

ЦИФРОВІЗАЦІЯ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ. КЛЮЧОВІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ BUILDING INFORMATION MODELING (BIM). ТЕХНОЛОГІЯ BLOCKCHAIN У BIM.

Вінницький національний технічний університет

У статті досліджується цифровізація будівельної галузі з акцентом на ключові тенденції розвитку технологій Building Information Modeling (BIM) та інтеграцію технології Blockchain. Описано основні цифрові технології, які впливають на трансформацію будівельного процесу, серед яких BIM, Інтернет речей (IoT), цифрові близнюки, AR/VR, 3D-друк, аналітика великих даних, хмарні обчислення та роботизація. Увагу зосереджено на BIM як на фундаментальному інструменті цифрової трансформації в архітектурі, інженерії та будівництві, розглядаючи її еволюцію до багатовимірних моделей (4D–8D), які включають виміри часу, вартості, стійкості, експлуатації та безпеки.

У роботі визначено дев'ять ключових тенденцій розвитку BIM, включно з інтеграцією цифрових близнюків, штучного інтелекту, AR/VR, хмарних платформ, систем ERP, екологічної стійкості, стандартизації, управління життєвим циклом об'єктів та нових професій. Окрему увагу приділено технології Blockchain у BIM, що забезпечує прозорість, незмінність даних, автоматизацію процесів через смарт-контракти, покращення логістики та захист інтелектуальної власності. Розглянуто концепцію CryptoBIM, яка дозволяє фіксувати всі дії з BIM-моделлю в захищеному вигляді, забезпечуючи основу для подальшої аналітики й застосування AI.

У статті також наведено приклади впровадження BIM у світі та в Україні, зокрема у проєктах з відновлення інфраструктури після воєнних руйнувань. Підкреслено важливість розвитку освітніх програм для підготовки BIM-фахівців. У підсумку наголошується, що успішне впровадження BIM потребує не лише технічних рішень, а й змін на організаційному, нормативному та освітньому рівнях.

Ключові слова: інформаційне моделювання будівель, BIM, цифровізація будівництва, Blockchain, управління будівлями, інформаційна модель, CryptoBIM.

Вступ

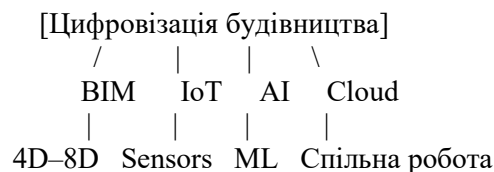
Цифрові технології мають значний вплив на будівельне виробництво, дозволяючи підвищити ефективність, точність, безпеку, а також забезпечити більш високу якість проєктів. Сьогодні можна виділити декілька ключових цифрових технологій, які активно застосовуються в сучасній будівельній галузі:

- Building Information Modeling (BIM).
- Інтернет речей (Internet of Things (IoT)).
- Цифрові близнюки (Digital Twins).
- Доповнена та віртуальна реальність (Augmented Reality/Virtual Reality (AR/VR)).
- 3D-друк у будівництві.
- Аналітика великих даних (Big Data) та штучний інтелект (Artificial Intelligence (AI)).
- Хмарні обчислення (Cloud Computing)
- Роботизація (Robotics) [1].

Ці цифрові технології суттєво змінюють підходи до проєктування, будівництва, а також управління будівельними об'єктами, роблячи процеси більш гнучкими, економічними та екологічно відповідальними.

Основний текст

Застосування цифрових технологій у будівельному виробництві сприяє створенню ефективних, економічних та стійких об'єктів, знижує витрати, підвищує якість та зменшує негативний вплив на навколишнє середовище. Вони також покращують координацію команд та управління процесами, що є важливим фактором у досягненні успішних результатів у сучасному будівництві. Однією із ключових технологій цифровізації будівництва є Building Information Modeling (BIM).



Building Information Modeling (BIM) – це процес створення та управління цифровою моделлю, що об'єднує графічну та не графічну інформацію про будівельний об'єкт на всіх етапах його життєвого циклу: від проектування і будівництва до експлуатації і демонтажу. BIM забезпечує інтеграцію всіх аспектів, ресурсів та етапів будівництва в єдину інформаційну модель, що полегшує планування, аналіз та оптимізацію будівельних проєктів.

BIM – це цифрове представлення фізичних та функціональних характеристик об'єкта. BIM є спільним інформаційним ресурсом, що підтримує інформацію про об'єкт, яка доступна для ухвалення рішень протягом його життєвого циклу [2]. BIM можна розглядати як методологію для створення, використання та збереження цифрової інформації про будівлю, що сприяє більш тісній взаємодії між учасниками проєкту та підвищенню ефективності на кожному етапі будівельного процесу [3].

Інформаційне моделювання будівель (BIM) є основою цифрової трансформації в галузі архітектури, проектування та будівництва.

Технологія BIM продовжує активно розвиватися і вдосконалюватися, і в майбутньому очікуються такі ключові тенденції:

1. Широке впровадження насамперед BIM 4D, 5D та 6D, а також в майбутньому 7D та 8D.

- BIM 4D: моделювання процесів будівництва з урахуванням часу (графіки робіт). Це дозволяє оптимізувати будівельні процеси, уникати затримок і планувати ресурсні витрати.
- BIM 5D: включає вимір вартості, що дозволяє здійснювати більш точний контроль бюджету в режимі реального часу.
- BIM 6D: додає вимір екологічної стійкості, що дозволяє оцінювати енергоефективність об'єктів, а також вплив на навколишнє середовище на всіх етапах життєвого циклу будівлі.
- BIM 7D: додає інформацію, пов'язану з управлінням об'єктом після його завершення. Це дає змогу оптимізувати експлуатацію та технічне обслуговування на основі точної та актуальної інформації про будівлю.
- BIM 8D: додає вимір безпеки, охорони праці та управління ризиками до попередніх вимірів у BIM. У 8D BIM інтеграція заходів безпеки дозволяє створити віртуальну модель об'єкта з урахуванням усіх необхідних заходів для зниження ризиків травматизму і підтримки безпечних умов праці [4].

2. Розвиток концепції цифрових близнюків (Digital Twins). Цифрові близнюки стануть невід'ємною частиною BIM. Їх інтеграція дозволить не тільки моделювати та тестувати в цифровому середовищі, але й моніторити та управляти об'єктами в реальних умовах та часі. Наприклад, цифрові близнюки допоможуть відстежувати технічний стан будівлі, проводити обслуговування і виявляти несправності. З подальшим розвитком машинного навчання та аналітикою великих даних (Big Data) ці віртуальні моделі машин стануть ключовим компонентом сучасної інженерії, оскільки вони продовжуватимуть стимулювати майбутні інновації. Хоча цифрові близнюки вже застосовуються в багатьох галузях, попит на цю технологію буде продовжувати зростати [5].

3. Інтеграція штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML). Завдяки AI BIM зможе автоматично аналізувати великі обсяги даних для прогнозування ризиків, оптимізації графіків робіт та ресурсів, а також підвищення ефективності управління проєктами. Машинне навчання допоможе виявляти закономірності у виконанні проєктів, що може сприяти покращенню якості рішень, зниженню ризиків і підвищенню точності прогнозів. Працюючи у співпраці з інженерами, віртуальні помічники та штучний інтелект можуть допомогти галузі загалом заощадити час і гроші у вигляді праці; AI можуть також допомогти замінити надлишкову робочу силу, щоб допомогти галузі домогтися економії ефективності, яка була неможливою до появи такого типу технологій. Штучний інтелект вже допомагає сфері інноваційних технологій в будівельній галузі працювати ефективніше і незабаром стане нормою, як і в інших галузях [6].

4. BIM у доповненій реальності (AR) та віртуальній реальності (VR) рисунок 1. Використання AR та VR у майбутньому стане ще більш інтегрованим з BIM, що дозволить наочно оцінювати проєкти на різних етапах. Це полегшить комунікацію з клієнтами та допоможе будівельним командам краще розуміти майбутній об'єм роботи. Віртуальні екскурсії, засновані на BIM-моделях, дозволять зацікавленим сторонам побачити кінцевий результат ще до початку будівництва, що також допоможе виявити недоліки на ранніх стадіях. Інтеграція VR та AR у BIM розширює можливості для підвищення точності проектування, ефективності будівельних процесів і поліпшення управління об'єктами. Завдяки цьому будівельна галузь отримує можливість краще прогнозувати ризики, ефективніше розподіляти ресурси та оптимізувати співпрацю на всіх етапах проєкту [7].



Рисунок 1 – Приклад BIM у доповненій реальності (AR) та віртуальній реальності (VR)

5. Хмарні обчислення та спільна робота. Хмарні технології дозволять ще більший кількості учасників проєкту працювати над BIM-моделлю одночасно, що сприятиме кращій комунікації та координації. Завдяки хмарним платформам буде можливість працювати над проєктами з будь-якого місця та з будь-якого пристрою, що є важливим фактором для розподілених команд.

6. Повна інтеграція з іншими системами управління будівництвом. BIM стає частиною єдиної екосистеми, що охоплює всі аспекти будівництва: від управління будівельними майданчиками до закупівлі матеріалів та логістики. Це зменшить ймовірність помилок і забезпечить безперервний потік інформації. Інтеграція BIM з ERP-системами (Enterprise Resource Planning) дозволяє забезпечити узгоджене управління даними проєкту, об'єднуючи інформацію про проєктування, будівництво та експлуатацію з фінансовими та ресурсними даними, що покращує контроль витрат і ефективність управління будівництвом [8].

7. Сталий розвиток та екологічна стійкість. У 2025 році BIM стане важливим інструментом для досягнення цілей сталого розвитку. BIM 6D дозволить проєктувальникам і будівельникам створювати моделі, які враховують енергоефективність, водозбереження, використання відновлюваних джерел енергії та вплив будівлі на навколишнє середовище [4]. Це допоможе проєктувальникам приймати екологічно стійкі рішення, а також оптимізувати споживання ресурсів протягом усього життєвого циклу будівлі.

8. Законодавче регулювання та стандартизація BIM. Деякі країни активно впроваджують стандарти BIM як обов'язкові для державних та великих комерційних проєктів та тендерів. Деякі органи влади (у Дубаї, Великій Британії, Фінляндії, Гонконзі) вже долучили BIM до свого законодавства [9]. У 2025 році у світі очікується підвищення кількості регіонів, де BIM стане стандартом. Це сприятиме підвищенню якості проєктів, зниженню помилок та забезпеченню однакових підходів до управління будівництвом.

9. Розвиток BIM у сфері управління життєвим циклом будівель (Facility Management). BIM буде використовуватися не тільки на стадії проєктування та будівництва (BIM 2D-6D), а й протягом усього життєвого циклу об'єкта (BIM 7D, 8D), забезпечуючи ефективний доступ до даних про конструкцію та системи будівлі. Це дозволить на основі точної інформації про об'єкт швидко реагувати на потреби технічного обслуговування, ремонту та модернізації протягом усього періоду експлуатації [10]. Така інтеграція допоможе власникам об'єктів ефективніше управляти нерухомістю і знижувати витрати протягом тривалого часу.

У таблиці 1 наведено основні етапи розвитку технології Building Information Modeling (BIM) з 1960-х років до сьогодення із зазначенням ключових подій та прикладів програмного забезпечення, які відіграли важливу роль у становленні та еволюції BIM [11-14].

Інтеграція Blockchain-технології з BIM відкриває нові можливості для підвищення прозорості, безпеки та ефективності в будівельній галузі. Blockchain забезпечує незмінність даних, дозволяючи створювати надійні цифрові сліди змін у BIM-моделях, що є критично важливим для управління великими проєктами з багатьма учасниками.

Ключові переваги інтеграції Blockchain у BIM:

- 1) Незмінність та простежуваність даних: Кожна зміна в BIM-моделі може бути зафіксована в Blockchain, що забезпечує прозору історію змін і дозволяє відстежувати, хто, коли і які зміни вносив [15].
- 2) Автоматизація через смарт-контракти: Використання смарт-контрактів дозволяє

автоматизувати виконання умов договорів, наприклад, автоматичну оплату після завершення певного етапу будівництва, що зменшує потребу в посередниках і прискорює процеси [16].

- 3) Покращення управління ланцюгом постачання: Blockchain дозволяє створити прозору систему для відстеження матеріалів і компонентів, що використовуються в будівництві, забезпечуючи їх автентичність і відповідність стандартам.
- 4) Захист інтелектуальної власності: Завдяки Blockchain можна захистити авторські права на проєктні рішення та моделі, забезпечуючи справедливий розподіл прав і винагород між учасниками проєкту.

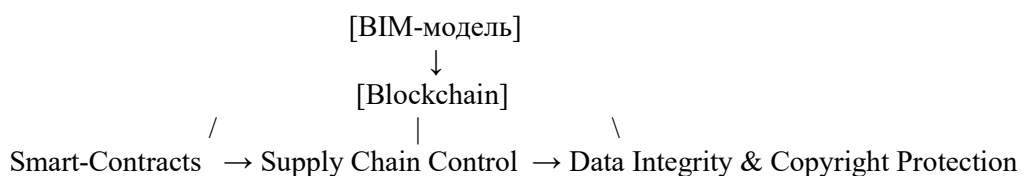
Таблиця 1

Етапи розвитку технології Building Information Modeling (BIM)

Період	Основні події та досягнення	Приклади програмного забезпечення
1960–1970-ті	Формування ідей цифрового моделювання будівель. Розробка концепції Building Description System (BDS) професором Чарльзом Істменом.	–
1980-ті	Перші CAD-системи з 3D-моделюванням, що містять інформацію про об'єкти.	ArchiCAD (1987)
1992	Вперше згадано термін «Building Information Modeling» у літературі.	–
2000–2005	Вихід Revit (2000), активне впровадження BIM. З'являються стандарти IFC, UK PAS1192.	Revit, Navisworks, Graphisoft
2010–2015	Поширення BIM 4D (час) і 5D (вартість). Зростає використання в інфраструктурних проєктах.	Synchro, Vico Office, Tekla
2015–2020	Впровадження 6D (екологічна стійкість), розвиток хмарних рішень, початок використання Digital Twins.	Autodesk Construction Cloud, BIM 360
2020–2025	BIM 7D (експлуатація) та 8D (безпека), інтеграція Blockchain, AI, AR/VR.	CryptoBIM, Revizto, Trimble Connect

Складено автором на основі джерел: Eastman et al. (2018), Autodesk, RIB Software, BIMcommunity, Wikipedia.

У дослідженні, проведеному командою Стенфордського університету, було запропоновано концепцію CryptoBIM – інтеграцію Blockchain з BIM для створення незмінного та криптографічно захищеного запису всіх рішень протягом життєвого циклу проєкту. Це дозволяє не лише підвищити прозорість, але й створити основу для застосування штучного інтелекту в аналізі проєктних даних [17].



Однак, впровадження цієї технології стикається з певними викликами, такими як відсутність стандартів, висока вартість впровадження та необхідність навчання персоналу [18].

Варто відзначити приклади реалізації BIM в Україні та світі. В Україні BIM активно впроваджується у проєкти з відновлення інфраструктури. Зокрема, дослідження, проведене спільно Loughborough University (Велика Британія) та Харківським національним університетом міського господарства імені О.М. Бекетова, розробило стратегію інтеграції BIM у післявоєнну реконструкцію України. Це включає створення типових проєктів для соціальної інфраструктури та оновлення будівельних норм з урахуванням специфіки застосування BIM [19].

На світовому рівні BIM використовується для відновлення міст після катастроф. Наприклад, дослідження McGraw Hill Construction показало, що використання BIM може зменшити витрати на будівництво до 20% та скоротити час будівництва до 50% [20].

Україна активно працює над впровадженням BIM у будівельну галузь. Зокрема, планується реалізація пілотних проєктів з використанням BIM у не менше ніж 10% будівництв, що фінансуються державою. Також розробляються методики оцінки життєвого циклу об'єктів та оновлюються будівельні норми з урахуванням специфіки застосування BIM [19].

Крім того, в Україні зростає кількість молодих фахівців, які надають послуги з BIM для міжнародних клієнтів, що свідчить про розвиток цієї технології в країні [19].

Впровадження BIM призводить до появи нових професій у будівельній галузі:

- BIM-менеджер: відповідає за впровадження та управління BIM-процесами в проєкті.
- BIM-координатор: забезпечує координацію між різними учасниками проєкту та контроль якості BIM-моделей.
- BIM-моделер: створює та оновлює 3D-моделі будівель.
- Фахівець з геоінформаційних систем (GIS): інтегрує геопросторові дані в BIM-моделі для покращення планування та аналізу.

Ці нові ролі вимагають додаткового навчання та сертифікації, що створює потребу в розвитку освітніх програм з BIM в Україні.

Висновки

У ході дослідження цифровізації будівельної галузі було визначено, що технологія Building Information Modeling (BIM) сьогодні є ключовим інструментом, що кардинально змінює традиційні підходи до проектування, будівництва та управління будівельними об'єктами. BIM забезпечує інтеграцію всіх учасників будівельного процесу в єдине інформаційне середовище, що сприяє підвищенню ефективності, прозорості та якості прийняття рішень на всіх етапах життєвого циклу об'єкта.

Важливою тенденцією є еволюція BIM від простих 3D-моделей до багатовимірних моделей (4D–8D), які включають додаткові параметри, такі як час, вартість, екологічна стійкість, експлуатація та безпека. Це дозволяє не лише прогнозувати і контролювати процес будівництва, а й забезпечувати більш сталий розвиток та довготривалу експлуатацію об'єктів.

Інтеграція таких сучасних цифрових технологій, як цифрові близнюки, штучний інтелект, AR/VR, хмарні обчислення та роботизація, створює нові можливості для автоматизації, оптимізації ресурсів і підвищення продуктивності галузі. Водночас, розвиток нових професійних компетенцій і освітніх програм є необхідною умовою для успішного впровадження цих технологій.

Окрему увагу приділено застосуванню технології Blockchain у BIM, що забезпечує прозорість, незмінність та безпеку даних, а також автоматизацію процесів через смарт-контракти. Концепція CryptoBIM відкриває перспективи для зашифрованого зберігання інформації та подальшого застосування аналітики і штучного інтелекту, що сприятиме підвищенню рівня довіри між учасниками проєктів і захисту інтелектуальної власності.

Приклади впровадження BIM у світовій та українській практиці, особливо у проєктах з відновлення інфраструктури після військових руйнувань, демонструють значний потенціал цієї технології у підтримці сталого розвитку та реконструкції. Водночас підкреслюється, що технічні інновації мають супроводжуватися відповідними організаційними, нормативними та освітніми змінами, щоб забезпечити комплексний і ефективний процес цифрової трансформації будівельної галузі.

Таким чином, цифровізація будівництва, базована на BIM і підтримана сучасними цифровими технологіями, є ключовою передумовою для розвитку конкурентоспроможної, екологічно відповідальної та інноваційної будівельної індустрії в Україні і світі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Цифровізація будівельної галузі. URL: <https://dedalsoft.com.ua/blog/tsifrovizatsiya-budivelnnoi-galuzi> (дата звернення: 11.11.2024).
2. National Institute of Standards and Technology (NIST). 2007. Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry.
3. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. 2018. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.
4. Dr Stephen Hamil. BIM dimensions – 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained URL: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained> (дата звернення: 11.11.2024).
5. Деркач М. Цифрові двійники: що це за технологія і як вона допоможе відновити Україну – аналітика. URL: <https://psm7.com/uk/analytics/cifrovyje-dvojniki-hto-eto-za-tekhnologiya-i-kak-ona-pomozhet-vosstanovit-ukrainu-analitika.html> (дата звернення: 11.11.2024).
6. Київська К. І. Аналіз застосування штучного інтелекту в BIM-технологіях [Текст] / К. І. Київська, С. В. Цюцюра, М. Б. Кулеба // Управління розвитком складних систем. – 2020. – № 43. – С. 97 – 103, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2020.43.97-103.
7. Li X., Yi W., Chi H.-L. 2018. «A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety» Automation in Construction, 86, 150-162.

8. Sacks R., Barak R. 2008. «Impact of three-dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice» Automation in Construction, 17(4), 439-449.
9. Міждержавна гільдія інженерів консультантів. BIM та ISO 19650 – у контексті управління проектами. Організація та оцифрування інформації про будівлі і споруди з інформаційним моделюванням будівель (BIM). URL: https://iceg.com.ua/wp-content/uploads/2019/11/EFCA_Flipbook_BIM_ukr_.pdf (дата звернення: 11.11.2024).
10. Тертишний О. В. 2017. «Застосування інформаційного моделювання будівель (BIM) для управління об'єктами нерухомості» Сучасні технології в будівництві, 1, 49-54.
11. Eastman C. M. The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design. Research Report No. 50. Carnegie–Mellon University, Pittsburgh (1974). URL: https://www.beck-technology.com/blog/rebels-of-construction-charles-m-eastman?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 14.06.2025).
12. Graphisoft. ArchiCAD – the first BIM software, released in 1987 // Wikipedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/ArchiCAD?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 14.06.2025).
13. Autodesk. Revit 1.0 released April 2000 // Wikipedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Revit?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 14.06.2025).
14. Hamledari H., Fischer M., Lepech M.D. CryptoBIM: Blockchain-Enabled and Cryptographic BIM. Stanford Univ. (2018). URL: https://cife.stanford.edu/cryptobim-blockchain-enabled-and-cryptographic-building-information-modeling?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 14.06.2025).
15. Scope of Blockchain in BIM. URL: https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Scope-Blockchain-BIM-2020?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 30.05.2025).
16. Kamel M.A., Bakhoun E.S., Marzouk, M.M. A framework for smart construction contracts using BIM and blockchain. Sci Rep 13, 10217 (2023). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37353-0> (дата звернення: 30.05.2025).
17. CryptoBIM: Blockchain-Enabled and Cryptographic Building Information Modeling. URL: https://cife.stanford.edu/cryptobim-blockchain-enabled-and-cryptographic-building-information-modeling?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 30.05.2025).
18. An Q., Bi X., Xu Y., Chong H.-Y., Liao, X. (2025). Analyzing Barriers of BIM and Blockchain Integration: A Hybrid ISM-DEMATEL Approach. Buildings, 15(8), 1370. DOI: 10.3390/buildings15081370, URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/8/1370> (дата звернення: 30.05.2025).
19. Demian P., Hassan T. M., Kalmykov O., Demianenko I., Makarov R. «BIM Implementation in Post-War Reconstruction of Ukraine», Buildings 2024, 14, 3495. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings14113495> (дата звернення: 30.05.2025).
20. City Reconstruction: The Potential of BIM and AI After Devastation. URL: https://www.bimcommunity.com/bim-projects/potential-of-bim-and-ai-after-devastation/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 30.05.2025).

REFERENCES

1. Digitalization of the construction industry. URL: <https://dedalsoft.com.ua/blog/tsifrovizatsiya-budivelnoi-galuzi> (date of access: 11.11.2024).
2. National Institute of Standards and Technology (NIST). 2007. Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry.
3. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. 2018. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.
4. Dr Stephen Hamil. BIM dimensions – 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained URL: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained> (date of access: 11.11.2024).
5. Derkach M. Digital twins: what is this technology and how it can help rebuild Ukraine – analytics. URL: <https://psm7.com/uk/analytics/cifrovyje-dvojniki-hto-eto-za-technologiya-i-kak-ona-pomozhet-vosstanovit-ukrainu-analitika.html> (date of access: 11.11.2024).
6. Kyivska K. I., Tsiutsiura S. V., Kuleba M. B. Analysis of the use of artificial intelligence in BIM technologies [Text] // Development Management of Complex Systems. – 2020. – No. 43. – P. 97–103, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2020.43.97-103.
7. Li X., Yi W., Chi H.-L. 2018. «A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety» Automation in Construction, 86, 150-162.
8. Sacks R., Barak R. 2008. «Impact of three-dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice» Automation in Construction, 17(4), 439-449.
9. Interstate Guild of Consulting Engineers. BIM and ISO 19650 – in the context of project management. Organization and digitization of information on buildings and structures using Building Information Modeling (BIM). URL: https://iceg.com.ua/wp-content/uploads/2019/11/EFCA_Flipbook_BIM_ukr_.pdf (date of access: 11.11.2024).
10. Tertyshnyi O. V. 2017. The use of Building Information Modeling (BIM) for real estate asset management // Modern Technologies in Construction, 1, 49–54.
11. Eastman C. M. The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design. Research Report No. 50. Carnegie–Mellon University, Pittsburgh (1974). URL: https://www.beck-technology.com/blog/rebels-of-construction-charles-m-eastman?utm_source=chatgpt.com (date of access: 14.06.2025).
12. Graphisoft. ArchiCAD – the first BIM software, released in 1987 // Wikipedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/ArchiCAD?utm_source=chatgpt.com (date of access: 14.06.2025).
13. Autodesk. Revit 1.0 released April 2000 // Wikipedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Revit?utm_source=chatgpt.com (date of access: 14.06.2025).

14. Hamledari H., Fischer M., Lepech M.D. CryptoBIM: Blockchain-Enabled and Cryptographic BIM. Stanford Univ. (2018). URL: https://cife.stanford.edu/cryptobim-blockchain-enabled-and-cryptographic-building-information-modeling?utm_source=chatgpt.com (date of access: 14.06.2025).
15. Scope of Blockchain in BIM. URL: https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Scope-Blockchain-BIM-2020?utm_source=chatgpt.com (date of access: 30.05.2025).
16. Kamel M.A., Bakhoun E.S., Marzouk, M.M. A framework for smart construction contracts using BIM and blockchain. Sci Rep 13, 10217 (2023). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37353-0> (date of access: 30.05.2025).
17. CryptoBIM: Blockchain-Enabled and Cryptographic Building Information Modeling. URL: https://cife.stanford.edu/cryptobim-blockchain-enabled-and-cryptographic-building-information-modeling?utm_source=chatgpt.com (date of access: 30.05.2025).
18. An Q., Bi X., Xu Y., Chong H.-Y., Liao, X. (2025). Analyzing Barriers of BIM and Blockchain Integration: A Hybrid ISM-DEMATEL Approach. Buildings, 15(8), 1370. DOI: 10.3390/buildings15081370, URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/8/1370> (date of access: 30.05.2025).
19. Demian P., Hassan T. M., Kalmykov O., Demianenko I., Makarov R. «BIM Implementation in Post-War Reconstruction of Ukraine», Buildings 2024, 14, 3495. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings14113495> (date of access: 30.05.2025).
20. City Reconstruction: The Potential of BIM and AI After Devastation. URL: https://www.bimcommunity.com/bim-projects/potential-of-bim-and-ai-after-devastation/?utm_source=chatgpt.com (date of access: 30.05.2025).

Обідник Микола Дем'янович – канд. техн. наук, ст. викладач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: obidnyk.mykola@vntu.edu.ua

Обідник Марія Вячеславівна – магістр Інституту менеджменту Люблінської політехніки

M. D. Obidnyk

M. V. Obidnyk

DIGITALIZATION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY. KEY TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) TECHNOLOGY. BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN BIM.

Vinnytsia National Technical University

This article explores the digitalization of the construction industry with a focus on key trends in the development of Building Information Modeling (BIM) technology and the integration of Blockchain technology. It describes the main digital technologies transforming construction processes, including BIM, the Internet of Things (IoT), digital twins, AR/VR, 3D printing, big data analytics, cloud computing, and robotics. Particular attention is given to BIM as a fundamental tool for digital transformation in architecture, engineering, and construction, examining its evolution into multidimensional models (4D–8D), which incorporate dimensions of time, cost, sustainability, operation, and safety.

The study identifies nine key trends in the development of BIM, including the integration of digital twins, artificial intelligence, AR/VR, cloud platforms, ERP systems, environmental sustainability, standardization, lifecycle management of assets, and the emergence of new professional roles. Special attention is paid to Blockchain technology in BIM, which ensures transparency, data immutability, process automation through smart contracts, improved logistics, and intellectual property protection. The concept of CryptoBIM is discussed, allowing all actions with the BIM model to be recorded in encrypted form, creating a basis for advanced analytics and AI applications.

The article also presents examples of BIM implementation worldwide and in Ukraine, particularly in infrastructure recovery projects after wartime destruction. It emphasizes the importance of developing educational programs to train BIM specialists. In conclusion, it highlights that successful BIM implementation requires not only technical solutions but also changes at organizational, regulatory, and educational levels.

Keywords: Building Information Modeling, BIM, construction digitalization, Blockchain, building management, information model, CryptoBIM.

Obidnyk Mykola D. – Ph.D. Senior Lecturer, Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: obidnyk.mykola@vntu.edu.ua

Obidnyk Mariia V. – Master's degree of the Institute of Management of the Lublin Polytechnic