

УДК 69.003:004.89

DOI 10.47049/2226-1893-2026-2-69-90

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

М.В. Адамчук

к.т.н, доцент кафедри «Морське та цивільне будівництво і архітектура»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9917-5465>

adamchuk@te.net.ua,

Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

Анотація. У статті виконано оглядово-прикладний аналіз сучасних підходів до застосування технологій штучного інтелекту (ШІ) у будівельній галузі з акцентом на використання BIM-середовища на етапах проєктування, будівництва та експлуатації будівель і споруд. Розглянуто основні напрями впровадження ШІ, зокрема генеративну візуалізацію, автоматизацію BIM-моделювання і проєктної документації, інтелектуальний аналіз параметричних моделей та формування цифрових двійників. Особливу увагу приділено практичному застосуванню ШІ-інструментів у програмному комплексі Autodesk Revit з позицій інженера-конструктора. На основі аналізу сучасних програмних рішень визначено їх функціональні можливості, переваги та обмеження, а також межі доцільного використання у професійній інженерній практиці. Показано, що на сучасному етапі ШІ виступає ефективним інструментом підтримки проєктування та автоматизації рутинних операцій, не замінюючи при цьому інженерні розрахунки і професійні рішення фахівця. Отримані результати можуть бути використані проєктними організаціями та BIM-фахівцями для обґрунтованого впровадження ШІ-інструментів у будівельному проєктуванні.

Ключові слова: штучний інтелект; BIM; Autodesk Revit; будівельне проєктування; автоматизація проєктних робіт; цифрові двійники.

UDC 69.003:004.89

DOI 10.47049/2226-1893-2026-2-69-90

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Mykola Adamchuk

Ph.D., associate professor

of the Department «Marine, civil engineering and architecture»

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

© Адамчук М.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Abstract. *This paper presents a review-oriented and applied analysis of contemporary approaches to the use of artificial intelligence technologies in the construction industry, with a particular focus on the application of BIM environments during the design, construction, and operation stages of buildings and structures. The main directions of AI implementation are considered, including generative visualization, automation of BIM modeling and project documentation, intelligent analysis of parametric models, and the development of digital twins. Special attention is given to the practical use of AI-based tools within the Autodesk Revit software environment from the perspective of a structural engineer. Based on the analysis of modern software solutions, their functional capabilities, advantages, and limitations are identified, as well as the boundaries of their reasonable application in professional engineering practice. It is shown that at the current stage, artificial intelligence serves primarily as an effective tool for supporting design processes and automating routine operations, while not replacing engineering calculations or professional decision-making by specialists. The results obtained may be useful for design organizations and BIM professionals when implementing AI tools in construction design workflows.*

Keywords: *artificial intelligence; BIM; Autodesk Revit; construction design; automation of design processes; digital twins.*

Вступ. Упродовж останніх років будівельна галузь перебуває на етапі активної цифрової трансформації, що охоплює всі стадії життєвого циклу будівель і споруд – від проєктування до експлуатації. Важливу роль у цьому процесі відіграють технології інформаційного моделювання будівель (BIM), які забезпечують формування єдиного інформаційного простору для зберігання та обробки геометричних, фізичних і експлуатаційних даних. Зі зростанням складності проєктів та обсягів інформації виникає практична потреба у використанні інструментів, здатних автоматизувати рутинні операції та підвищити ефективність інженерної діяльності.

Одним із напрямів розвитку цифрових технологій у будівництві є впровадження методів ШІ, які застосовуються для аналізу даних, підтримки прийняття рішень та оптимізації проєктних процесів. Поєднання BIM-середовища з алгоритмами ШІ створює передумови для автоматизованої перевірки моделей, обробки параметричної інформації, підготовки проєктної документації та формування цифрових представлень об'єктів. При цьому ШІ розглядається не як засіб заміни інженера, а як інструмент підтримки його професійної діяльності.

Разом з тим практичне застосування технологій штучного інтелекту в BIM-системах має низку обмежень, пов'язаних із якістю вихідних даних, структурою інформаційних моделей та специфікою інженерних задач. Більшість сучасних ШІ-рішень орієнтована на автоматизацію окремих операцій або візуальну обробку моделей і не виконує повноцінного інженерного аналізу конструктивної роботи елементів. Це зумовлює необхідність критичного огляду наявних інструментів з позицій їх реальної користі для інженерно-конструктивної практики.

Дана стаття має оглядово-прикладний характер і спрямована на аналіз сучасних підходів до застосування штучного інтелекту в BIM-середовищі, зокрема

у програмному комплексі Autodesk Revit. Основну увагу приділено класифікації ІІІ-інструментів, оцінюванню їх функціональних можливостей і обмежень, а також визначенню меж доцільного використання у професійній діяльності інженера-конструктора.

Пошук вихідних матеріалів для статті виконано за допомогою ІІІ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж останніх років застосування технологій ІІІ в будівельній галузі активно досліджується в межах напрямку AECO (architecture-engineering-construction-operation). За результатами систематичних оглядів, опублікованих у 2022-2025 роках, понад 60-70 % наукових публікацій, присвячених застосуванню ІІІ в будівництві, з'явилися після 2018 року, що свідчить про активну фазу розвитку цього напрямку [1].

Аналіз тематики досліджень показує, що понад половину (близько 50-55 %) робіт присвячено етапам будівництва та експлуатації об'єктів, зокрема прогнозуванню строків, вартості та контролю виконання робіт [1-4]. Близько 25-30 % публікацій зосереджені на задачах аналізу ризиків, планування та безпеки будівельних процесів. Водночас менше третини досліджень стосуються застосування штучного інтелекту безпосередньо на стадії проектування в ВІМ-середовищі.

Огляд публікацій також свідчить, що лише близько 20-30 % робіт містять результати перевірки запропонованих ІІІ-рішень у реальних проєктах, тоді як більшість досліджень обмежується експериментальними або демонстраційними прикладами [1; 2]. Це ускладнює оцінювання практичної доцільності таких рішень у професійній інженерній діяльності.

На етапі експлуатації будівель і споруд активного розвитку набуває концепція цифрових двійників. За даними галузевих оглядів [5, 6], використання таких підходів дозволяє знизити експлуатаційні витрати в межах 10-20 %, однак більшість реалізацій перебуває на стадії пілотних проєктів і потребує подальшої стандартизації та методичного опрацювання.

Кількісний аналіз літературних джерел підтверджує, що, незважаючи на значний інтерес до застосування штучного інтелекту в будівельній галузі, практичні аспекти інтеграції ІІІ у ВІМ-середовище на етапі інженерного проєктування залишаються недостатньо опрацьованими, що обґрунтовує доцільність подальшого прикладного аналізу сучасних інструментів.

Постановка проблеми. Аналіз сучасних досліджень і практичних рішень свідчить, що технології штучного інтелекту активно впроваджуються у будівельній галузі та охоплюють різні етапи життєвого циклу будівель і споруд. На ринку присутня значна кількість програмних інструментів і сервісів, що використовують алгоритми ІІІ для автоматизації окремих процесів проектування, візуалізації, підготовки документації та аналізу даних у ВІМ-середовищі.

Разом з тим практичне застосування таких інструментів у повсякденній інженерній діяльності залишається фрагментарним і несистематизованим. Більшість наявних ІІІ-рішень орієнтована на виконання окремих рутинних операцій або візуальних задач і не забезпечує цілісної підтримки інженерно-конструктивних рішень. У результаті ефективність їх використання значною мірою залежить від

досвіду користувача, якості підготовки BIM-моделей та рівня інтеграції інструментів у проєктні процеси.

За відсутності узагальненого прикладного аналізу сучасних III-інструментів інженеру-конструктору складно обґрунтовано оцінити доцільність їх застосування, визначити межі функціональних можливостей і врахувати обмеження, пов'язані з особливостями BIM-моделей та інженерних задач. Це формує практичну потребу у систематизованому огляді існуючих рішень з позицій їх реальної користі для професійної інженерної практики.

Мета та завдання. Метою статті є аналіз сучасних підходів до застосування технологій III у будівельному проєктуванні на основі BIM, а також оцінювання можливостей і обмежень існуючих III-інструментів у середовищі Autodesk Revit з позицій інженерно-конструктивної практики.

Для досягнення поставленої мети у статті передбачається вирішення таких основних завдань:

- проаналізувати сучасні напрями застосування технологій III у будівельній галузі на різних етапах життєвого циклу будівель і споруд;
- узагальнити результати наукових публікацій і практичних розробок, присвячених інтеграції III та BIM-технологій;
- систематизувати основні класи III-інструментів, що використовуються у BIM-середовищі;
- оцінити функціональні можливості таких інструментів у програмному комплексі Autodesk Revit з точки зору автоматизації проєктних операцій та аналізу BIM-моделей;
- визначити основні обмеження і умови доцільного застосування III-рішень у професійній діяльності інженера-конструктора;
- окреслити перспективні напрями подальшого розвитку та практичного впровадження інтелектуальних інструментів підтримки BIM-проєктування.

Результати досліджень. Отримані результати свідчать, що наявні інструменти можуть бути умовно поділені на декілька функціональних груп залежно від їх призначення та ролі у проєктному процесі. Подальший виклад матеріалу структуровано за основними напрямками застосування штучного інтелекту, що дозволяє оцінити їх практичну корисність, функціональні можливості та обмеження з позицій інженерно-конструктивної діяльності.

Сучасне проєктування будівель і споруд ґрунтується на використанні технологій інформаційного моделювання (BIM). BIM-моделі забезпечують інтеграцію геометричних, фізичних та інформаційних даних, що створює передумови для застосування методів штучного інтелекту з метою автоматизації проєктних операцій, аналізу моделей та підтримки прийняття інженерних рішень. У ході дослідження встановлено, що сучасні III-рішення в BIM-середовищі можна умовно поділити на декілька функціональних напрямів: автоматизація моделювання та документації, інтелектуальний аналіз BIM-даних, генеративні підходи до формування рішень, а також інтеграція BIM із зовнішніми джерелами інформації. Найбільш розвиненим на сьогодні є напрям автоматизації рутинних операцій, що пов'язані з підготовкою креслень, специфікацій та перевіркою моделей.

Окремо слід відзначити, що наявні ІІІ-інструменти демонструють високий потенціал у задачах аналізу моделей, пошуку помилок і підготовки інформації для подальших інженерних рішень. Наприклад, можливість автоматизованого виявлення елементів без аналітичної моделі, відсутнього армування або невідповідності параметрів дозволяє інженеру швидше локалізувати проблемні ділянки проєкту. Проте остаточне рішення щодо конструктивної доцільності залишається за фахівцем.

У ході дослідження також встановлено, що сучасні ІІІ-підходи в BIM-середовищі здебільшого орієнтовані на підтримку взаємодії з програмним забезпеченням та автоматичну генерацію команд, а не на глибокий аналіз конструктивної роботи елементів. Це свідчить про те, що ІІІ сьогодні ефективніше застосовується як інструмент інтерфейсу та автоматизації, ніж як засіб інженерного розрахунку.

Одним із найбільш популярним інструментом, що забезпечує реалізацію BIM моделювання є програмний комплекс *Autodesk Revit*. Аналіз наявних ІІІ-інструментів для Autodesk Revit показує, що їх основна практична цінність полягає у значному скороченні часу на виконання повторюваних проєктних дій. За рахунок автоматизованої обробки параметрів елементів, масових змін сімейств та генерації документації досягається підвищення продуктивності роботи інженера-конструктора без втрати точності проєктних даних. Але такі інструменти не виконують самостійних інженерних розрахунків і не замінюють професійні знання фахівця. Більшість сучасних ІІІ-рішень у Revit орієнтована на роботу з уже сформованими BIM-моделями. Ефективність їх використання значною мірою залежить від якості та структури вихідних даних, зокрема від коректності параметрів елементів, логіки побудови моделі та дотримання єдиних стандартів моделювання. За відсутності впорядкованої параметричної структури результати роботи ІІІ можуть бути обмеженими або потребувати додаткового ручного коригування.

Генеративна візуалізація та хмарні платформи штучного інтелекту.

Одним із напрямів застосування ІІІ в сучасній будівельній галузі є генеративна візуалізація та підтримка ранніх стадій проєктування за допомогою хмарних платформ. Такі рішення орієнтовані насамперед на швидке формування візуальних концепцій, аналіз просторових варіантів та покращення комунікації між учасниками проєкту. Вони використовують алгоритми глибокого навчання для автоматизованого створення фотореалістичних зображень і стилізованих візуалізацій на основі CAD- та BIM-моделей. На відміну від традиційних інструментів офлайн-рендерінгу, генеративні платформи не потребують значних обчислювальних ресурсів на робочому місці користувача, оскільки обробка даних виконується на хмарних серверах. Це дозволяє значно скоротити час отримання візуальних результатів і зробити процес ітеративного опрацювання архітектурних рішень більш гнучким.

До прикладів таких рішень належить платформа *MyArchitectAI* [8], яка використовує алгоритми штучного інтелекту для автоматизованого рендерінгу архітектурних моделей. Платформа підтримує завантаження проєктів з різних CAD- і BIM-систем та дозволяє отримувати візуалізації за короткий проміжок часу без додаткової підготовки сцени. Практичне значення таких інструментів полягає у

можливості швидкого порівняння різних варіантів зовнішнього вигляду будівлі та матеріальних рішень на ранніх стадіях проектування.

MyArchitectAI підтримує проекти з будь-якого програмного забезпечення CAD та 3D-моделювання. Достатньо просто завантажити архітектурний проект, щоб почати експериментувати з різними стилями. Рушій ШІ рендерить модель менш ніж за 10 секунд без досвіду 3D-моделювання чи високопродуктивних комп'ютерів, оскільки весь процес відбувається на хмарних графічних процесорах *MyArchitectAI* (рис. 1).



а) вихідна модель

Scene description

beautiful residential building, suburban landscape, sunny day

Negative prompt

blurry, details are low, overlapping, grainy, multiple angles, deformed structures, unnatural, unrealistic, humans, animals, cartoon, anime

☒ Use default negative prompt (recommended)

Generate

б) налаштування параметрів (запит до ШІ)



с) результат візуалізації

Рис. 1. Робочий процес формування візуалізації у платформі *MyArchitectAI*

Для проробки різних варіантів візуалізації в Revit витрачається багато часу на зміни матеріалів, розташування об'єкту на певній площадці у навколишньому середовищі тощо. Цю проблему можна вирішити при використанні інструмента для візуалізації – *Veras* [9]. За допомогою *Veras* можна, наприклад, просто вибрати відповідне навколишнє середовище із стандартного набору, швидко змінити матеріали огорожувальних конструкцій за допомогою «повзунків» і одразу отримати результат – поточну візуалізацію (рис. 2).

Veras (від компанії EvolveLab) забезпечує створення художніх візуалізацій без експорту у спеціалізовані рендерингові програми (наприклад, 3D Max). Це дозволяє архітекторам та дизайнерам швидко створювати та вдосконалювати візуальні концепції безпосередньо в програмному забезпеченні (рис. 3). За допомогою генеративного ШІ інтелекту *Veras* перетворює ескізи, 2D-зображення та 3D-моделі на реалістичні візуалізації та анімацію. *Veras* дозволяє оперативно змінювати параметри середовища, матеріалів і стилістики, що суттєво прискорює процес підготовки візуальних матеріалів для презентацій та обговорень проєктних рішень (рис. 4).

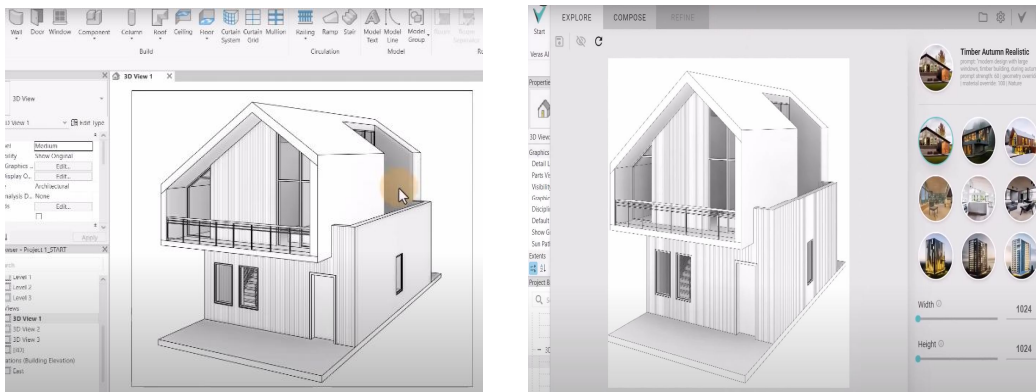


Рис. 2. Модель в Ревіті та меню вибору середовища у *Veras*

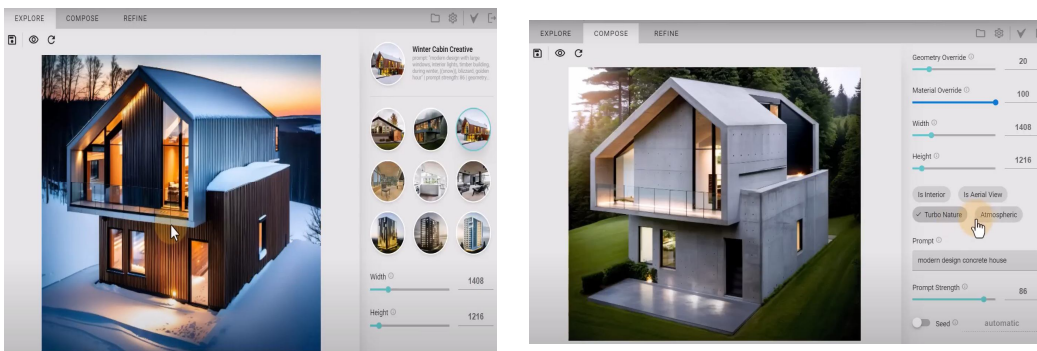


Рис. 3. Варіанти візуалізації у *Veras*

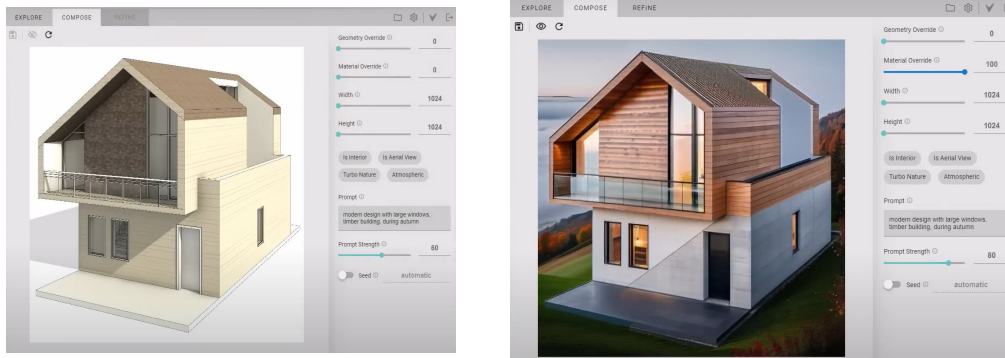


Рис. 4. Варіанти вибору матеріалів у Veras

Окрему групу інструментів становлять генеративні платформи для передпроектного аналізу та просторового планування, до яких належить *Spacio* [10]. *Spacio* застосовує генеративні моделі III для створення варіантів будівельної форми та схем розміщення на ділянці за лічені хвилини (рис. 5).

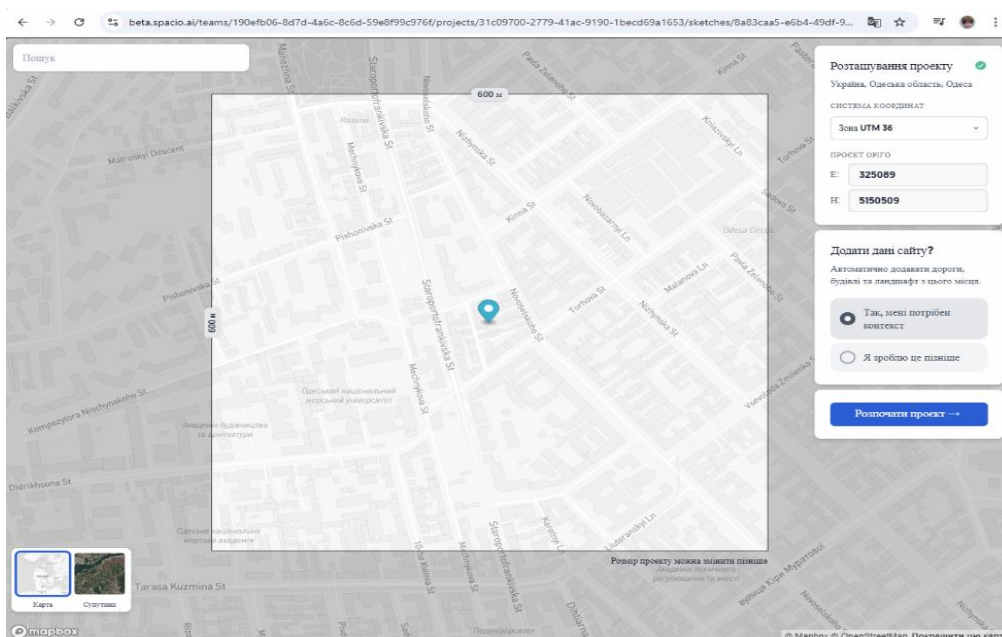


Рис. 5. Вибір майданчика для будівництва

Це значно швидше, ніж традиційне ручне моделювання в BIM-CAD інструментах. Платформа може миттєво завантажувати дані про контекст проекту (межі ділянки, навколишні будівлі, обмеження по висоті тощо) – це прискорює оцінку потенціалу майданчика (рис. 6).

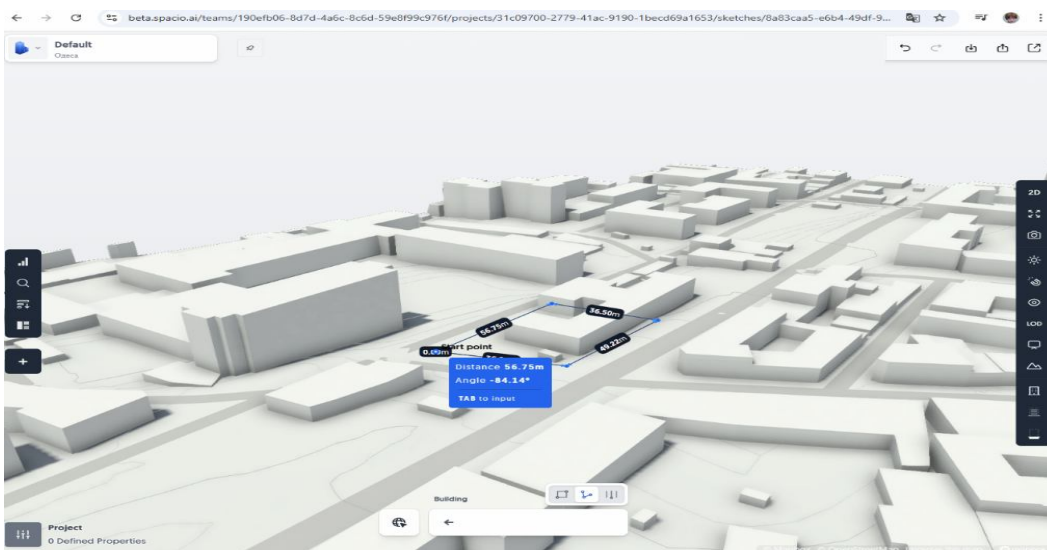


Рис. 6. Визначення реальних розмірів майданчика під забудову

Spacio вдало доповнює Revit на ранніх стадіях концептуального проектування, де швидкість та варіації критично важливі.

Spacio використовує параметричні та генеративні алгоритми для створення концептуальних моделей будівель, аналізу показників щільності забудови, освітленості та відповідності містобудівним обмеженням (рис. 7).



Рис. 7. Розміщення концепт-будівлі

Отримані моделі можуть бути використані як основа для подальшої роботи у BIM-середовищі, зокрема в Autodesk Revit (рис. 8).

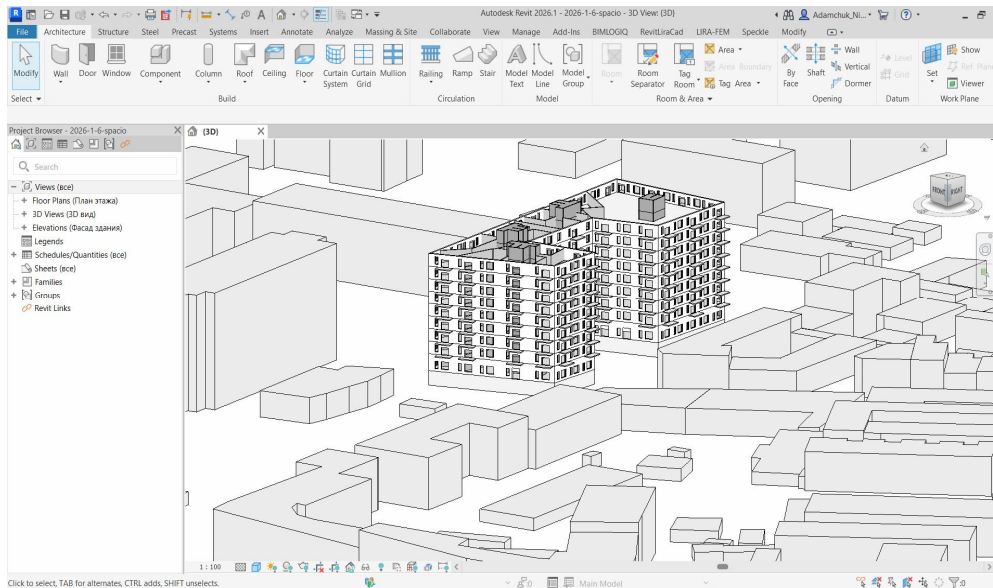


Рис. 8. Модель, що імпортована в Revit

У підсумку можна зазначити, що її основне призначення *Spacio* полягає у підтримці ранніх стадій проектування та візуального аналізу. Ця платформа значно підвищує швидкість підготовки концептуальних матеріалів і сприяють покращенню комунікації між архітекторами, інженерами та замовниками. Водночас вказаний інструмент не виконує інженерні розрахунки і не враховує безпосередньо конструктивні вимоги, що обмежує їх застосування на стадіях детального проектування.

Генеративні хмарні платформи штучного інтелекту доцільно розглядати як допоміжні інструменти, що доповнюють BIM-проектування на концептуальному рівні. Їх використання дозволяє підвищити ефективність прийняття проектних рішень на ранніх етапах, однак потребує подальшої інтеграції з інженерними моделями та нормативними вимогами для розширення сфери практичного застосування.

Автоматизація BIM-моделювання та документації із застосуванням ШІ (Autodesk Revit)

Окремим та одним із найбільш перспективних напрямів застосування ШІ в BIM-середовищі є автоматизація процесів моделювання та підготовки проектної документації. У програмному комплексі Autodesk Revit це реалізується у вигляді спеціалізованих ШІ-плагінів, які дозволяють взаємодіяти з моделлю на основі запитів, автоматично змінювати параметри елементів і формувати документацію без ручного виконання типових операцій. Огляд таких інструментів показує, що

більшість рішень орієнтована на підтримку інженера та проєктувальника у виконанні рутинних дій, які традиційно займають значну частину робочого часу. До них належать створення і налаштування видів, аркушів, розміщення анотацій, марок і розмірів, масове редагування параметрів елементів, а також перевірка заповнення інформаційних властивостей BIM-моделі.

Автоматизація BIM-моделювання та документації із застосуванням ШІ у середовищі Autodesk Revit є ефективним засобом підвищення продуктивності проєктних робіт. Вона дозволяє зменшити обсяг ручної праці, підвищити узгодженість даних і покращити взаємодію користувача з BIM-моделлю.

Показовим прикладом такого підходу є використання ШІ-асистентів у вигляді чат-інтерфейсу, вбудованого безпосередньо в середовище Revit – *BIMlogiq Copilot* [11]. Користувач формує текстові команди, які інтерпретуються системою та перетворюються на відповідні дії в моделі (рис. 9).

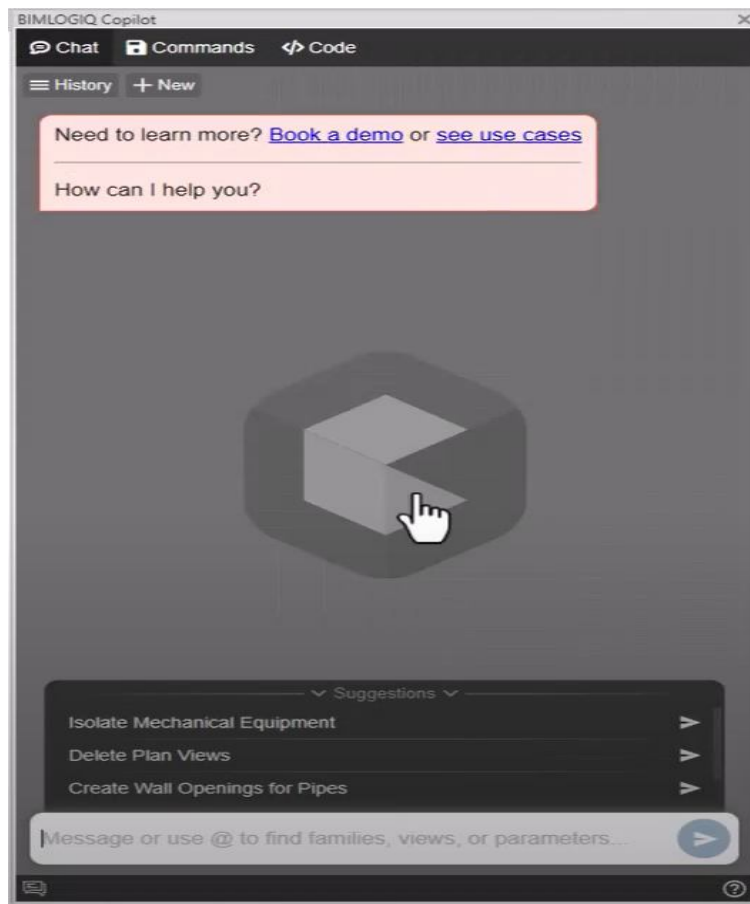


Рис. 9. Діалогове вікно плагіна із вкладками Chat, Command і Code

У результаті суттєво знижується потреба у написанні програмного коду або використанні складних скриптових рішень для автоматизації стандартних проєктних операцій. Практичні результати застосування свідчать, що автоматизація операцій з документацією дозволяє значно скоротити час підготовки креслень і специфікацій, зменшити кількість помилок, пов'язаних із ручним редагуванням, та підвищити узгодженість даних у межах BIM-проєкту. Для інженера-конструктора це означає можливість зосередитися на аналізі конструктивних рішень і контролі якості моделі, а не на повторюваних технічних діях.

BIMlogiq Copilot – це повноцінний плагін-чат із ШІ (не слід плутати із Copilot від Microsoft), вбудований в програму і налаштований саме для Revit. У процесі роботи, користувач створює необхідні запити (англійською мовою) для внесення змін у проєкт. Запити у вигляді команд виконуються програмою. Їх можна зберегти, як бібліотеку команд для подальшого повторного використання (рис. 10).

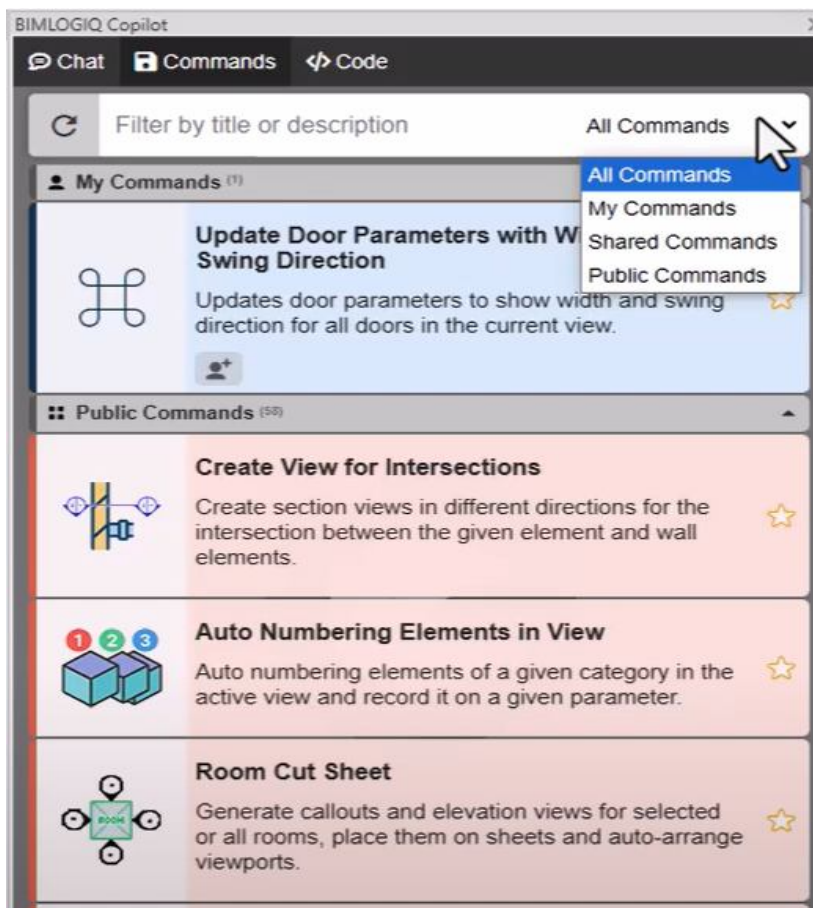


Рис. 10. Загальний вид бібліотеки команд

Створені запити можна передавати іншим користувачам. Просунуті користувачі мають можливість отримати програмний код, що реалізує обумовлені запити-дії. Такий підхід значно полегшує розробку власних додатків до програми Revit. Розробники додатків-плагінів безумовно високо оцінять наявність такої можливості, яка дозволяє замінити ручну роботу по генерації коду на автоматизовану.

BIMlogiq Copilot обробляє конкретні запити англійською мовою (поки що). Основний перелік задач, що можна реалізувати за допомогою плагіну складається із:

- обробки документації (створення аркушів, видів);
- створення анотацій і розмірів (масове розміщення марок і розмірів);
- редагування параметрів елементів моделі (масова зміна сімейств, умов);
- візуалізації (перевірка перерізів, зміна кольору);
- зчитування даних з Excel та оновлювання BIM-параметрів.

Запити мають такий вигляд (наприклад, для інженера-конструктора):

- Вибрати всі тримальні колони з певним перерізом
«Select all structural columns where Width = 450 mm and Depth = 450 mm»
- Розфарбувати колони за типом перерізу
«Find all structural columns and override their color based on their type name»
- Знайти плити без аналітичної моделі
«Find all structural floors that do not have an analytical model enabled and highlight them in red»
- Знайти елементи без армування
«Find all structural columns and floors that do not contain any rebar elements and highlight them».

Запити мають такий вигляд (наприклад, для архітектора):

- Створити приміщення у всіх замкнених контурах
«Create rooms in all enclosed areas on all levels»
- Надати назви приміщення за площею
«Rename rooms smaller than 6 square meters to "Storage"»
- Перевірка дверей без прив'язки до приміщень
«Find all doors that are not associated with any room»

Плагін дозволяє відслідкувати історію виконаних запитів. Завжди можна повернутись до будь-якого запиту створеного раніше.

При введенні запиту є можливість оперувати параметрами елементів, що існують у проєкті. Це значно підвищує точність підготовки запиту. Для отримання доступу до параметрів елементів достатньо просто ввести «at» в текст запиту (рис. 11; 12).

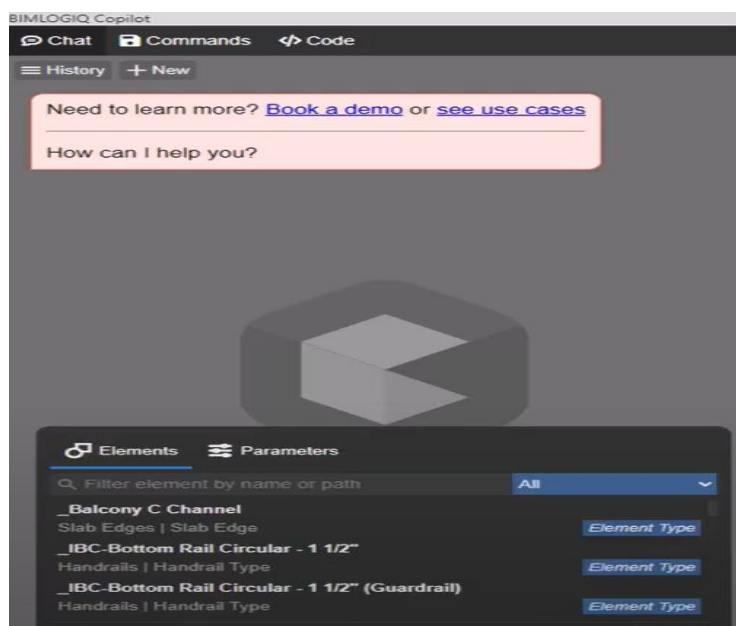


Рис. 11. Приклад інформації на панелі Elements

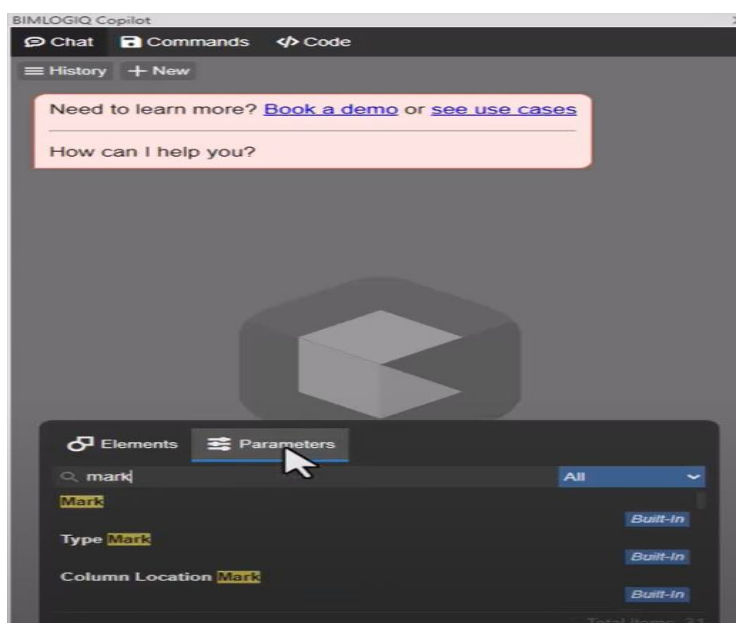


Рис. 12. Приклад інформації на панелі Parameters

Після формування запиту *BIMlogiq Copilot* надає інтерпретацію завдання, щоб користувач міг перевірити, чи правильно ШІ зрозумів наданий запит. У разі необхідності ШІ може, в свою чергу, поставити уточнюючі запитання до користувача, щоб прояснити деякі деталі (рис. 13).

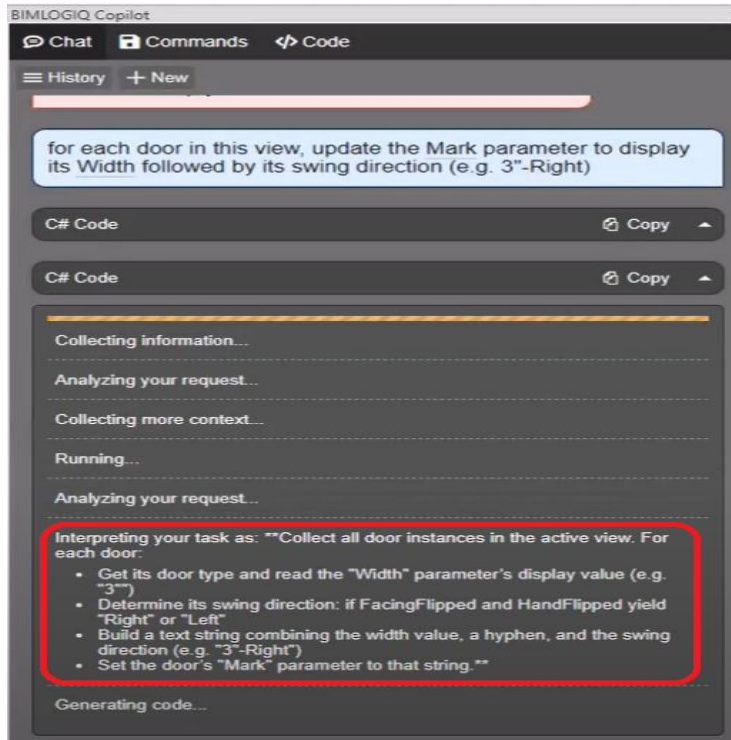


Рис. 13. Інтерпретація завдання від ШІ

Можна зауважити, що сучасні ШІ-інструменти у Revit мають переважно допоміжний характер. Вони не виконують самостійних інженерних розрахунків і не приймають конструктивних рішень, а лише реалізують дії, задані користувачем у вигляді запитів або параметрів. Якість результату значною мірою залежить від коректності сформульованого запиту, структури BIM-моделі та дотримання єдиних правил моделювання. Окремою особливістю таких рішень є можливість роботи з параметрами елементів моделі в узагальненому вигляді. ШІ-інструменти здатні оперувати інформаційними властивостями колон, балок, плит, стін та інших конструктивних елементів, що відкриває перспективи для створення більш інтелектуальних сценаріїв перевірки моделей, пошуку невідповідностей та підготовки звітів. Відсутність уніфікованих підходів до структури параметрів у різних BIM-проектах обмежує універсальність таких інструментів.

Призначення програми *WiseBIM AI* [12] – автоматичне розпізнавання PDF або DWG-планів та створення з них базової BIM-моделі (стіни, двері, перекриття). Робота виконується більше у напіваавтоматизованому режимі. На кожному кроці (етапі) користувач повинен налаштовувати параметри в діалозі так, щоб у підсумку отримати бажаний результат. Створення BIM-моделі починається із завантаження в проєкт плану будівлі, як звичайне плоске креслення. Спочатку програма, за допомогою ІІІ, виконує розпізнавання та створення стін будівлі (рис. 14). Користувач може поліпшити процес розпізнавання стін шляхом призначення бажаних сімейств. У подальшому, таким же чином, налаштовуються параметри для створення вікон, дверей та отворів. Потім налаштовуються параметри для генерації перекриття. На завершальному етапі створюються необхідні простори моделі.

Організації, що мають у своїх здобутках галерею проєктів виконаних без застосування BIM-технологій, можуть «полегшити» процес перетворення класичних 2D креслень у BIM-об'єкти.



Рис. 14. Вихідний план будівлі та модель,
що генерована у Revit за допомогою *WiseBIM AI*

Наведені приклади демонструють, що ІІІ-плагіни у Revit є ефективним інструментом автоматизації рутинних операцій, однак їх застосування не виходить за межі формалізованих дій, заданих користувачем. Вони мають найбільшу практичну цінність у задачах автоматизації повторюваних операцій, роботи з параметрами елементів та підготовки проєктної документації. Такі інструменти не виконують самостійних інженерних розрахунків і потребують коректно структурованих BIM-моделей для отримання достовірних результатів.

Інтелектуальний аналіз BIM-моделей, перевірка та цифрові двійники.

Подальший розвиток застосування ІІІ в BIM-середовищі пов'язаний із задачами інтелектуального аналізу моделей, перевірки їх відповідності проєктним вимогам та формування цифрових двійників будівель і споруд. На відміну від генеративної візуалізації та автоматизації документації, цей напрям безпосередньо орієнтований на підвищення якості проєктних рішень, зменшення ризиків і

забезпечення достовірності інформаційних моделей. Інтелектуальний аналіз BIM-моделей передбачає автоматизовану обробку параметричних даних з метою виявлення помилок, невідповідностей та потенційно проблемних ділянок проєкту. До таких задач належать пошук елементів без аналітичної моделі, відсутнього армування, некоректно заданих матеріалів, невідповідностей геометричних або інформаційних параметрів. Застосування алгоритмів штучного інтелекту дозволяє виконувати подібні перевірки значно швидше, ніж при ручному аналізі, особливо у великих і складних BIM-проєктах. Можна зазначити, що сучасні ШІ-інструменти виконують переважно формалізовані перевірки, які базуються на аналізі структури даних та параметрів елементів, а не на повноцінному інженерному розрахунку. Вони не замінюють традиційні розрахункові комплекси, а виступають як засіб попереднього контролю якості моделі та підготовки даних для подальшого аналізу.

Важливим напрямом застосування ШІ є автоматизоване зіставлення проєктних BIM-моделей з фактичним станом об'єкта. Для цього використовуються дані лазерного сканування, фотограмметрії та мобільних систем збирання інформації, які перетворюються у хмари точок. Алгоритми ШІ дозволяють автоматично виділяти геометричні елементи з хмар точок і формувати BIM-моделі фактичного стану будівель і споруд. Такий підхід істотно скорочує час обробки польових вимірювань і підвищує точність цифрового представлення об'єкта. Подальший розвиток цього напрямку пов'язаний із концепцією *цифрових двійників*, що поєднує BIM-модель, дані моніторингу та аналітичні можливості штучного інтелекту.

Цифрові двійники — це не просто 3D-моделі, а синхронізовані з фізичними об'єктами системи, що постійно оновлюються. ШІ може обробляти великі потоки даних з сенсорів, автоматично адаптуючи цифрову модель до реального стану об'єкта. Такий підхід дозволяє не тільки бачити поточний стан будівлі або заводу, але й робити прогностичні аналітичні висновки для оптимізації технічного обслуговування або управління в майбутньому. Цифрові двійники утворюються за рахунок поєднання датчиків Інтернету речей з цифровим моделюванням. І це не статичні представлення, це динамічні віртуальні моделі, що оновлюються в режимі, близькому до реального часу. Кожна зміна температури, деформації конструкції та будь-які рухи фіксуються та відображаються миттєво.

Цифрові моделі оновлюються практично в реальному часі за допомогою інформації зі сканерів і датчиків. Інформація, що складає великі обсяги даних, обробляється алгоритмами ШІ. Це забезпечує обробку, виявлення аномалій та прогнозування поведінки конструкцій і інженерних систем (рис. 15).

У будівельній практиці цифрові двійники застосовуються для моніторингу напружень, деформацій, вібрацій, температурних впливів та інших параметрів, що характеризують технічний стан будівель і споруд. Використання таких підходів дозволяє перейти від реактивного технічного обслуговування до прогностичного, що сприяє підвищенню безпеки та зниженню експлуатаційних витрат. Разом з тим більшість реалізацій цифрових двійників перебуває на стадії дослідної експлуатації та потребує подальшого методичного і нормативного опрацювання.

Аналіз сучасних ІІІ-рішень у цьому напрямі показує, що їх ефективність значною мірою залежить від якості вихідних ВІМ-даних, рівня інтеграції з системами моніторингу та узгодженості інформаційних моделей з реальними конструктивними параметрами. Відсутність уніфікованих стандартів обміну даними між ВІМ-системами, сенсорними платформами та аналітичними модулями ІІІ залишається одним із ключових обмежень широкого впровадження цифрових двійників. Інтелектуальний аналіз ВІМ-моделей і використання цифрових двійників є перспективним напрямом розвитку будівельної галузі, що дозволяє підвищити якість проектування, контролювати відповідність фактичного стану проектним рішенням та оптимізувати експлуатацію будівель і споруд.



Рис. 15. Схема моделі датчики-хмара-ІІІ-ВІМ системи

EdgeWise [13] – це програмне забезпечення для моделювання фактичного стану будівлі. Воно: автоматизує виснажливі робочі процеси сканування в ВІМ, швидко витягує геометрію моделі з мобільних та наземних хмар точок. *EdgeWise* безпосередньо інтегрується з платформою проектування Revit (а також Plant 3D та AVEVA E3D Design), оптимізуючи результати та пришвидшуючи подальші робочі процеси. Задіяний ІІІ допомагає автоматично перетворювати дані лазерного сканування в інтелектуальні ВІМ-компоненти. Це усуває необхідність ручної обробки хмар точок та збережує точність моделей з мінімальними затратами часу.

Регулярне лазерне сканування гарантує, що віртуальні моделі з часом зберігають свою точність, створюючи цикл зворотного зв'язку, який забезпечує ідеальну відповідність цифрових представлень фізичній реальності. Водночас хмарні платформи гарантують, що кожен, від проєктувальників до керівників будівельних майданчиків, має доступ до однієї й тієї ж актуальної інформації в режимі реального часу. Ця постійна синхронізація практично усунула прогалини в комунікації, які колись переслідували будівельні проєкти (рис. 16).

Застосування цифрових двійників у поєднанні з ВІМ та алгоритмами штучного інтелекту є перспективним напрямом для етапу експлуатації будівель і споруд. Хоча складність інтеграції з сенсорними системами, відсутність уніфікованих стандартів обміну даними та обмежена кількість реалізацій у реальних проєктах дещо стримують їх широке практичне впровадження.

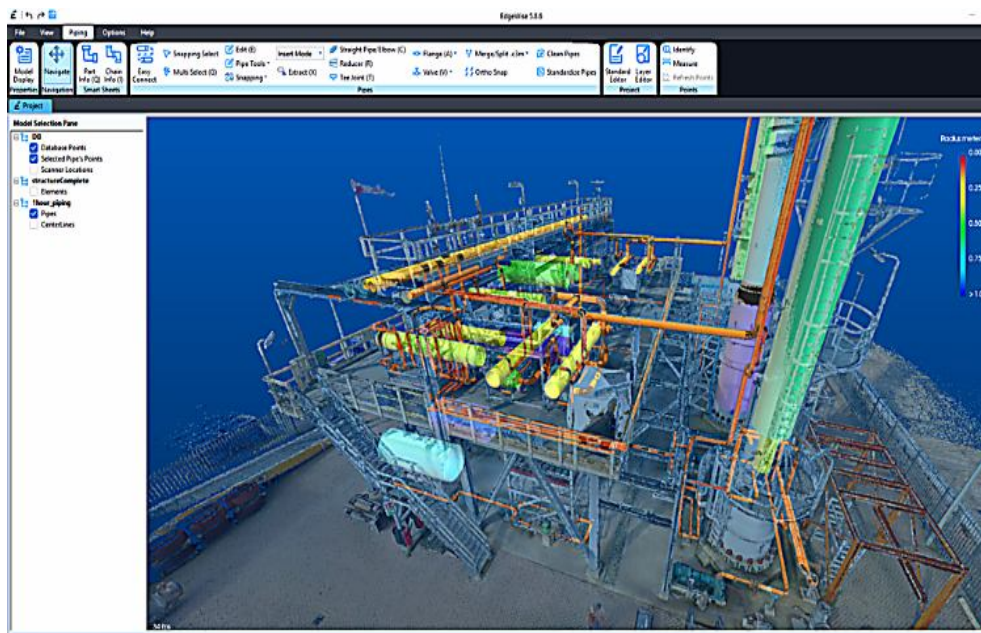


Рис. 16. Цифровий двійник конструкції у програмі EdgeWise (від ClearEdge3D)

Висновки. За результатами аналізу встановлено, що технології штучного інтелекту є одним із ключових чинників цифрової трансформації будівельної галузі та охоплюють різні етапи життєвого циклу будівель і споруд. Найбільша кількість наукових і прикладних рішень на сьогодні зосереджена на стадіях будівництва та експлуатації, тоді як етап інженерного проектування в BIM-середовищі залишається менш систематизованим.

Показано, що сучасні ІІІ-рішення в BIM-системах, зокрема у програмному комплексі Autodesk Revit, мають найбільшу практичну цінність у задачах автоматизації рутинних проектних операцій, підготовки проектної документації та інтелектуального аналізу параметричних даних. Їх застосування дозволяє зменшити часові витрати та підвищити узгодженість інформаційних моделей без втручання у процес інженерних розрахунків.

Встановлено, що генеративні хмарні платформи штучного інтелекту є ефективними інструментами на ранніх стадіях проектування для формування візуальних концепцій і просторових рішень. Але такі інструменти мають допоміжний характер і не враховують конструктивні та нормативні вимоги, що обмежує їх використання на стадіях детального проектування.

Аналіз підходів до інтелектуального аналізу BIM-моделей та формування цифрових двійників показав їх значний потенціал для етапу експлуатації будівель і споруд, зокрема у задачах моніторингу технічного стану та прогнозного обслуговування. Широке впровадження таких рішень дещо стримується складністю інтеграції з сенсорними системами, відсутністю уніфікованих стандартів обміну даними та обмеженою кількістю реалізацій у реальних проектах.

У цілому результати аналізу свідчать, що на сучасному етапі ІІІ не замінює інженера-конструктора, але виступає ефективним інструментом підтримки проєктування, автоматизації та аналізу BIM-даних. Найбільший потенціал подальшого розвитку полягає у глибшій інтеграції ІІІ з параметричними BIM-моделями, нормативною базою та інженерними шаблонами. Це створює передумови для формування інтелектуальних систем підтримки інженерних рішень у будівельному проєктуванні.

Подальший розвиток застосування штучного інтелекту в BIM-середовищі доцільно пов'язувати з формалізацією інженерних знань, уніфікацією параметричних структур BIM-моделей та інтеграцією ІІІ-алгоритмів із нормативними вимогами і типовими інженерними сценаріями. В результаті виникнуть передумови для переходу від допоміжної автоматизації до системної підтримки інженерних рішень у будівельному проєктуванні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Valdebenito R., Forcael E. Integrating artificial intelligence and BIM in construction: systematic review and quantitative comparative analysis // *Applied Sciences*. – 2025. – Vol. 15, № 23. – Article 12470. – DOI: 10.3390/app152312470. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/23/12470>. – Дата звернення: 13.01.2026.
2. Alves J.L., Costa A.A., Moreira F. Towards an integrative framework for BIM and artificial intelligence for smart AECO projects // *Automation in Construction*. – 2025. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580525002080>. – Дата звернення: 13.01.2026.
3. Reja V. K., Kim K., Haas C. T. Computer vision-based construction progress monitoring: a comprehensive review // *Automation in Construction*. – 2022. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522001182>. – Дата звернення: 13.01.2026.
4. Rehman M.S. U., Shahzad M., Lee S. Automated computer vision-based construction progress monitoring: a review on key methods and future directions // *Buildings*. – 2022. – Vol. 12, № 7. – Article 1037. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/7/1037>. – Дата звернення: 13.01.2026.
5. Digital Twin Integration Subcommittee. Digital twins for the built environment: a position paper on integrating BIM and digital twin. – Washington : National Institute of Building Sciences, 2024. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nibs.org/wp-content/uploads/2025/04/DigitalTwinsBuiltEnvironment-1.pdf>. – Дата звернення: 13.01.2026.

6. Atkins; The Institution of Engineering and Technology. Digital twins for the built environment. – London, 2023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.theiet.org/media/8762/digital-twins-for-the-built-environment.pdf>. – Дата звернення: 13.01.2026.
7. Digital twins: boosting ROI of government infrastructure investments: McKinsey & Company. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mckinsey.com/industries/public-sector/our-insights/digital-twins-boosting-roi-of-government-infrastructure-investments>. – Дата звернення: 13.01.2026.
8. MyArchitectAI: official website. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.myarchitectai.com>. – Дата звернення: 13.01.2026.
9. Veras by EvolveLab: official website. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.evolveai.io/veras>. – Дата звернення: 13.01.2026.
10. Spacio: official website. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://spacio.ai>. – Дата звернення: 13.01.2026.
11. BIMlogiq Copilot: official website. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bimlogiq.com/copilot/homepage>. – Дата звернення: 13.01.2026.
12. WiseBIM AI: official website. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://wisebim.app>. – Дата звернення: 13.01.2026.
13. EdgeWise: official website. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.clearedge3d.com>. – Дата звернення: 13.01.2026.

REFERENCES

1. Valdebenito, R., Forcael, E. (2025). Integrating artificial intelligence and BIM in construction: systematic review and quantitative comparative analysis. *Applied Sciences*, 15(23), Article 12470. DOI: 10.3390/app152312470. Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/23/12470> (accessed 13 January 2026).
2. Alves, J.L., Costa, A.A., Moreira, F. (2025). Towards an integrative framework for BIM and artificial intelligence for smart AECO projects. *Automation in Construction*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580525002080> (accessed 13 January 2026).
3. Reja, V.K., Kim, K., Haas, C.T. (2022). Computer vision-based construction progress monitoring: a comprehensive review. *Automation in Construction*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658052001182> (accessed 13 January 2026).
4. Rehman, M.S.U., Shahzad, M., Lee, S. (2022). Automated computer vision-based construction progress monitoring: a review on key methods and future directions. *Buildings*, 12(7), Article 1037. Available at: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/7/1037> (accessed 13 January 2026).

5. Digital Twin Integration Subcommittee. (2024). *Digital twins for the built environment: a position paper on integrating BIM and digital twin*. Washington: National Institute of Building Sciences. Available at: <https://nibs.org/wp-content/uploads/2025/04/DigitalTwinsBuiltEnvironment-1.pdf> (accessed 13 January 2026).
6. Atkins; The Institution of Engineering and Technology. (2023). *Digital twins for the built environment*. London. Available at: <https://www.theiet.org/media/8762/digital-twins-for-the-built-environment.pdf> (accessed 13 January 2026).
7. McKinsey & Company. *Digital twins: boosting ROI of government infrastructure investments*. Available at: <https://www.mckinsey.com/industries/public-sector/our-insights/digital-twins-boosting-roi-of-government-infrastructure-investments> (accessed 13 January 2026).
8. MyArchitectAI. *Official website*. Available at: <https://www.myarchitectai.com> (accessed 13 January 2026).
9. EvolveLab. *Veras: official website*. Available at: <https://www.evovelab.io/veras> (accessed 13 January 2026).
10. Spacio. *Official website*. Available at: <https://spacio.ai> (accessed 13 January 2026).
11. BIMlogiq. *BIMlogiq Copilot: official website*. Available at: <https://bimlogiq.com/copilot/homepage> (accessed 13 January 2026).
12. WiseBIM. *WiseBIM AI: official website*. Available at: <https://wisebim.app> (accessed 13 January 2026).
13. ClearEdge3D. *EdgeWise: official website*. Available at: <https://www.clearedge3d.com> (accessed 13 January 2026).

Дата надходження статті: 08.06.2026

Дата прийняття статті: 10.06.2026

Дата публікації статті: 16.06.2026