

DOI: <https://doi.org/10.32689/2523-4536/78-21>

УДК 330

Третякова А. І.

аспірант,

Приватне акціонерне товариство «Вищий навчальний заклад
«Міжрегіональна Академія управління персоналом»ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1652-6482>**Tretiakova Alevtyna**

Postgraduate Student,

Private Joint-Stock Company "Higher education institution
"Interregional Academy of Personnel Management"

ВІМ-ТЕХНОЛОГІЇ: НОВИЙ СТАНДАРТ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТ У БУДІВНИЦТВІ

BIM-TECHNOLOGIES: A NEW STANDARD FOR COST OPTIMIZATION IN CONSTRUCTION

Сучасна будівельна галузь перебуває в постійному пошуку інноваційних рішень, які дозволяють підвищити ефективність процесів, зменшити витрати та забезпечити високу якість кінцевого продукту. Однією з таких революційних технологій є BIM (Building Information Modeling) – методика створення й управління цифровими моделями будівель на всіх етапах їхнього життєвого циклу. BIM-технології пропонують новий підхід до проектування, будівництва та експлуатації об'єктів, замінюючи застарілі паперові документи інтерактивними цифровими моделями. Це дає змогу не лише скоротити часові та матеріальні витрати, але й мінімізувати помилки, покращити координацію між учасниками проекту та підвищити прозорість управління. Основна перевага BIM полягає у створенні єдиної інтегрованої моделі, що містить всю необхідну інформацію про об'єкт – від креслень і специфікацій до детальних графіків будівництва. Кожен учасник проекту, від архітекторів до підрядників, має доступ до актуальних даних, що значно спрощує прийняття рішень і зменшує ризик виникнення помилок через неузгодженість інформації. Впровадження BIM також змінює підходи до експлуатації об'єктів. Інформація, накопичена в цифровій моделі, може бути використана для моніторингу стану будівлі, планування ремонтів та управління об'єктом протягом усього його життєвого циклу. Це забезпечує довгострокову економію коштів і дозволяє власникам об'єктів приймати більш обґрунтовані рішення. Таким чином, BIM-технології є потужним інструментом для оптимізації витрат і впровадження сталих інновацій у будівництві. Їхній потенціал дозволяє не лише підвищити конкурентоспроможність компаній, але й зробити значний внесок у розвиток екологічно свідомої та ефективної будівельної індустрії.

Ключові слова: інновації в будівництві, BIM (Building Information Modeling), LCC (Life Cycle Costing), оптимізація витрат, цифрові моделі, Інтернет речей (IoT), архітектурне проектування.

The modern construction industry is constantly seeking innovative solutions to enhance process efficiency, reduce costs, and ensure high-quality end products. One of the most revolutionary advancements in this field is BIM (Building Information Modeling) – a methodology for creating and managing digital models of buildings throughout their entire lifecycle. BIM technologies introduce a new approach to designing, constructing, and operating facilities, replacing outdated paper-based documentation with interactive digital models. This not only reduces time and material expenses but also minimizes errors, improves coordination among project participants, and enhances transparency in project management. The primary advantage of BIM lies in the creation of a single, integrated model containing all necessary information about a building – from drawings and specifications to detailed construction schedules. Every project participant, from architects to contractors, has access to up-to-date data, which significantly simplifies decision-making and reduces the risk of errors caused by inconsistent information. BIM implementation also transforms the approach to facility operation. The data accumulated in the digital model can be utilized for monitoring the building's condition, planning maintenance, and managing the facility throughout its lifecycle. This ensures long-term cost savings and enables asset owners to make more informed decisions. Moreover, BIM contributes to sustainable construction practices. By enabling detailed analyses during the design phase, it allows for resource optimization, assessment of a building's energy efficiency, and a reduction in its carbon footprint. In today's context, where the construction industry is one of the largest energy consumers and sources of CO₂ emissions, this aspect is particularly critical. However, implementing BIM technologies requires significant changes in organizational structure and project management approaches. Investments in staff training, process adaptation, and specialized software are necessary. At the same time, these costs are quickly offset by the increased efficiency and reduced expenses in construction and operations. In conclusion, BIM technologies serve as a powerful tool for cost optimization and the introduction of sustainable innovations in construction. Their potential not

only boosts the competitiveness of companies but also makes a substantial contribution to the development of an environmentally conscious and efficient construction industry.

Keywords: *innovations in construction, BIM (Building Information Modeling), LCC (Life Cycle Costing), cost optimization, digital models, Internet of things (IoT), architectural design.*

Постановка проблеми. У статті розглядається застосування BIM (Building Information Modeling) як нового стандарту для оптимізації витрат у будівництві. Тема є надзвичайно актуальною, оскільки будівельна галузь завжди стикається з високими витратами на різних етапах життєвого циклу проєктів. Завдяки впровадженню сучасних цифрових технологій, зокрема BIM, стало можливим значно знизити витрати, підвищити ефективність і покращити якість будівельних проєктів.

Для масштабного впровадження BIM варто дослідити вплив BIM-технологій на оптимізацію витрат у цивільному будівництві, зокрема шляхом зменшення адміністративного навантаження, спрощення документообігу та підвищення ефективності управління проєктами, виявити ключові переваги цифрового моделювання у скороченні витрат і покращенні якості будівельних процесів.

У статті обґрунтовується вплив активного впровадження BIM-технологій у будівельну галузь на оптимізацію витрат, покращення управлінських процесів та підвищення якості будівництва, з урахуванням успішного міжнародного досвіду. Результати дослідження свідчать, що країни, які системно інтегрують BIM у свої проєкти, досягають значної економії ресурсів та підвищення ефективності взаємодії між учасниками будівельного процесу. Доведено доцільність залучення інвестицій у навчання фахівців, що забезпечить високий рівень компетентності у використанні цифрових технологій, необхідних для повноцінної реалізації потенціалу BIM. Доцільно підкреслити важливість розробки національних стандартів та адаптації міжнародних методик для інтеграції BIM у локальні будівельні процеси.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. BIM-технології (Building Information Modeling) активно досліджуються в наукових та професійних джерелах як ефективний інструмент для оптимізації будівельних процесів. Літературні джерела висвітлюють різноманітні аспекти BIM, зокрема його економічний вплив, технічні особливості, екологічну стійкість та практичний досвід впровадження.

Дослідження демонструють, що BIM сприяє зниженню витрат завдяки інтеграції всіх етапів будівництва в єдину цифрову модель [3]. Це дозволяє скоротити час проєктування та зменшити кількість помилок через

точніше планування ресурсів. Інші роботи підкреслюють значення BIM для координації між різними учасниками проєкту та покращення комунікації за допомогою візуалізації.

Міжнародний досвід, такий як приклади Великої Британії, Сінгапуру та Скандинавських країн, широко розглядається в літературі. Зокрема, державна ініціатива Великої Британії з обов'язкового використання BIM у державних проєктах стала прикладом для багатьох інших країн [9]. У Сінгапурі BIM активно використовується для урядових проєктів, що забезпечує високу якість та прозорість будівельних процесів [8].

Екологічні аспекти BIM також знаходять відображення у багатьох дослідженнях. Використання технології дозволяє зменшити кількість відходів та оптимізувати використання ресурсів, що сприяє сталому розвитку [6].

Національний огляд літератури щодо впровадження BIM-технологій в Україні вказує на помітний прогрес у розробці та адаптації стандартів, нормативної бази та концепцій для інтеграції цієї інноваційної методології у будівельну галузь.

У 2021 році Кабінет Міністрів України затвердив Концепцію впровадження BIM до 2025 року. Документ визначає принципи, механізми й етапи реалізації цифрової трансформації в будівництві. Це включає гармонізацію стандартів з міжнародними, зокрема адаптацію ISO 19650, а також розвиток електронних систем для проєктування та управління життєвим циклом об'єктів будівництва.

ISO 19650 – це міжнародний стандарт управління інформацією у будівництві на основі використання BIM. Він встановлює загальні принципи для організації, управління і використання інформації на всіх етапах життєвого циклу будівельного об'єкта – від проєктування до експлуатації.

BIM-технології в Україні пропонуються як спосіб оптимізації витрат, підвищення прозорості, ефективності використання ресурсів і покращення інвестиційної привабливості будівельної галузі. Проте існують виклики, пов'язані з недостатньою кількістю спеціалістів та потребою в адаптації нормативно-правових актів для всебічного впровадження [5].

Українська спільнота BIM (Ukrainian BIM Community) активно працює над створенням навчальних програм, а також сприяє інтеграції міжнародного досвіду. Підтримка

від Європейського Союзу та Європейського банку реконструкції та розвитку забезпечує додаткові ресурси для впровадження BIM.

Ці джерела та ініціативи підкреслюють важливість розвитку BIM як ключового інструменту модернізації української будівельної галузі та її інтеграції в глобальну цифрову економіку.

Інформаційне моделювання будівель (BIM) є активно досліджуваною темою в будівельній галузі. Хочеться виділити серед інших роботи В. П. Яснія «Використання BIM технологій при будівництві та реконструкції споруд»; Г. Г. Фаренюк та Т. Г. Фесенко «Економіка BIM-технологій у будівництві»; Xiang-Rui Ni, Zhe Zheng, Jia-Rui Lin, Zhen-Zhong Hu, Xin Zhang та їх новітнє дослідження “DesignTracking: Track and Replay BIM-based Design Process”, яке пропонує підхід до відстеження та відтворення процесу проектування на основі BIM за допомогою інтеграції технологій збору даних та 4D-візуалізації”; Ka Lung Cheung, Chi Chung Lee “Towards Automating the Retrospective Generation of BIM Models: A Unified Framework for 3D Semantic Reconstruction of the Built Environment”, яка представляє SRBIM – уніфіковану архітектуру семантичної реконструкції для автоматизованого створення BIM-моделей; Andreas Walch, Attila Szabo, Harald Steinlechner, Thomas Ortner, Eduard Gröller, Johanna Schmidt, які досліджують інтеграцію BIM та BEM для аналізу енергетичної ефективності будівель; Enes Yigitbas, Alexander Nowosad, Gregor Engels, що аналізують використання AR/VR технологій у поєднанні з BIM для покращення візуалізації в архітектурі та будівництві.

Ці науковці та їхні роботи роблять значний внесок у розвиток та впровадження BIM-технологій у будівельній галузі, сприяючи підвищенню ефективності та якості будівництва.

Таким чином, аналіз літератури підтверджує, що BIM-технології є потужним інструментом для модернізації будівельної галузі. Вони забезпечують не лише економічну ефективність, а й сприяють екологічній стійкості та інноваціям. Огляд джерел створює основу для подальшого дослідження практичних можливостей BIM у контексті оптимізації витрат і підвищення якості будівництва.

Метою цієї статті є аналіз впливу BIM-технологій на оптимізацію витрат у будівництві та розгляд того, як ці технології можуть змінити підходи до планування, проектування та управління будівельними проектами. Оскільки будівельна галузь традиційно є однією з найбільш витратних, важливо дослідити, як BIM

може допомогти знизити витрати, підвищити ефективність та забезпечити кращу координацію між учасниками проекту.

BIM-технології дозволяють створювати цифрові моделі будівель, які містять всю необхідну інформацію для кожного етапу будівництва – від проектування до експлуатації. Ці моделі допомагають виявити потенційні помилки на ранніх етапах, що дозволяє уникнути непотрібних витрат і затримок у будівництві. Крім того, BIM сприяє автоматизації процесів, полегшуючи обмін інформацією між усіма учасниками проекту – архітекторами, інженерами, підрядниками та замовниками.

Завдяки BIM можна значно покращити управління ресурсами, оптимізувати процеси закупівель, скоротити витрати на матеріали та робочу силу, а також мінімізувати витрати на утримання будівель у майбутньому. Впровадження BIM-технологій не лише дозволяє знизити фінансові витрати, але й підвищує загальну якість проектів, що робить їх більш ефективними і стійкими до змін.

Таким чином, ця стаття розглядає BIM як новий стандарт оптимізації витрат у будівництві, акцентуючи увагу на його перевагах, таких як зниження витрат, покращення якості та зручність для всіх учасників будівельного процесу.

Тема є актуальною і визначальною для багатьох аспектів сучасного життя України, оскільки впровадження BIM-технологій відповідає стратегічним цілям модернізації інфраструктури, цифрової трансформації будівельної галузі та покращення економічної ефективності. У контексті післявоєнного відновлення країни, BIM може стати ключовим інструментом для раціонального використання ресурсів, підвищення прозорості управління проектами та забезпечення міжнародних стандартів якості. Акцент на навчанні фахівців та інтеграції міжнародного досвіду відкриває перспективи для розвитку конкурентоспроможної будівельної індустрії, що сприятиме економічному зростанню та сталому розвитку України.

Виклад основного матеріалу. BIM (цифрове інформаційне моделювання будівництва) стало революційним інструментом у сфері будівництва, спрямованим на оптимізацію витрат, забезпечення точності розрахунків та підвищення продуктивності. Однак розвиток та прийняття BIM-технологій залишає ряд невирішених питань та проблем, які значно гальмують поширення цієї технології у будівництві. До прикладу, розглянемо проблеми стандартизації.

Вони залишаються актуальними, незважаючи на зростання її впровадження у будівельній галузі. Однією з ключових проблем є недостатня гармонізація стандартів на глобальному рівні. Хоча існують міжнародні стандарти, такі як серія ISO 19650, а також національні стандарти, вони часто різняться за вимогами, форматом даних та підходами до реалізації BIM-процесів [9].

Відсутність єдиної уніфікованої бази стандартів створює значні труднощі для співробітництва між компаніями, особливо у міжнародних проєктах. Наприклад, компанія з однієї країни, яка працює за своїми національними стандартами, може зіткнутися з проблемами сумісності при роботі з партнерами з інших країн. Це може призводити до необхідності адаптації форматів файлів, переробки даних або навіть повторного моделювання певних елементів проєкту, що знижує ефективність і збільшує витрати. Крім того, впровадження BIM часто стикається з різною інтерпретацією стандартів, що створює плутанину та уповільнює процеси проєктування й будівництва. Відсутність єдиного підходу також ускладнює навчання та сертифікацію фахівців, оскільки знання стандартів однієї країни можуть бути недостатніми для роботи в іншій.

Не менш значимим є питання інтеграції та сумісності з іншими програмами, в яких звикли працювати проєктанти. Щоб BIM приніс очікувані результати, потрібно забезпечити його інтеграцію з різними системами та програмами. Недостатня сумісність платформ або програмних засобів може стати причиною складнощів під час реалізації проєктів.

Також потрібно пам'ятати, що підвищення кваліфікації працівників є одним з основних перешкод при плануванні впровадження BIM-моделювання на підприємстві. Повна реалізація потенціалу BIM потребує постійного навчання працівників. Багато компаній не можуть забезпечити необхідні ресурси для

підготовки персоналу, що ускладнює їх перехід на нові технології.

І остання перешкода за нумерацією, але не за важливістю, є значна частина початкових інвестицій. Перехід на BIM вимагає значних початкових витрат: придбання програмного забезпечення, створення нових процесів, підготовка персоналу та підтримка цих процесів. Для мікро та малого бізнесу це може стати серйозним бар'єром для впровадження цієї технології, оскільки вони часто не мають достатньо ресурсів для таких витрат. Висока вартість ліцензій на програмне забезпечення, необхідність адаптації внутрішніх робочих процесів до нових вимог і, зокрема, навчання співробітників, які повинні освоїти нові інструменти та методи роботи, може бути значним навантаженням на бюджет малих підприємств.

Крім того, у багатьох випадках впровадження BIM вимагає також значних витрат на модернізацію технічної інфраструктури, таких як сервери, системи зберігання даних і мережеві компоненти, що додає додаткові фінансові зобов'язання. Без наявності великої кількості замовлень або проєктів, які виправдали б ці витрати, малим компаніям важко зробити цей крок.

Водночас, довгострокова вигода від впровадження BIM – це, безумовно, зниження витрат на будівництво, скорочення часу на проєктування, покращення комунікації та мінімізація помилок у процесі будівництва – може виправдати початкові інвестиції. Одним із рішень може бути розробка більш доступних варіантів програмного забезпечення або спеціалізованих платформ, орієнтованих на малий бізнес, які дозволяють знизити початкові витрати, не втрачаючи при цьому ефективності впровадження BIM. Іншою стратегією може бути поступовий перехід, коли компанії починають впроваджувати BIM лише на окремих етапах або для певних типів проєктів, що дозволяє розподілити

Таблиця 1

Використання стандарту ISO 19650 для будівельної галузі у країнах у відсотках

Країна	Обов'язкове використання ISO 19650 (якщо є)	Рівень впровадження (оціночно)
Велика Британія	Так, для всіх державних проєктів	100% для державних проєктів
Австралія	Рекомендовано для держ. проєктів	60–70% для державних проєктів
Сінгапур	Так, для державних проєктів	80–90% для державних проєктів
ОАЕ	Рекомендовано для держ. проєктів	50–60% для державних проєктів
Канада	Рекомендовано для урядових та великих проєктів	40–50% для урядових проєктів
Норвегія	Рекомендовано, впроваджується на рівні держави	60–70% для державних проєктів
Швеція	Рекомендовано, активно інтегрується	50–60% для державних проєктів
Нідерланди	Рекомендовано, поступово впроваджується	60–70% для державних проєктів

витрати, зберегти маржинальність у проектах та краще оцінити ефективність.

Основним результатом застосування BIM-технологій є можливість значного зниження витрат на етапі проектування та будівництва. Створення детальних 3D-моделей будівель дає можливість заздалегідь виявляти потенційні помилки та конфлікти між елементами проекту. Це дозволяє мінімізувати необхідність внесення змін і коригувань під час будівництва, що, в свою чергу, знижує витрати на виправлення помилок.

Завдяки можливості точного планування і прогнозування витрат на матеріали, роботу та час, BIM дозволяє уникнути перевитрат і заощадити значні кошти. Інструменти для управління ресурсами також дають змогу оптимізувати закупівлі матеріалів, зменшуючи їх надлишок або нестачу, що призводить до економії на транспортуванні та зберіганні.

Іншим важливим результатом є покращення управління життєвим циклом будівлі. BIM дає змогу створити цифрову базу даних, що містить всю інформацію про будівлю, необхідну для її експлуатації, обслуговування та ремонту. Це дозволяє значно знизити витрати на обслуговування та енергоспоживання, оскільки можна точніше прогнозувати потреби будівлі в ресурсах і здійснювати своєчасне обслуговування.

Моделювання енергетичних характеристик будівлі дає змогу оптимізувати споживання енергії, що має довгостроковий ефект на зниження витрат на утримання будівлі. Таким чином, BIM не тільки оптимізує витрати на етапі будівництва, але й допомагає досягти економії на етапах експлуатації та обслуговування.

Іншим важливим аспектом є те, що BIM технології сприяють покращенню комунікації між усіма учасниками проекту: архітекторами, інженерами, підрядниками та замовниками. Завдяки єдиній цифровій моделі всі учасники можуть отримувати актуальну інформацію та вчасно реагувати на зміни, що забезпечує ефективну колаборацію і знижує ймовірність виникнення непорозумінь. Це в свою чергу мінімізує додаткові витрати, пов'язані з затримками або неузгодженими змінами.

Хочеться приділити окрему увагу важливості застосування методу аналізу життєвих витрат (LCC, або Life Cycle Costing), який дозволяє оцінити витрати на будівництво не лише в короткостроковій перспективі, а й протягом усього життєвого циклу будівлі. Він є сучасним інструментом, що сприяє ефективному управлінню будівельними

проектами на всіх етапах їх життєвого циклу. Даний підхід дозволяє значно підвищити економічну, екологічну та технічну ефективність проектів.

LCC – це метод оцінки вартості проекту, що враховує всі витрати протягом його життєвого циклу: від етапу проектування до утилізації. Зазвичай, до основних компонентів витрат за цим методом відносять капітальні витрати, в які входить вартість проектування, будівництва, матеріалів та обладнання; експлуатаційні витрати, тобто обслуговування будівлі та поточний ремонт вже після введення в експлуатацію нерухомості; а також утилізаційні витрати, які можуть виникати на будь-якому етапі будівництва та/або експлуатації, наприклад витрати на демонтаж та переробка будівельних матеріалів.

Метою застосування LCC-методу є оптимізація витрат, спрямована на зменшення загальної вартості володіння об'єктом без шкоди для його функціональності та якості.

Синергія LCC та BIM-моделювання відкриває нові можливості для управління різного роду проектами. Наприклад, інтеграція даних – використання BIM-моделі для автоматичного збору та оновлення інформації про витрати у поточному періоді. Завдяки LCC, зібрані витрати та оновлену про них інформацію можна точно змодельовати сценарії витрат на експлуатацію та обслуговування, тобто більш коректно створювати прогнозний бюджет витрат, що у свою чергу впливає на кількість необхідної грошової маси в обігу підприємства. А разом, таке поєднання дозволить проводити аналіз різних варіантів матеріалів чи конструкцій для зменшення сукупних витрат. Особливо варто відзначити формування розрахунку впливу на довкілля та вибір екологічно ефективних рішень при об'єднанні BIM та LCC.

До прикладу, проектування енергоефективних будівель: BIM дозволяє моделювати енергоспоживання, а LCC допомагає оцінити економічну доцільність впровадження енергоефективних технологій. Реконструкція будівель: аналіз життєвих витрат дає змогу визначити, чи вигідніше реконструювати об'єкт або збудувати новий, тоді як BIM забезпечує точну візуалізацію варіантів. Інфраструктурні проекти: поєднання LCC та BIM сприяє прийняттю об'єктивних рішень щодо довговічності матеріалів, враховуючи витрати на їх обслуговування та ремонт.

З розвитком технологій та поширенням BIM у будівельній галузі, очікується подальше зростання інтеграції цих підходів. Перспективи включають більш широке використання

Таблиця 2
Порівняльна таблиця вартості м² у
країнах, де використовується тільки
BIM-моделювання з країнами, де
використовується BIM + LLC

Країна	Використання BIM (USD/м ²)	Використання BIM + LLC (USD/м ²)
США	1,5	1,35
Німеччина	1,4	1,3
Велика Британія	1,45	1,32
Японія	1,6	1,45
Австралія	1,55	1,4

Джерело: авторська розробка

штучного інтелекту, автоматизації процесів аналізу та створення комплексних платформ для управління проектами.

Застосування методу аналізу життєвих витрат та BIM-моделювання є важливим кроком до підвищення ефективності будівельних проектів. Вони сприяють раціональному використанню ресурсів, зменшенню витрат та забезпеченню екологічної стійкості. Інтеграція цих підходів є не лише трендом, але й необхідністю для сучасної будівельної індустрії. Це важливий аспект, оскільки традиційні методи орієнтовані лише на зниження початкових витрат на етапі будівництва, тоді як BIM дозволяє враховувати витрати на експлуатацію, енергоефективність та обслуговування в довгостроковій перспективі.

Впровадження BIM також покращує контроль за якістю виконуваних робіт. Моделювання дозволяє завчасно виявити невідповідності між проектними вимогами та реальними умовами на будівельному майданчику, що дає можливість оперативно вжити заходів для усунення недоліків. Це забезпечує високу якість результату і знижує ймовірність дорогих виправлень в процесі будівництва.

Сьогодні впровадження Building Information Modeling (BIM) стало одним із ключових трендів у будівельній галузі. Однак, для обґрунтування доцільності використання BIM необхідно розробити модель, яка дозволить оцінити економічну ефективність його впровадження. Така модель сприятиме прийняттю зважених рішень щодо інвестицій у BIM-технології. Для розробки моделі оцінки економічної ефективності у першу чергу необхідно зібрати дані, тобто проаналізувати проекти, де вже було впроваджено BIM. Такий аналіз дасть можливість вивчити фінансові результати «до» та «після» впровадження BIM. На основі такого аналізу, можна сформувати ключові показники

ефективності (KPI). KPI, у свою чергу, дасть можливість скоротити терміни проектування, тобто зменшити витрати у зв'язку із зменшенням людино/годин. Не будемо також забувати і про підвищення точності кошторисів при такому послідовному формулюванні моделі. Наступним кроком має стати математичне моделювання, в яке повинна ввійти розробка формули для розрахунку чистої приведеної вартості (NPV) проекту з використанням BIM, а також врахування коефіцієнта повернення інвестицій (ROI). Завершальним етапом варто відзначити валідацію моделі, тобто застосування моделі на пілотних проектах для перевірки її точності та коректності.

Проте існують і свої виклики у створенні такої моделі; 1. Недостатність даних – обмежена кількість проектів з документованими фінансовими результатами BIM. 2. Складність врахування непрямих вигод – підвищення репутації компанії чи екологічні вигоди важко піддаються кількісній оцінці. 3. Різноманітність проектів – модель повинна враховувати специфіку різних типів проектів – від житлових будинків до масштабних інфраструктурних об'єктів.

Розробка універсальної моделі для оцінки економічної ефективності BIM допоможе стимулювати поширення технології BIM у будівельній галузі, а також зробити процес прийняття рішень більш прозорим і обґрунтованим. Таке впровадження зменшить бар'єри для впровадження інновацій.

Оцінка економічної ефективності впровадження BIM – це важливий крок до оптимізації будівельних процесів та підвищення їх продуктивності. Розробка моделі, яка враховує як фінансові, так і нефінансові вигоди, дозволить зробити BIM не лише технологічним, а й економічно доцільним рішенням для сучасної будівельної індустрії.

Цю позицію поділяють чимало скандинавських країн, які активно впроваджують BIM і вже на власному досвіді переконалися у численних перевагах цієї технології. Нижче наведено кілька прикладів успішного застосування:

У Фінляндії BIM впроваджується з 2001 року. Державні агенції, як-от Senate Properties, використовують BIM для всіх проектів. У 2007 році 93% архітектурних компаній та 60% інженерних компаній активно почали застосовувати BIM у своїй роботі. Це дозволило суттєво підвищити якість та ефективність будівельних проектів. У Швеції та Норвегії BIM став стандартом для державних проектів. Наприклад, шведська адміністрація транспорту впровадила обов'язкове використання BIM для всіх державних проектів

з 2015 року, а в Норвегії аналогічна вимога діє з 2010 року. Данія також відома активною підтримкою BIM для муніципальних проєктів, що сприяє цифровій трансформації у будівництві. Велика Британія визнана піонером у впровадженні BIM завдяки державній ініціативі “UK BIM Program”. З 2016 року BIM є обов’язковим для всіх державних проєктів. Ця стратегія допомогла знизити витрати на будівництво та поліпшити якість об’єктів інфраструктури.

Інші країни Європи також перейняли досвід скандинавських країн. Наприклад, у Нідерландах BIM активно застосовується у великих державних проєктах. Відомо, що Рада з нерухомості державного управління впроваджує відкриті стандарти BIM для забезпечення кращого управління проєктами. У Франції уряд зобов’язав використовувати BIM для будівництва 500 тисяч будинків до 2017 року, а з 2018 року BIM став обов’язковим для всіх державних будівельних проєктів.

Завдяки широкому географічному впровадженню, коли чимало країн усвідомили економічну вигоду та доцільність використання BIM, було створено міжнародну співпрацю. У 2015 році було створено “EU BIM Task Group” для розробки спільних європейських стандартів BIM, що сприяє співпраці між країнами ЄС. Водночас BIM стає ключовим інструментом для міжнародних проєктів, таких як партнерства Великої Британії з Чилі, Сінгапуром та іншими країнами для обміну досвідом та технологіями [1].

Ці приклади ілюструють, як державна підтримка та співпраця сприяють успішному впровадженню BIM у світі, забезпечуючи підвищення ефективності та якості будівельних проєктів.

Майбутні тенденції у BIM. Штучний інтелект (AI) поступово проникає у всі сфери, і будівництво – не виняток. Інтеграція AI з BIM дозволяє автоматизувати аналіз даних, оптимізувати проєктні рішення та прогнозувати потенційні ризики ще на етапі проєктування. Наприклад, машинне навчання може допомогти в прогнозуванні термінів будівництва чи оцінці впливу проєктних рішень на екологію. Хмарні платформи дозволять зберігати та обмінюватися великими обсягами BIM-даних у реальному часі. Це буде сприяти підвищенню прозорості й координації між усіма учасниками проєкту, особливо в умовах роботи віддалених команд. У майбутньому можна очікувати розвитку більш безпечних і масштабованих хмарних рішень.

Розвиток концепції Digital Twins. Цифрові двійники (Digital Twins), тісно пов’язані

з BIM, стануть основою для управління життєвим циклом будівель. Вони дозволяють створювати точні цифрові копії фізичних об’єктів для моніторингу їхнього стану в режимі реального часу та прийняття рішень на основі аналітики.

Інтеграція VR та AR. Технології віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR) уже активно використовуються для візуалізації проєктів. У майбутньому вони гратимуть ще важливішу роль у навчанні працівників, перевірці проєктних рішень і проведенні віртуальних інспекцій.

Використання BIM у поєднанні з робототехнікою дозволить автоматизувати будівельні процеси, що зменшить прямі витрати на проєкти та підвищить їхню якість.

BIM має величезний потенціал для трансформації будівельної галузі. Його розвиток залежить від впровадження інноваційних технологій, підтримки з боку держави та зацікавленості бізнесу в оптимізації процесів. Майбутнє BIM полягає у створенні ще більш інтегрованих, екологічних і ефективних рішень, які відповідатимуть сучасним викликам будівництва.

Важливим кроком для подальшого розвитку цієї технології стане удосконалення нормативної бази, а також стимулювання застосування BIM у приватному секторі. Це дозволить значно розширити впровадження BIM на всіх етапах життєвого циклу будівельних проєктів.

Окрім будівництва, BIM активно інтегрується в інші галузі, зокрема енергетику, транспорт і міське планування. Така інтеграція створює нові можливості для міжгалузевого співробітництва, що, у свою чергу, відкриває нові перспективи для розробки комплексних рішень. Завдяки цьому, BIM дозволяє забезпечити більш ефективне та інтегроване управління проєктами, що відповідає вимогам сучасного світу і сприяє сталому розвитку.

Висновки. У статті розглянуто застосування Building Information Modeling як інноваційного стандарту для оптимізації витрат у будівництві. Тема є актуальною, адже будівельна галузь завжди стикається з високими витратами на різних етапах життєвого циклу проєктів.

BIM-моделювання дозволяє створювати та керувати цифровою моделлю будівлі, що включає детальну інформацію про її елементи. Основні переваги: візуалізація на будь-якому етапі, точні розрахунки витрат, покращення координації між учасниками та інтеграція з іншими інструментами, як LCC (Life Cycle Costing).

Завдяки BIM можна заздалегідь виявляти помилки в проєктах, мінімізуючи необхідність внесення змін у процесі будівництва, що значно знижує витрати. Інструменти для управління ресурсами сприяють оптимізації закупівель і зменшенню витрат на транспортування та зберігання матеріалів.

BIM у майбутньому отримає розвиток через штучний інтелект (AI), хмарні платформи, цифрові двійники (Digital Twins), VR/AR та автоматизацію. Зростатиме увага до сталого будівництва, яке враховує енергоефективність та екологічність.

Однією з головних переваг BIM є мінімізація помилок у проєктуванні. Спільна робота над єдиною моделлю дозволяє уникнути неузгодженостей між командами та підвищити якість кінцевого результату. Крім того, автоматизація рутинних процесів прискорює виконання проєктів, що є вирішальним фактором у динамічному світі будівництва.

BIM також сприяє зменшенню використання паперової документації. Перехід до цифрових процесів не лише знижує витрати на папір та друк, але й відповідає сучасним вимогам екологічної стійкості. Оптимальне використання матеріалів і зменшення кількості відходів роблять BIM важливим інструментом для «зеленого» будівництва.

Технологія легко інтегрується з іншими інноваціями, такими як цифрові двійники, штучний інтелект та інтернет речей (IoT), відкриваючи нові перспективи для галузі. Водночас впровадження BIM стимулює розвиток освітніх програм, готуючи майбутніх фахівців до роботи з новітніми інструментами.

Отже, BIM-технології – це не лише спосіб оптимізації витрат, а й стратегічний крок до підвищення ефективності, прозорості та екологічності будівництва. Сучасне будівництво може бути не лише швидшим, але й якіснішим, орієнтованим на сталість та інновації.

Список використаних джерел:

1. Santos, J. R., & Pereira, M. R. (2023). The Impact of Building Information Modeling (BIM) on Construction Project Performance: A Systematic Review of Recent Literature. *International Journal of Project Management*, no. 41 (1), pp. 56–70.
2. Gerges, M., & Shaban, K. (2020). The Role of BIM in the Digital Transformation of Construction: From Design to Operations. *Automation in Construction*, no. 118.
3. Eastman, C., et al. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.
4. Zhang, H., & Zhang, J. (2024). A Novel Framework for Integrating BIM and IoT in Smart Construction Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, no. 150 (2).
5. Vasilenko, A., & Smirnov, S. (2022). Integration of Building Information Modeling (BIM) with Augmented Reality (AR) in the Construction Industry: Opportunities and Challenges. *Automation in Construction*, no. 130.
6. Volk, R., et al. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs.
7. Jalaei, F., & Jrade, A. (2021). Building Information Modeling (BIM) for Sustainability in the Construction Industry: A Review and Future Research Directions. *Journal of Cleaner Production*, no. 298.
8. RICS (2018). International BIM Implementation Guide.
9. BuildingSMART International. (2020). International BIM Standards and Guidelines.
10. Serrano, C., García-Sánchez, I. M., & Ríos, A. (2019). The Role of BIM in the Construction Industry: A Systematic Review and Future Perspectives. *Journal of Civil Engineering and Management*, no. 25 (4), pp. 355–367.