

ЦИФРОВІ БЛИЗНЮКИ (DIGITAL TWINS) ЯК НЕВІД'ЄМНА ЧАСТИНА ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВЕЛЬ (BIM)

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено аналіз використання цифрових близнюків (Digital Twins) у поєднанні з BIM, а також наведено основні відмінності, переваги та приклади застосування, що відкриває нові можливості для інтелектуального управління будівлями, підвищення ефективності їхньої експлуатації та мінімізації витрат на утримання.

Ключові слова: цифрові близнюки, інформаційне моделювання будівель, BIM, будівництво, проектування, управління будівлями.

Abstract

An analysis of the use of Digital Twins in combination with BIM has been conducted, highlighting the key differences, advantages, and application examples. This opens up new opportunities for intelligent building management, enhances operational efficiency, and minimizes maintenance costs.

Keywords: Digital Twins, Building Information Modeling, BIM, construction, designing, building management.

Вступ

Сучасні технології будівництва переживають суттєву цифрову трансформацію, яка змінює традиційні підходи до проектування, зведення та експлуатації будівель. Одним із ключових напрямів цієї трансформації є поєднання методології Building Information Modeling (BIM) із концепцією Digital Twin (DT).

BIM і Digital Twins є взаємодоповнюючими технологіями. BIM (Інформаційне моделювання будівель) є основою для створення цифрового представлення будівлі, тоді як Digital Twin (Цифровий близнюк) розширює цю концепцію, роблячи модель інтерактивною та динамічною.

Коли ці дві потужні технології поєднуються, будівельна галузь не тільки забезпечує більш ефективні та економічні проекти, але й підтримує екологічну стійкість, знижує витрати та покращує спосіб управління активами.

У цій статті розглядається роль цифрових близнюків у BIM, їхні основні відмінності та переваги, а також практичні приклади застосування у будівельній сфері.

Основний текст

Цифровий близнюк (Digital Twin) – це віртуальна копія фізичного об'єкта, процесу або системи, яка оновлюється в режимі реального часу на основі даних з сенсорів та інших джерел [1]. У будівництві цифрові близнюки дозволяють створювати детальні цифрові моделі будівель, що використовуються для проектування, експлуатації та обслуговування.

BIM (Building Information Modeling) – це методологія інформаційного моделювання будівель, яка включає створення та управління цифровими представленнями фізичних та функціональних характеристик будівель [2].

Цифрові близнюки є наступним кроком у розвитку BIM, оскільки вони дозволяють інтегрувати реальні дані та постійно оновлювати модель у процесі експлуатації.

BIM та Digital Twins мають спільні риси, але їхнє призначення та функціональність відрізняються. BIM переважно використовується на етапах проектування та будівництва, тоді як цифрові близнюки працюють у реальному часі, взаємодіючи з фізичним об'єктом під час його експлуатації [2].

У таблиці 1 представлено основні відмінності між BIM та Digital Twins [1,2,3,4,5].

Таблиця 1. Основні відмінності між BIM та Digital Twins

ХАРАКТЕРИСТИКА	BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) (Інформаційне моделювання будівель)	DIGITAL TWIN (Цифровий близнюк)
Основне призначення	Створення інформаційної 3D-моделі будівлі для проєктування та будівництва	Динамічна цифрова модель, яка оновлюється в реальному часі під час експлуатації об'єкта
Життєвий цикл	Використовується в основному на етапах проєктування, будівництва та передачі об'єкта в експлуатацію	Охоплює всі стадії життєвого циклу: від проєктування до демонтажу
Тип даних	Статичні або періодично оновлювані дані	Динамічні дані, які надходять у режимі реального часу
Джерела даних	Дані з проєктної документації, архітектурних і конструктивних моделей	Дані з IoT-датчиків, систем автоматизації будівель (BMS), кліматичних датчиків, тощо
Оновлення моделі	BIM-модель оновлюється вручну або періодично за потреби	Цифровий близнюк оновлюється автоматично в реальному часі
Фізична відповідність	BIM-модель є віртуальним представленням об'єкта, але не обов'язково відображає його поточний стан	Digital Twin повністю відповідає фізичному об'єкту, оскільки синхронізується з реальними даними
Інтеграція з IoT	Обмежена або не передбачена	Є ключовою особливістю цифрового близнюка, що дозволяє отримувати дані з датчиків та аналітичних систем
Прогнозування та аналіз	В основному використовується для аналізу проєктних рішень	Використовує машинне навчання та аналітику для прогнозування технічного стану, попередження аварій
Застосування	Проєктування, координація будівництва, управління інформацією про об'єкт	Управління об'єктом у реальному часі, оптимізація обслуговування, енергоефективність, аналіз зносу будівлі

Для візуального порівняння: BIM – це як «фотографія» будівлі з усіма її компонентами та інформацією про них, але без можливості миттєвого оновлення змін; Digital Twin – це як «живий організм», який реагує на зміни, збирає інформацію в реальному часі та взаємодіє із зовнішнім середовищем.

BIM використовується для створення точного проєкту будівлі перед її будівництвом. Після завершення будівництва BIM може бути інтегрований із цифровим близнюком, який починає отримувати дані з датчиків і систем моніторингу [1]. Digital Twin використовує BIM-модель як основу, але постійно оновлюється для відображення поточного стану об'єкта [5].

Практичні приклади відмінностей:

- Проєктування та будівництво: BIM допомагає створити точні 3D-моделі будівлі, виконати моделювання будівельних процесів та розрахувати оптимальні параметри матеріалів. Digital Twin на цьому етапі майже не використовується, оскільки ще немає фізичного об'єкта для зв'язку з цифровою моделлю [1,2].
- Експлуатація та обслуговування: BIM-модель використовується для планування ремонтів та оцінки характеристик будівлі. Digital Twin дозволяє відстежувати зміни у стані будівлі (наприклад, перегрів системи вентиляції або підвищене навантаження на конструкції) та прогнозувати майбутні проблеми [4].
- Енергоефективність: BIM може містити розрахункові показники енергоспоживання будівлі. Digital Twin у реальному часі аналізує споживання енергії та допомагає оптимізувати використання ресурсів [6].

Переваги використання цифрових близнюків у BIM:

- Моніторинг у реальному часі – цифрові близнюки дозволяють контролювати стан будівельних конструкцій і систем завдяки інтеграції з датчиками [3].

- Прогнозування та аналіз – використання штучного інтелекту та аналітики для попередження поломок і зменшення експлуатаційних витрат [6].
- Оптимізація витрат – підвищення ефективності обслуговування будівлі та зменшення витрат на ремонт [4].
- Інтеграція з IoT – можливість підключення датчиків температури, вологості, споживання енергії тощо [5].

Наведемо декілька прикладів застосування Digital Twins у будівництві:

- Сінгапур – уряд Сінгапуру створив цифровий близнюк всього міста для оптимізації інфраструктури та прогнозування розвитку.
- Лондон, аеропорт Хітроу – використовується цифровий близнюк для управління обслуговуванням та безпекою об'єкта.
- Hudson Yards (США) – цифровий близнюк використовується для оптимізації енергоефективності в одному з найбільших будівельних проєктів Нью-Йорка.
- Проєкт «Амстердамський цифровий близнюк» – інтеграція BIM та Digital Twin допомагає місту прогнозувати розвиток інфраструктури та контролювати навантаження на будівлі.

Висновки

Технології Digital Twin і BIM революціонізують будівельну галузь, роблячи процеси проектування, будівництва, експлуатації та обслуговування проєктів більш ефективними та стійкими. Цифрові близнюки – це майбутнє будівельної галузі, що дозволяє покращити управління об'єктами на всіх етапах їхнього життєвого циклу. Поєднання BIM та Digital Twins дозволяє створювати більш розумні та ефективні будівлі, що реагують на зміни в режимі реального часу. Оскільки вони стають більш інтегрованими, ми можемо сподіватися на подальший прогрес, особливо в зростаючій інфраструктурі України. Цифрові близнюки та BIM закладають основу для розумних міст майбутнього, дозволяючи створити більш стійке та зручне для життя середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Grieves M., Vickers J. Origins of the Digital Twin Concept «Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems (Excerpt)» 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept (date of access: 14.03.2025)
2. Boje C., Guerriero A., Kubicki S., Rezgui Y. «Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research.» 2020. Automation in Construction, 114, 103179. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580519314785?via%3Dihub> (date of access: 14.03.2025)
3. Qi Q., Tao F. «Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison» 2021. Automation in Construction, 126, 103779. URL: https://www.researchgate.net/publication/322512249_Digital_Twin_and_Big_Data_Towards_Smart_Manufacturing_and_Industry_4_0_360_Degree_Comparison (date of access: 19.03.2025)
4. Deng M., Menassa C. C., Kamat V. R.. «From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry.» 2021. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 26, 58-83. URL: https://www.itcon.org/papers/2021_05-SI-ITcon-Deng.pdf (date of access: 16.03.2025)
5. Tao F., Zhang M., Liu Y., Cheng J. «Digital Twin in Industry: State-of-the-Art.» 2018. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 29, 36-52. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8477101> (date of access: 18.03.2025)
6. Opoku D., Perera S., Osei-Kyei R. «The role of digital twin in the construction industry.» 2021. Automation in Construction, 132, 103941. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221005842> (date of access: 19.03.2025)

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

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