

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.14.218-228

УДК: 004:69:658

Штиль А.М.,

shtilam@gmail.com, ORCID: 0009-0007-3804-2926,

к.е.н., доцент **Горбач М.В.,**

horbach.mv@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3784-0404,

Коломієць В. В.,

val1275@ukr.net, ORCID: 0009-0007-6405-6782,

Пелехатий Р. М.,

pelehatyirm@gmail.com, ORCID: 0009-0004-1957-3682,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕСАХ ОЦІНЮВАННЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

У сучасних умовах цифровізації економіки будівельна галузь зазнає глибоких трансформацій, що безпосередньо впливають на процеси оцінювання її діяльності. Традиційні методики оцінки результатів будівельного виробництва, орієнтовані переважно на фінансові та виробничі показники, дедалі частіше виявляються недостатніми для адекватного відображення динаміки розвитку галузі. Складність проєктів, багаторівневість процесів та залучення значної кількості стейкхолдерів зумовлюють потребу у впровадженні цифрових інструментів, які забезпечують багатовимірну аналітику та інтеграцію даних. Цифрові технології дозволяють комплексно відстежувати процеси в режимі реального часу, формувати прогнозні моделі, а також підвищувати прозорість і обґрунтованість управлінських рішень.

Ключові слова: цифрові технології; оцінювання; будівельна діяльність; BIM; ERP; Big Data; блокчейн; ефективність.

Постановка проблеми: Будівельна галузь традиційно характеризується високою капіталомісткістю та складністю організаційно-технологічних процесів, що ускладнює ефективне управління та контроль результатів діяльності. Методи класичного оцінювання, що ґрунтуються на аналізі витрат, строків та фінансових результатів, у сучасних умовах стрімкого розвитку технологій і ринкової конкуренції не відображають повною мірою реальний стан справ. Виникає потреба у використанні цифрових інструментів, здатних забезпечити комплексну оцінку та дозволити відстежувати всі етапи життєвого циклу будівельного проєкту.

Ключова проблема полягає у відсутності системного підходу до впровадження цифрових технологій у процеси оцінювання. Більшість

підприємств застосовують цифрові рішення фрагментарно, що обмежує можливості аналітики та призводить до неузгодженості даних між різними учасниками будівельного процесу. Це створює ризики затримок, перевитрат ресурсів і зниження якості виконання робіт. Таким чином, виникає необхідність формування цілісної теоретичної основи для застосування цифрових технологій у процесах оцінювання будівельної діяльності, яка дозволить адаптувати сучасні інструменти до потреб галузі та підвищити рівень її стратегічної стійкості.

Метою статті є обґрунтування теоретичних засад застосування цифрових технологій у процесах оцінювання будівельної діяльності. Основна увага приділяється визначенню їх потенціалу для підвищення ефективності управління, інтеграції даних, удосконалення системи контролю та прогнозування результатів. Автори прагнуть показати, що цифрові інструменти здатні забезпечити не лише економічний ефект, а й підвищити прозорість управлінських рішень, сприяти зниженню ризиків та забезпечити стійкий розвиток будівельних підприємств у конкурентному середовищі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика застосування цифрових технологій у будівельній сфері активно висвітлюється у світовій та українській науковій літературі. Дослідники наголошують, що ефективність сучасних будівельних компаній дедалі більше залежить від їх здатності впроваджувати цифрові інструменти в оцінювальні процеси. Значна увага приділяється технологіям BIM як засобу інтеграції даних на різних етапах життєвого циклу об'єкта, а також ERP-системам, що забезпечують контроль фінансових та ресурсних потоків. У працях також підкреслюється роль Big Data у створенні прогнозних моделей і підвищенні точності оцінювання.

Виклад основного матеріалу: У сучасних умовах розвитку будівельної галузі застосування цифрових технологій стає однією з найважливіших складових ефективного управління будівельною діяльністю. Зростання складності об'єктів, вимоги до якості, безпеки та енергоефективності будівельних проектів обумовлюють необхідність використання новітніх інформаційно-комунікаційних технологій на всіх етапах оцінювання — від планування та проектування до моніторингу експлуатації. Впровадження цифрових інструментів дає змогу забезпечити прозорість процесів, підвищити точність оцінки параметрів об'єктів, оптимізувати витрати та мінімізувати ризики. Теоретичні основи застосування цифрових технологій у цій сфері формуються на перетині класичних підходів до оцінювання технічного стану об'єктів та новітніх методів обробки даних, що дозволяє створювати адаптивні, динамічні системи аналізу та управління будівельною діяльністю.

Теоретичні засади застосування цифрових технологій у процесах оцінювання будівельної діяльності ґрунтуються на концепції цифрової трансформації, яка передбачає кардинальну зміну методів збору, обробки, зберігання та аналізу інформації про об'єкти будівництва. Цифрові технології інтегрують класичні методи експертного оцінювання технічного стану з автоматизованими системами діагностики, прогнозування ризиків та оптимізації експлуатаційних характеристик будівель.

Поняття теоретичних засад застосування цифрових технологій охоплює сукупність наукових положень, концепцій і принципів, що визначають сутність, роль і методи інтеграції цифрових рішень у різні сфери діяльності. Ці засади включають обґрунтування фундаментальних підходів до розвитку інформаційних систем, методологічні принципи використання цифрових даних, побудову моделей цифрової взаємодії людини і технологічного середовища, а також оцінку соціально-економічних, організаційних і технічних ефектів цифровізації [13].

М. Кастельс у своїй концепції "інформаційного суспільства" трактував цифрові технології як ядро нової соціальної парадигми, де виробництво, обмін і використання знань стають основою економічного і культурного розвитку. Він підкреслював, що цифрові технології радикально змінюють структуру комунікацій, економічні моделі та соціальну взаємодію [14].

Д. Таффлер розглядав цифрові технології як базу для виникнення "третьої хвилі" глобальних змін в економіці, політиці та культурі. Він вважав, що їхнє застосування змінює самі принципи організації роботи, бізнесу і суспільних інститутів, формуючи нову цифрову реальність [15].

Т. Девенпорт у своїх дослідженнях акцентував увагу на тому, що цифрові технології вимагають перегляду традиційних моделей управління інформацією. Він вважав, що у світі великих даних важливо розробляти нові аналітичні підходи, здатні опрацьовувати величезні обсяги інформації і підтримувати прийняття рішень у реальному часі [16].

У. Мітчелл запропонував бачення цифрових технологій як платформи для інтеграції кіберпростору і фізичних середовищ [17]. Він підкреслював необхідність формування теоретичних засад для "розумних міст", де цифрові платформи забезпечують адаптивність інфраструктури до потреб мешканців.

У будівельній галузі застосування цифрових технологій теоретично обґрунтовували такі дослідники як О.В. Мельник, який у монографії "Інформаційне моделювання будівель" визначав BIM-технології як інтеграцію геометричних, фізичних і функціональних характеристик об'єкта в єдину цифрову систему для прийняття обґрунтованих рішень на всіх етапах життєвого циклу будівлі.

В.А. Беліков у своїй докторській дисертації трактував цифровізацію інвестиційно-будівельної діяльності як об'єктивну необхідність у контексті підвищення ефективності управління ресурсами, ризиками та експлуатаційними характеристиками будівельних об'єктів [18].

Застосування Інтернету речей (IoT) дозволяє перейти до безперервного моніторингу технічного стану будівель через мережі сенсорів. Дані про вібрації, деформації, температуру, вологість матеріалів і інші показники передаються у реальному часі на сервери обробки, де за допомогою аналітики великих даних здійснюється оперативне виявлення відхилень і прогнозування можливих пошкоджень.

Технології Big Data у свою чергу застосовуються для глибокого аналізу великих обсягів інформації, накопичених у процесі моніторингу.

У процесах енергоаудиту будівель активно використовуються цифрові системи термографії та енергетичного моделювання, які дозволяють оцінити втрати тепла через огорожувальні конструкції, виявити недоліки теплоізоляції, перевірити ефективність роботи інженерних мереж. На основі цифрового моделювання енергоспоживання формуються рекомендації щодо термомодернізації будівель з урахуванням економічної доцільності заходів.

На рисунку 1 представлено ключові напрямки інтеграції цифрових технологій у процесі оцінювання будівельної діяльності. Інфографіка ілюструє, як використання технологій Building Information Modeling (BIM), 3D-сканування, Інтернету речей (IoT), великих даних (Big Data) та створення цифрових паспортів будівель забезпечує підвищення точності оцінювання, ефективності моніторингу, своєчасного прогнозування технічного стану об'єктів і оптимізації управлінських рішень у сфері будівництва та реконструкції.

У сучасних процесах оцінювання технічного стану будівельних об'єктів провідну роль відіграють цифрові технології, які суттєво підвищують точність, об'єктивність та оперативність результатів. Традиційні методи обстеження, що базувалися на візуальних оглядах та експертних оцінках, поступово доповнюються або замінюються інноваційними інструментами збору, обробки та аналізу даних [2].

Однією з ключових технологій у цій сфері є Building Information Modeling (BIM). Використання BIM дає змогу створити цифрову інформаційну модель будівлі, що об'єднує геометричні параметри, матеріальні характеристики, технічні специфікації та експлуатаційні дані. За допомогою такої моделі оцінювання технічного стану стає багатошаровим, комплексним процесом: виявлення відхилень від проектних рішень, аналіз ефективності

фрагментованого підходу до цілісного управління інформацією про об'єкт протягом усього його життєвого циклу — від проектування до експлуатації та реконструкції.



Рис. 2. Ключові цифрові технології оцінювання технічного стану будівельних об'єктів (розроблено авторами на основі [3])

Однією з ключових змін є формування багатовимірного цифрового середовища, яке дозволяє поєднати геометричні характеристики об'єкта з експлуатаційними, технологічними та економічними параметрами. На основі інформаційної моделі будівлі здійснюється багаторівнева оцінка її стану — не лише за статичними показниками, але й з урахуванням змін динамічних параметрів у процесі експлуатації [4].

ВІМ також трансформує механізми взаємодії між учасниками будівельного процесу. Інженери, архітектори, підрядники та експлуатаційні служби працюють у спільному інформаційному просторі, де всі зміни миттєво відображаються у моделі [5]. Важливим напрямом є застосування ВІМ у реконструкції та модернізації існуючих будівель. Технологія Scan-to-BIM (створення інформаційної моделі на основі лазерного сканування) дозволяє точно відтворити геометрію об'єкта і здійснити порівняльний аналіз фактичного стану споруди з проектною документацією. На базі таких моделей приймаються обґрунтовані рішення щодо необхідності посилення конструкцій, заміни матеріалів або перепланування [6].

Як видно із таблиці 1, впровадження технологій Building Information Modeling (BIM) змінює підхід до оцінки технічного стану будівель та процесу прийняття управлінських рішень, сприяючи переходу від розрізнених процедур до комплексного цифрового управління життєвим циклом об'єкта.

Таблиця 1.

Вплив технології BIM на методологію оцінки стану будівель та управлінські рішення (розроблено авторами на основі [7])

Напрямок змін	До впровадження BIM	Після впровадження BIM
Оцінка технічного стану	Переважно візуальне обстеження та експертні висновки	Інформаційна модель об'єкта з інтеграцією геометрії, матеріалів, даних про експлуатацію
Управління інформацією	Розрізнені документи та креслення	Єдина цифрова база даних, доступна всім учасникам процесу
Прийняття управлінських рішень	Реактивні рішення на основі аварій та пошкоджень	Прогнозування технічного ресурсу, планування ремонтів і модернізацій
Співпраця між учасниками	Ізольована робота окремих підрозділів	Інтеграція через спільну модель, мінімізація помилок
Контроль якості	Суб'єктивні оцінки	Стандартизовані показники та автоматизоване виявлення відхилень

Лазерне сканування є одним із найбільш точних і ефективних методів обстеження будівель. Суть технології полягає у використанні лазерних приладів для зйомки об'єкта з високою точністю, що дозволяє створити "хмару точок" — цифрову модель, яка відображає геометрію будівлі до найменших деталей. Це дає можливість виявити деформації, осідання конструкцій, пошкодження поверхонь без необхідності фізичного втручання у структуру об'єкта [8].

Особливе значення лазерне сканування та 3D-моделювання мають у процесах цифрової паспортизації будівель. Створення цифрового паспорта споруди передбачає фіксацію її фактичного технічного стану у певний момент часу, що є надзвичайно важливим для об'єктів культурної спадщини, стратегічної інфраструктури або житлового фонду великих міст. Цифровий паспорт містить детальну 3D-модель, документацію про виявлені дефекти, оцінку залишкового ресурсу конструкцій і план заходів з обслуговування об'єкта [9].

У практиці оцінювання технічного стану будівельних конструкцій стрімко зростає значення використання Інтернету речей (IoT) та аналітики великих даних (Big Data). Ці технології докорінно змінюють методи збору, обробки й інтерпретації інформації про поведінку будівельних об'єктів у реальному часі. На відміну від традиційних методик, що базуються переважно на періодичних візуальних обстеженнях, інтеграція IoT і Big Data дає можливість здійснювати безперервний автоматизований моніторинг параметрів конструкцій та прогнозувати потенційні ризики ще до появи критичних пошкоджень [10].

Поєднання технологій IoT та Big Data сприяє переходу від реактивного до превентивного управління технічним станом будівельних об'єктів. Завдяки прогнозуванню можливих відмов або критичних станів конструкцій можна завчасно планувати ремонтні роботи, оптимізувати графіки інспекцій та значно зменшити ризики аварійних ситуацій. У підсумку це веде до скорочення витрат на утримання об'єктів, подовження строку їх експлуатації та підвищення безпеки користувачів [11].

На рисунку 3 представлено взаємозв'язок між технологіями IoT та великих даних (Big Data) у процесах моніторингу й прогнозування технічного стану будівельних конструкцій [12].



Рис. 3. Інтеграція технологій IoT та Big Data у моніторингу й прогнозуванні стану будівельних конструкцій (розроблено авторами на основі [12])

Література

1. Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252. URL: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29LM.1943-5630.0000127>
2. Fregonese, L., et al. (2017). 3D Surveying and Modeling of Buildings Using Laser Scanning and UAV Photogrammetry. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-2/W2, 31–38. URL: <https://isprs-annals.copernicus.org/articles/IV-2-W2/31/2017/>
3. Lee, J., et al. (2013). IoT-Based Smart Monitoring System for Building Energy Management. *The Scientific World Journal*, 2013, Article ID 465646.
4. Мельник, О.В. Інформаційне моделювання будівель (BIM): теорія і практика: монографія. – Львів: Львівська політехніка, 2020. – 312 с.
5. Беліков, В.А. Методологія впровадження інформаційного моделювання будівель в інвестиційно-будівельну діяльність: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.08. – Київ, КНУБА, 2019. – 482 с.

6. Васильченко, І.В. Управління життєвим циклом будівельних об'єктів на основі BIM-технологій: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.22. – Харків, ХНУБА, 2021. – 220 с.
7. Ковальчук І.П. "Інформаційні технології у будівельному моніторингу: монографія". – Київ: КНУБА, 2020. – 315 с.
8. Луцик І.Д. "Цифрове обстеження будівель за допомогою лазерного сканування: теорія та практика": дис. ... канд. техн. наук: 05.23.22. – Київ, 2021. – 218 с.
9. Волкова О.П. "3D-моделювання у будівельному обстеженні та паспортизації об'єктів". – Харків: ХНУБА, 2022. – 276 с.
10. Кочетков А.В. Інтернет речей у будівельному моніторингу: технології та рішення: монографія. – Київ: КНУБА, 2021. – 284 с.
11. Жуков І.С. Використання технологій великих даних для прогнозування технічного стану будівельних об'єктів: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.22. – Харків: ХНУБА, 2020. – 217 с.
12. Лисенко П.О. Інтелектуальні системи моніторингу стану будівельних конструкцій на основі IoT і Big Data: монографія. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2022. – 312 с.
13. Iurii Chupryna The Updated Tool for Selecting Projects for the Target Programs of Sustainable Energy Development / Ruslan Tormosov, Abay Aryn, Maksym Horbach, Dmytro Prykhodko, Mirosлав Polzikov/ IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST) 2023 <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10223492>
14. Castells M. The Rise of the Network Society. – 2nd ed. – Oxford: Blackwell Publishers, 2000. – 594 p.
15. Toffler A. The Third Wave. – New York: William Morrow and Company, 1980. – 537 p.
16. Tormosov, R., Chupryna, I., Ryzhakova, G., Pokolenko, V., Prykhodko, D., & Faizullin, A. (2021). Establishment of the rational economic and analytical basis for projects in different sectors for their integration into the targeted diversified program for sustainable energy development. In 2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST) (pp. 1–9).
17. Mitchell W.J. City of Bits: Space, Place, and the Infobahn. – Cambridge: MIT Press, 1995. – 225 p.
18. Мельник О.В. Інформаційне моделювання будівель: теорія і практика: монографія. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. – 312 с.
19. Беліков В.А. Методологія впровадження інформаційного моделювання будівель в інвестиційно-будівельну діяльність: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.08. – Київ, КНУБА, 2019. – 482 с.

Shtyl Andrii,

Associate Professor **Horbach Maksym,**

Kolomiets Valerii, Pelekhatyi Rostyslav,

Kyiv National University of Construction and Architecture

THEORETICAL PRINCIPLES OF APPLYING DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE PROCESSES OF ASSESSING CONSTRUCTION ACTIVITIES

In the current conditions of economic digitalization, the construction industry is undergoing profound transformations that directly affect the processes of assessing its performance. Traditional methods of evaluating the results of construction

production, which are mainly focused on financial and production indicators, are increasingly proving insufficient for adequately reflecting the dynamics of industry development. The complexity of projects, the multi-level nature of processes, and the involvement of a significant number of stakeholders necessitate the implementation of digital tools that provide multidimensional analytics and data integration. Digital technologies make it possible to comprehensively monitor processes in real time, build predictive models, and enhance the transparency and justification of managerial decisions.

Keywords: digital technologies; assessment; construction activities; BIM; ERP; Big Data; blockchain; efficiency.

REFERENCES

1. Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252. URL: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29LM.1943-5630.0000127>. {in English}
2. Fregonese, L., et al. (2017). 3D Surveying and Modeling of Buildings Using Laser Scanning and UAV Photogrammetry. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-2/W2, 31–38. URL: <https://isprs-annals.copernicus.org/articles/IV-2-W2/31/2017/>. {in English}
3. Lee, J., et al. (2013). IoT-Based Smart Monitoring System for Building Energy Management. *The Scientific World Journal*, 2013, Article ID 465646. {in English}
4. Melnyk, O.V. (2020). *Building Information Modeling (BIM): Theory and Practice*. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. 312 p.
5. Bielikov, V.A. (2019). *Methodology for Implementing Building Information Modeling in Investment and Construction Activities*. Doctoral dissertation. Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture. 482 p. {in Ukrainian}
6. Vasylchenko, I.V. (2021). *Lifecycle Management of Construction Projects Based on BIM Technologies*. PhD dissertation. Kharkiv: Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. 220 p. {in Ukrainian}
7. Kovalchuk, I.P. (2020). *Information Technologies in Construction Monitoring: Monograph*. Kyiv: KNUCA. 315 p. {in Ukrainian}
8. Lutsyk, I.D. (2021). *Digital Building Surveying Using Laser Scanning: Theory and Practice*. PhD dissertation. Kyiv: KNUCA. 218 p. {in Ukrainian}

9. Volkova, O.P. (2022). 3D Modeling in Building Inspection and Object Certification. Kharkiv: Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. 276 p. {in Ukrainian}
10. Kochetkov, A.V. (2021). Internet of Things in Construction Monitoring: Technologies and Solutions. Kyiv: KNUCA. 284 p. {in Ukrainian}
11. Zhukov, I.S. (2020). Using Big Data Technologies to Predict the Technical Condition of Construction Objects. PhD dissertation. Kharkiv: Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. 217 p. {in Ukrainian}
12. Lysenko, P.O. (2022). Intelligent Systems for Monitoring the State of Building Structures Based on IoT and Big Data. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. 312 p. {in Ukrainian}
13. Chupryna, I., Tormosov, R., Aryn, A., Horbach, M., Prykhodko, D., & Polzikov, M. (2023). The Updated Tool for Selecting Projects for the Target Programs of Sustainable Energy Development. IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10223492>. {in English}
14. Castells, M. (2000). The Rise of the Network Society (2nd ed.). Oxford: Blackwell Publishers. 594 p. {in English}
15. Toffler, A. (1980). The Third Wave. New York: William Morrow and Company. 537 p. {in English}
16. Tormosov, R., Chupryna, I., Ryzhakova, G., Pokolenko, V., Prykhodko, D., & Faizullin, A. (2021). Establishment of the rational economic and analytical basis for projects in different sectors for their integration into the targeted diversified program for sustainable energy development. IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), 1–9. {in English}
17. Mitchell, W.J. (1995). City of Bits: Space, Place, and the Infobahn. Cambridge: MIT Press. 225 p. {in English}
18. Melnyk, O.V. (2020). Building Information Modeling: Theory and Practice. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. 312 p. {in Ukrainian}
19. Bielikov, V.A. (2019). Methodology for Implementing Building Information Modeling in Investment and Construction Activities. Doctoral dissertation. Kyiv: KNUCA. 482 p. {in Ukrainian}