі працює MRV (Measurement, Reporting, Verification) – режим регулярного вимірювання, звітування й незалежної перевірки. MRV переводить екологічні характеристики в площину управлінської та фінансової відповідальності [6].

Завершальним рівнем є зелена фінансова статистика, де дані DBL і MRV інтегруються в банківський аналіз ризиків, корпоративну звітність і інвестиційну оцінку. Тут енергоефективність і вуглецеві траєкторії транслюються у вартість активу, кредитоспроможність і ризик [тут — CSRD, ESRS, climate risk]. Зазначимо, що взаємозалежність між складовими має вигляд не лінійного ланцюга, а петлі зворотного зв'язку: результати MRV/фінансів впливають на типології BIM-бібліотек, пороги LCA і вимоги DBL, і навпаки.

Таблиця 1

Архітектура системи збирання даних у галузі зеленого будівництва

Рівень	Функціональна роль	Тип даних	Об'єкт вимірювання	Аналітична функція
BIM	Цифрова модель будівлі	Геометрія, конструкції, матеріали, системи	Фізична структура будівлі	Об'єктність і формалізація вимірювань
LCA	Аналітичний шар над BIM	Енергія, викиди, ресурси	Життєвий цикл впливів	Екологічний профіль активу
DBL	Інтеграційна інфраструктура	BIM, LCA, EPC, Level(s), ринок	Цифровий профіль будівлі	Безперервність та інтегрованість даних
MRV	Режим вимірювання та верифікації	Часові ряди та звіти	Реальні зміни енергетичних, вуглецевих та експлуатаційних показників	Достовірність і порівнюваність даних
Зелена фінансова статистика	Фінансова інтерпретація	Ризики, вартість, дохідність	Економічний ефект	Капіталізація

Джерело: авторська розробка

У сукупності ця вісь означає перехід від статистики «подій і обсягів» до статистики «активів і траєкторій». Будівля перестає бути разовим об'єктом обліку й перетворюється на динамічний зелений актив, характеристики якого можуть систематично вимірюватися, перевірятися й капіталізуватися. У цьому світлі цифрові логбуки, BIM-орієнтовані бази даних і автоматизовані екстрактори виглядають не IT-інновацією, а умовою існування зеленої статистики як такої.

Наведене дозволяє стверджувати, що сьогодні статистика зеленого будівництва не відчуває нестачі інструментів вимірювання; водночас проблематичним стає аспект, коли саме ці інструменти підключаються до життєвого циклу будівлі. BIM, LCA, цифрові логбуки, MRV і фінансова звітність утворюють потужну інфраструктуру даних, але її ефективність залежить від моменту, з якого будівля починає існувати як вимірюваний об'єкт. Якщо ця інфраструктура активується лише після завершення проєктування або введення будівлі в експлуатацію, вона неминуче працює з уже сформованими траєкторіями енергоефективності

та вуглецевого навантаження.

Ця обмеженість стає особливо очевидною в економічному вимірі. Інвестори, банки й державні програми потребують даних не лише про те, що будівля відповідає певному екологічному стандарту сьогодні, а про те, як вона поводитиметься в майбутньому: які матиме витрати на енергію, як швидко знецінюватиметься, наскільки буде вразливою до кліматичних і регуляторних змін. Однак статистика зеленого будівництва практично не містить інформації про ці параметри, залишаючи фінансові рішення у сфері високої невизначеності.

У результаті виникає парадокс: зелене будівництво дедалі більше інтегрується у кліматичну, енергетичну та фінансову політику, але його статистичне відображення залишається поверхневим і ретроспективним. Воно фіксує те, що вже відбулося, але не здатне керувати тим, що формується.

Саме тому питання статистики зеленого будівництва неминуче зводиться до стадій проєктування, на яких визначаються базові параметри будівлі. Серед них особливе місце займає рівень LOD 100 –

концептуальний етап, де будівля вперше набуває цифрової форми у BIM і де закладаються ключові просторові та конструктивні рішення. У подальшому саме ці рішення визначатимуть межі можливих енергетичних, вуглецевих і фінансових результатів об'єкта, незалежно від того, наскільки детально вони будуть оптимізовані на пізніших стадіях. Сучасні дослідження з інтеграції BIM і LCA показують, що ключові екологічні наслідки архітектурних рішень можуть бути кількісно оцінені ще на концептуальній стадії проектування (LOD 100): роботи Ф. Резаї, С. Булле і П. Лесажа демонструють, що навіть за відсутності точних даних про матеріали можна побудувати валідні моделі екологічних траєкторій будівель, якщо використовувати структуровані бази збірок, шарів і матеріалів та зіставляти їх із BIM-моделлями [3]. Це означає, що суспільство технічно здатне бачити екологічні наслідки своїх будівельних рішень до того, як вони стануть незворотними.

Стадія LOD 100 має непропорційно великий вплив на весь подальший життєвий цикл об'єкта. Тут визначаються об'ємно-просторові характеристики, орієнтація, форма, цільність, принципи огорожувальних конструкцій і загальна енергетична логіка будівлі. З погляду екологічних і фінансових наслідків це означає, що на LOD 100 фактично задається траєкторія енергоспоживання, вуглецевих викидів і експлуатаційних витрат на десятиліття вперед. Саме тому LOD 100 є точкою, де виникає найбільший розрив між економічною та статистичною раціональністю. З одного боку, тут ще відносно дешево і легко змінювати рішення: форма, орієнтація, товщина оболонки, типи конструкцій можуть бути скориговані без істотних витрат. З іншого боку, саме на цій стадії майже всі системи зеленої статистики залишаються сліпими, оскільки вони підключаються лише після появи сертифікатів, завершення

будівництва або початку експлуатації. У результаті статистика починає вимірювати будівлю тоді, коли екологічна та енергетична траєкторія вже закріплені.

На нашу думку, LOD 100 є критичною точкою не лише для проектування, а й для архітектури зеленої статистики. Якщо на цій стадії не формується вимірюваний екологічний профіль, усі наступні рівні – DBL, MRV, фінансова звітність – працюють із уже зафіксованими активами, тобто можуть лише констатувати наслідки, але не впливати на вибір траєкторії.

Саме тут інтеграція BIM і LCA набуває системного значення. Вона дозволяє перетворити ранній, ще гіпотетичний проєкт будівлі на об'єкт кількісної екологічної оцінки, де різні архітектурні й конструктивні рішення можна порівнювати за їхніми довгостроковими наслідками. У такий спосіб LOD 100 перестає бути стадією «інтуїтивних рішень» і стає моментом, коли зелена траєкторія будівлі вперше стає статистично видимою.

Однак визнати стратегічну роль LOD 100 – лише перший крок. Для того щоб ця стадія справді стала частиною статистики зеленого будівництва, необхідно відповісти на принципове запитання: що саме має бути вимірюваним на цьому етапі? Які параметри будівлі повинні бути формалізовані й пов'язані з екологічними та фінансовими наслідками ще до того, як з'являться детальні специфікації матеріалів і кошториси? Саме від відповіді на це питання залежить, чи зможе зелена статистика вийти за межі ретроспективного обліку і стати інструментом формування майбутніх траєкторій будівельного фонду. Одним з таких підходів може бути запровадження індикаторів стартової екологічної траєкторії будівельних активів наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Індикатори стартової екологічної траєкторії будівельних активів

Категорія показника	Показник	Роль у зеленій статистиці
Геометричні параметри	Об'ємна конфігурація будівлі	Визначає базову форму і впливає на енергетичні потоки
	Площа зовнішніх оболонок	Ключовий фактор тепловтрат і енергоспоживання
	Орієнтація та планування	Впливає на пасивні сонячні вигоди та освітлення
Матеріальні параметри	Типологія оболонки	Дозволяє оцінити порядок величини екологічного впливу
	Класифікація збірок	Дає змогу застосувати узагальнені LCA коефіцієнти
Енергетичні показники	Попередня енергетична модель	Дає перший прогноз споживання
	Первинна енергія на м ²	Початкова точка для порівняння альтернатив
Контекстні дані	Кліматична зона	Визначає базові умови експлуатації
	Урбаністичні умови	Впливають на освітлення і теплообмін
Порівняльні метрики	Агреговані екологічні коефіцієнти	Дозволяють порівнювати концепти на ранній стадії

Джерело: розроблено авторами на основі [7].

Підкреслимо, що LOD 100 не є ще одним рівнем поруч із BIM або LCA; він є моментом часу, в якому ця архітектура вперше може почати працювати, точкою входу будівлі в вимірювальну інфраструктуру і

набуття характеристики економічно та екологічно вимірювального активу. Саме тут BIM і LCA формують стартову екологічну траєкторію, яка згодом інституціоналізується через DBL, верифікується через MRV і

капіталізується у фінансовій статистиці.

Інтеграція LOD 100 у вісь «BIM – LCA – DBL – MRV – зелена фінансова статистика» не є суто технічною деталлю. Вона радикально змінює функціональну роль кожного елемента цього ланцюжка. Без LOD 100 система працює постфактум: BIM фіксує те, що вже спроектовано, LCA оцінює те, що вже побудовано, DBL акумулює історію, MRV перевіряє виконання, а фінансова статистика лише переоцінює ризики готових активів. У такій конфігурації зелена трансформація є об'єктом обліку, але не об'єктом управління.

Коли ж BIM і LCA підключаються вже на рівні LOD 100, ланцюжок набуває принципово іншої логіки. BIM перестає бути інженерною документацією і стає моделлю майбутнього активу; LCA перестає бути інструментом звітності й перетворюється на механізм формування екологічної траєкторії. DBL у цьому випадку не збирає розрізнені сертифікати, а фіксує цифрову ідентичність будівлі з моменту її концептуалізації. MRV відстежує не просто відповідність стандартам, а виконання прогнозованої траєкторії. Нарешті, зелена фінансова статистика отримує можливість працювати не з минулими викидами, а з майбутніми ризиками та потоками вартості.

Висновки. Таким чином, маємо підстави говорити про необхідність модернізації системи збирання інформації у галузі зеленого будівництва. Як було показано вище, інтеграція BIM і LCA на рівні LOD 100 відкриває можливість формування прогнозно-орієнтованої зеленої статистики, яка робить об'єктом вимірювання не стан, а майбутній екологічний профіль активу. Проте ця можливість не інтегрована в жоден ключовий контур статистичного обліку. Системи енергетичної сертифікації, рамка Level(s), режими MRV та корпоративна звітність за CSRD працюють переважно з уже збудованими або детально спроектованими об'єктами. У результаті зелена політика входить у процес після того, як траєкторія будівлі вже визначена і змінювати форму, конструктивну логіку чи матеріальну базу надто дорого або неможливо.

Цей розрив детермінує втрату одразу декількох можливостей. По-перше, екологічна оптимізація відбувається не там, де вона є найефективнішою. Замість того щоб впливати на фундаментальні архітектурні

рішення, регулювання концентрується на пізніх корекціях – утепленні, заміні обладнання, компенсаційних механізмах. Це робить зелений перехід дорожчим, ніж він міг би бути.

Друга втрачена можливість полягає в тому, що фінансові ринки не отримують інформації про майбутній «ступінь озеленення» активів. Якщо BIM–LCA на LOD 100 дозволяє прогнозувати вуглецеву, енергетичну та ресурсну траєкторію будівлі ще до її зведення, то ці дані могли б бути використані для зеленого фінансування, іпотеки, страхування та гарантій. Натомість інвестори змушені покладатися на сертифікати й декларації, які фіксують фактичний стан, а не перспективи ефективності та ризику.

Третя втрачена можливість стосується самої статистики. За наявності цифрових проектних моделей і LCA-розрахунків на ранніх стадіях можна було б формувати прогнозно-орієнтовану зелену статистику: агрегувати не лише те, що вже збудовано, а й те, що планується, з відомими екологічними наслідками. Це дозволило б державі бачити майбутні викиди, енергетичні потреби та інвестиційні ефекти ще до реалізації проектів.

Взагалі статистика в галузі зеленого будівництва потребує переходу від поперечного зрізу до панельного спостереження за будівлями як активами в часі, де одиницею аналізу є ідентифікована будівля, а ключовими змінними – її енергетичні, вуглецеві та фінансові показники з урахуванням невизначеності вимірювання. Саме наявність такого дизайну спостереження дозволить ідентифікувати, кількісно оцінювати та зіставляти результати зеленої трансформації будівельного фонду.

За такого підходу інфраструктури BIM, LCA, цифрових будівельних логбуків і MRV можуть бути інтерпретовані не лише як інженерні або адміністративні інструменти, а як матеріалізація алгоритмічної культури в статистиці зеленого будівництва. Не намагаючись вписати будівлі у заздалегідь задані модельні форми, вони створюють простір для збору, пов'язування й аналізу високорозмірних об'єктно орієнтованих даних, з яких екологічні та фінансові траєкторії можуть бути виявлені емпірично.

Список використаних джерел:

1. Obrecht T.P., Röck M., Hoxha E., & Passer A. BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 2020, 12, 5534. DOI:10.3390/su12145534
2. Basbagill J., Flager F., Lepech M., Fischer M. Application of LCA to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Building and Environment*, 2023. Volume 60, 81–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.009>
3. Rezaei F., Bulle C., Lesage P. Integrating BIM and LCA in early and detailed building design stages. *Building and Environment*, Volume. 2019. 153, 158–167. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132319300447>
4. Breiman L. Statistical Modeling: The Two Cultures. *Statistical Science*, 16(3), 199–231. (2001). URL: https://ledaliang.github.io/journalclub/_static/breiman2001/Summary.pdf
5. Bostic W. G. Jr., Jarmin R. S., Moyer B. 2016. Modernizing Federal Economic Statistics. *American Economic Review*, 106 (5), 161–64. URL: <https://www.aeaweb.org/articles/pdf/doi/10.1257/aer.p20161061>
6. European Commission. A Renovation Wave for Europe: Greening Our Buildings, Creating Jobs, Improving Lives. European Commission: Luxembourg, 2020. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal>

content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0662

7. European Building Sustainability performance and energy certification Hub. D2.4 – The digital logbook, definition of data requirements, sources, and collection process : Project no. 101033916.

8. Cavalliere C., Hollberg A., Dell'Osso G. R., Habert G. Consistent BIM-led LCA during the entire building design process. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 323 (1): 012099. DOI: 10.1088/1755-1315/323/1/012099

9. Luo Y., Shen J., Liang, H, Sun L., Dong L. (2024) Supporting building life cycle carbon monitoring, reporting and verification: A traceable and immutable blockchain-empowered information management system and application in Hong Kong. Resources, Conservation and Recycling. Volume 208, 107736.

References:

1. Obrecht, T.P. Röck, M., Hoxha, E., & Passer, A. (2020) BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review. Sustainability, 12, 5534. DOI:10.3390/su12145534

2. Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., & Fischer, M. Application of LCA to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. Building and Environment, Volume 60, 81–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.009>

3. Rezaei, F., Bulle, C., & Lesage, P. (2019) Integrating BIM and LCA in early and detailed building design stages. Building and Environment, Volume 153, 158–167. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132319300447>

4. Breiman, L. (2001). Statistical Modeling: The Two Cultures. Statistical Science, 16(3), 199–231. URL: https://ledaliang.github.io/journalclub/_static/breiman2001/Summary.pdf

5. Bostic, W. G. Jr., Jarmin, R. S., & Moyer, B. 2016. Modernizing Federal Economic Statistics. American Economic Review, 106 (5), 161–64. URL: <https://www.aeaweb.org/articles/pdf/doi/10.1257/aer.p20161061>

6. European Commission. A Renovation Wave for Europe: Greening Our Buildings, Creating Jobs, Improving Lives. European Commission: Luxembourg, 2020. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0662>

7. European Building Sustainability performance and energy certification Hub. D2.4 – The digital logbook, definition of data requirements, sources, and collection process : Project no. 101033916.

8. Cavalliere, C., Hollberg A., Dell'Osso, G. R., & Habert G. (2019) Consistent BIM-led LCA during the entire building design process. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 323 (1): 012099. DOI: 10.1088/1755-1315/323/1/012099

9. Luo Y., Shen J., Liang H, Sun L., & Dong L. (2024) Supporting building life cycle carbon monitoring, reporting and verification: A traceable and immutable blockchain-empowered information management system and application in Hong Kong. Resources, Conservation and Recycling. Volume 208, 107736.

Дата надходження статті: 12.12.2025 р.

Дата прийняття статті до друку: 26.12.2025 р.