МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота/проект

_____другий магістерський рівень_____
(рівень вищої освіти)

на тему: Впровадження інформаційних технологій у будівельну сферу

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1924-пцб
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми промислове і цивільне будівництво
(код і назва освітньої програми)
_____Чернявський Єгор Андрійович_____
(прізвище та ініціали)

Керівник _____доц., к.т.н., Мішук К.М._____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Рецензент _____проф., д.т.н. Арутюнян І.А._____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Запоріжжя
2025

2

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва)
Освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»
(шифр і назва)
Спеціалізація -
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
завідувач кафедри *промислового та цивільного будівництва*
проф. І.А. Арутюнян
"06" 04 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Чернявський Єгор Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи (проекту) Впровадження інформаційних технологій у будівельну сферу

керівник роботи Мішук Катерина Миколаївна, доц., к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "27" 02 2025 року № 317 – с

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи грудень 2025р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи літературні, довідкові та нормативні матеріали з інформаційного моделювання у будівництві, енергетичному розрахунку будівель.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, розділ 1 – Теоретичні основи впровадження ІТ у будівництво; розділ 2 – Сучасні ІТ технології у будівництві; розділ 3 – Інноваційні ІТ майбутнього в будівельній сфері; 4 – Практичні аспекти впровадження ІТ у будівельній галузі України. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 8 листів

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 2	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 3	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 3	Мішук К.М., доц. кафедри		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Розділ 1	1.09.2025 - 1.10.2025	
2	Розділ 2	2.10.2025 – 20.10.2025	
3	Розділ 3	21.10.2025 – 1.11.2025	
4	Розділ 4	1.11.25 - 30.11.2025	

Студент (підпис) Чернявський Є.А. (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) (підпис) Мішук К.М. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер (підпис) Данкевич Н.О. (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Чернявський Єгор Андрійович. Впровадження інформаційних технологій у будівельну сферу.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник К.М. Мішук. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2025.

У роботі розглядаються інформаційні технології, що застосовуються в будівництві в даний час і набирають популярності нові продукти програмного забезпечення. Програми управління проєктами у сфері будівництва стандартизують усі процеси, забезпечують зручне та ефективне управління ресурсами та подіями на будівельному майданчику, а також зберігають інформацію про витрати на матеріали та інше.

Розглянуто такі технології як будівельна інформаційна модель, що дозволяє об’єднати всі дані проекту, покращити координацію роботи між ділянками проекту, геоінформаційна система – дозволяє проводити аналіз території перед початком будівельних робіт, технології смарт-будівництва, що використовує роботизовані системи, дрони та датчики для автоматизації та оптимізації процесів на будівельному майданчику.

Ключові слова: програмне забезпечення технологій проєктування; інформаційні технології у будівництві; технології смарт-будівництва

ABSTRACT

Chernyavsky Egor Andriyovych. Development of information technologies in the future sphere.

Qualified graduation work to achieve a higher level of master's degree in the specialty 192 Life and civil engineering, scientific ceramics specialist K.M. Mishuk. Engineering Basic Science Institute named after. Yu.M. Proceedings of the Zaporizhzhya National University, Department of Industrial and Civil Life, 2025.

At work, we see information technologies that are becoming increasingly common in everyday life and new software products are gaining popularity. Project management programs in the industry standardize all processes, ensure manual and effective management of resources and activities on the daily basis, and also save information about spending on materials and materials otherwise.

Such technologies are considered as an effective information model, which allows you to combine all the data for the project, improve the coordination of work between the plots of the project, and a geographic information system that allows you to conduct analysis. territories in front of the beginning of everyday life, smart living technologies, such as robotic systems, drones and sensors for automation and optimization of processes on the everyday life.

Key words: software technology design; information technologies in everyday life; smart living technologies.

ЗМІСТ

ВСТУП…… 7

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВНИЦТВО …… 11
1.1 Інформаційні технології як елемент цифрової трансформації будівельної галузі ……. 11
1.2 Еволюція цифрових рішень у будівельній сфері ……. 12
1.3 Класифікація інформаційних технологій у будівництві ……. 15
1.4 Нормативно-правова база цифрового будівництва в Україні …… 19
2 СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У БУДІВНИЦТВІ …. 23
2.1 BIM-технології: концепція, рівні, переваги …….. 23
2.2 Хмарні цифрові платформи та середовище спільної роботи CDE …. 26
2.3 Інтернет речей (IoT) у будівництві та експлуатації ……. 28
2.4. Геоінформаційні технології (GIS) у будівництві…….. 30
2.5. Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у будівельній сфері……... 32
3 ІННОВАЦІЙНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАЙБУТНЬОГО В БУДІВЕЛЬНІЙ СФЕРІ ……. 33
3.1 Штучний інтелект та машинне навчання у будівництві ……. 34
3.2 Технологія Digital Twin (Цифровий двійник) …… 36
3.3 Роботизація та автоматизація будівельного виробництва…… 38
3.4 3D-друк і адитивні технології ……..... 40
4 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ……... 41
4.1. Поточний стан цифровізації будівельної галузі України…… 41
4.2. Бар’єри та проблеми впровадження інформаційних технологій у будівельній галузі України…… 45
4.3. Економічна ефективність застосування інформаційних технологій. 48
4.4. Напрями підвищення цифрової зрілості будівельної галузі України. 52
ВИСНОВКИ……. 61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..... 63

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасний розвиток світової будівельної галузі відбувається в умовах стрімкого поширення цифрових технологій, які докорінно змінюють підходи до проєктування, планування, організації та управління будівельними процесами. Формування концепції цифрового будівництва (Construction 4.0), що поєднує можливості інформаційного моделювання (BIM), інтернету речей (IoT), хмарних платформ, інтелектуальних систем аналізу даних, автоматизації та роботизації, сприяє підвищенню точності інженерних рішень, скороченню тривалості будівельних циклів, оптимізації витрат та покращенню якості споруд. Такі технології дають змогу створювати будівельні об’єкти нового покоління - більш енергоефективні, надійні, керовані та безпечні.

Для України актуальність впровадження інформаційних технологій у будівництві набуває ще більшої ваги у зв’язку з необхідністю масштабної відбудови інфраструктури, житлового фонду та промислових об’єктів, зруйнованих унаслідок військової агресії. Відбудовні процеси потребують сучасних керуючих систем, здатних забезпечити точність планування, швидкий обмін інформацією між усіма учасниками проєкту, достовірність технічних даних, контроль якості та прозорість використання ресурсів. Цифрові інструменти дозволяють значно знизити ризики помилок, неузгодженостей і дублювання інформації, характерних для традиційних методів організації будівництва, а також забезпечують можливість дистанційного моніторингу, прогнозної аналітики та керування життєвим циклом об’єкта.

Варто зазначити, що цифровізація будівництва в Україні відбувається повільніше, ніж у країнах ЄС, США чи Азії, що зумовлено низкою об’єктивних та суб’єктивних чинників: недостатньою інтеграцією цифрових стандартів, низьким рівнем цифрової зрілості підприємств, обмеженим доступом до високотехнологічного обладнання, нестачею кваліфікованих

кадрів, високою вартістю впровадження програмних продуктів та їх адаптації до українських нормативних вимог. Разом із тим розвиток регуляторної бази, поява національної системи електронної взаємодії у будівництві, впровадження цифрових реєстрів, електронних дозволів та державна політика у напрямку гармонізації з європейськими стандартами створюють сприятливі умови для прискорення цифрової трансформації галузі.

Інформаційні технології виступають не лише інструментом модернізації окремих будівельних процесів, але й базою для створення нових моделей управління, таких як цифрові двійники, автоматизовані системи контролю стану будівель, віртуальні простори спільної роботи, інтелектуальні аналітичні системи для прогнозування строків та вартості проєкту. В умовах зростаючих вимог до енергоефективності, екологічності та оптимального використання ресурсів цифрові інструменти стають ключовою умовою забезпечення конкурентоспроможності будівельних підприємств.

Отже, актуальність теми зумовлена поєднанням трьох ключових факторів:

1. глобальним технологічним переходом до цифрового будівництва, що змінює традиційні підходи до створення та експлуатації об’єктів;
2. необхідністю відбудови та модернізації інфраструктури України, яка неможлива без впровадження сучасних ІТ-рішень;
3. потребою підвищення ефективності, прозорості та управлінської якості будівельних процесів, що забезпечується лише цифровими технологіями.

Таким чином, дослідження інформаційних технологій у будівництві є вкрай важливим як у науковому, так і в практичному аспектах, адже результати роботи можуть бути використані для підвищення ефективності будівельної галузі, прискорення її цифрової трансформації та формування сучасної інноваційної інфраструктури в Україні.

Метою магістерської роботи є комплексний аналіз сучасних інформаційних технологій у будівництві, оцінка їх ефективності та визначення

шляхів підвищення цифрової зрілості будівельної галузі України.

Об’єктом дослідження є процес цифрової трансформації будівельної галузі.

Предмет дослідження інформаційні технології, інструменти та організаційно-технологічні механізми їх впровадження у будівельну діяльність.

Для досягнення поставленої мети вирішені такі завдання:

1. Обґрунтовано теоретичні засади цифрової трансформації будівництва та проаналізовано еволюцію інформаційних технологій у галузі.
2. Виконано класифікацію сучасних цифрових інструментів, що застосовуються у будівництві.
3. Досліджено можливості, переваги та сфери застосування BIM, CDE-платформ, GIS, IoT, роботизації, 3D-друку та технології Digital Twin.
4. Визначено сучасний стан цифровізації будівельної галузі України та ключові бар’єри впровадження інформаційних технологій.
5. Оцінено економічну ефективність впровадження цифрових рішень на підприємствах будівельної сфери.
6. Сформульовано практичні рекомендації та напрями підвищення цифрової зрілості галузі.

Методами дослідження є аналіз і синтез наукових джерел, системний підхід, методи порівняння й узагальнення, економічний аналіз, структурно-логічне моделювання, елементи експертного оцінювання, а також аналіз нормативної бази та практики впровадження цифрових технологій у будівництві.

Наукова новизна полягає у поглибленому обґрунтуванні ролі цифрових технологій у трансформації організаційно-технологічних процесів будівництва та у формуванні моделі підвищення цифрової зрілості галузі з урахуванням сучасних українських реалій. У роботі запропоновано системну структуризацію цифрових рішень та визначено їх вплив на ефективність будівельного виробництва.

Практична цінність полягає у можливості застосування отриманих результатів у діяльності будівельних підприємств, проєктних організацій та органів галузевого управління для оптимізації процесів, підвищення ефективності управління проєктами, зниження витрат, покращення комунікації між учасниками будівництва та впровадження цифрових стандартів.

Структура і об’єм магістерської роботи. Магістерська робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний обсяг роботи становить 65 сторінок тексту, включаючи 15 рисунків та 11 таблиць. Список використаних джерел містить 26 найменувань.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВНИЦТВО

1.1 Інформаційні технології як елемент цифрової трансформації будівельної галузі

Сучасний розвиток цивільного будівництва нерозривно пов’язаний із використанням інформаційних технологій, які трансформують традиційні підходи до проєктування, організації та контролю виконання робіт. Протягом останніх десятиліть цифровізація стала ключовим фактором підвищення ефективності в усіх інженерних галузях, і будівництво не є винятком. Зі збільшенням складності об’єктів, зростанням вимог щодо їхньої енергоефективності, безпеки та надійності виникла потреба у використанні нових методів обробки даних, автоматизації та візуалізації інформації.

Поняття «інформаційні технології» у будівництві охоплює широкий спектр рішень - від комп’ютерного моделювання та інтелектуального аналізу даних до використання хмарних платформ, сенсорних систем моніторингу, роботизованого обладнання та цифрових двійників. Вони дозволяють значно пришвидшити обробку інформації, уникати помилок на етапах проєктування та будівництва, оптимізувати планування ресурсів і забезпечувати прозорість виконання робіт.

Цифрова трансформація будівельної галузі також визначається переходом до управління за допомогою даних. На відміну від традиційних методів, де велика частина інформації існувала у вигляді паперової документації, сучасний підхід базується на створенні комплексних цифрових моделей об’єктів, що охоплюють усі етапи життєвого циклу - від концепції до експлуатації. Це забезпечує новий рівень координації між інженерами, архітекторами, підрядниками та експлуатуючими організаціями.

Важливим аспектом цифрової трансформації є і впровадження хмарних сервісів, які створюють єдине інформаційне середовище для всіх учасників

будівельного процесу. Такі платформи дають можливість синхронізовано працювати над моделлю, обмінюватися документами та координувати зміни в режимі реального часу.

Ще одним напрямом є розвиток концепції «розумного будівництва» (Smart Construction), що поєднує цифрові інструменти, IoT-пристрої, машинне навчання та енергоефективні технології. Завдяки цьому будівельна галузь поступово переходить до автоматизованих систем управління процесами та впроваджує більш точні, прогнозні та адаптивні підходи.



Рисунок 1.1 – Ключові напрямки цифрової трансформації будівництва

1.2 Еволюція цифрових рішень у будівельній сфері

Розвиток інформаційних технологій у будівництві має чітку історичну траєкторію. З кінця XX століття до сьогодні можна виокремити кілька етапів, кожен з яких докорінно змінював підходи до створення та реалізації будівельних проєктів.

Етап 1. Поява CAD-систем (1980–2000 рр.)

У 1980-х роках комп'ютерні технології почали витісняти ручне креслення. Поява систем Computer-Aided Design (AutoCAD, ArchiCAD) надала можливість створювати точні двовимірні креслення, пришвидшила внесення змін і дозволила стандартизувати документацію. Це був фундаментальний зсув у процесах проєктування, однак такі системи залишалися інструментом графічного відтворення, без прив'язки до параметричних даних.

Етап 2. Перехід до параметричного моделювання та BIM 3D (2000–2015 рр.)

Поступово будівельна галузь перейшла від двовимірного креслення до тривимірних інформаційних моделей. BIM (Building Information Modeling) дозволив об'єднати геометричну інформацію з атрибутними даними: характеристиками матеріалів, властивостями елементів, технологічними параметрами. Модель стала інформаційним центром проєкту, а не просто геометричною візуалізацією.

Етап 3. Розвиток BIM 4D/5D та цифрових екосистем (2015–2020 рр.)

На цьому етапі цифрове моделювання стало охоплювати не лише проєктування, але й планування будівництва (4D), економічний аналіз (5D), енергетичне моделювання (6D) та управління експлуатацією (7D). З'явилися хмарні сервіси, CDE (Common Data Environment), моделі стали інтерактивними.

Етап 4. Інтеграція штучного інтелекту, IoT та цифрових двійників (2020–сьогодення)

Сучасне будівництво переходить до нового етапу: повна автоматизація і взаємодія цифрової моделі з реальним об'єктом у режимі реального часу. Digital Twin, IoT-сенсори та аналітичні системи роблять можливими:

- прогнозування технічного стану будівель;
- автоматичне керування інженерними системами;
- зменшення аварій та збільшення ресурсу конструкцій;
- оптимізацію витрат на експлуатацію.

За даними дослідження, проведеного серед понад 70 будівельних і

девелоперських компаній, 68 % підприємств мають низький рівень цифровізації виробничих процесів, тоді як лише 12 % застосовують BIM як стандарт проєктування, а 46 % (рис. 1.3) взагалі не використовують інформаційне моделювання будівель.

Така статистика демонструє значне відставання галузі у впровадженні сучасних підходів та необхідність цифрової модернізації.

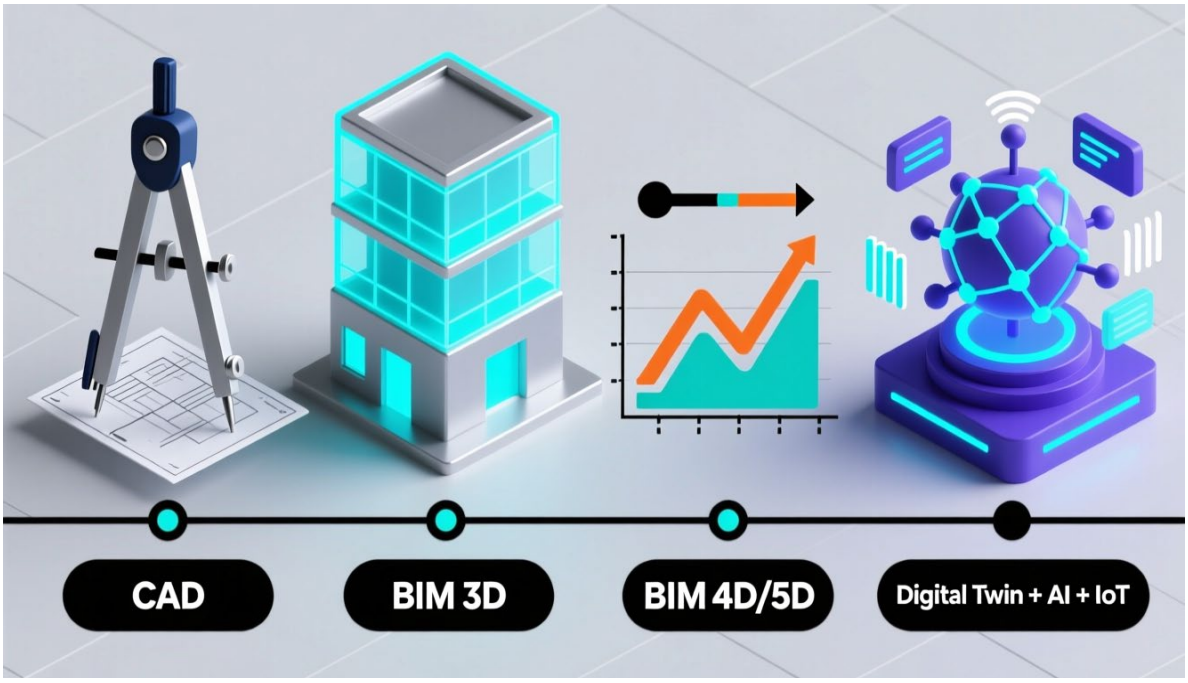


Рисунок 1.2 – Етапи еволюції цифрових технологій у будівництві

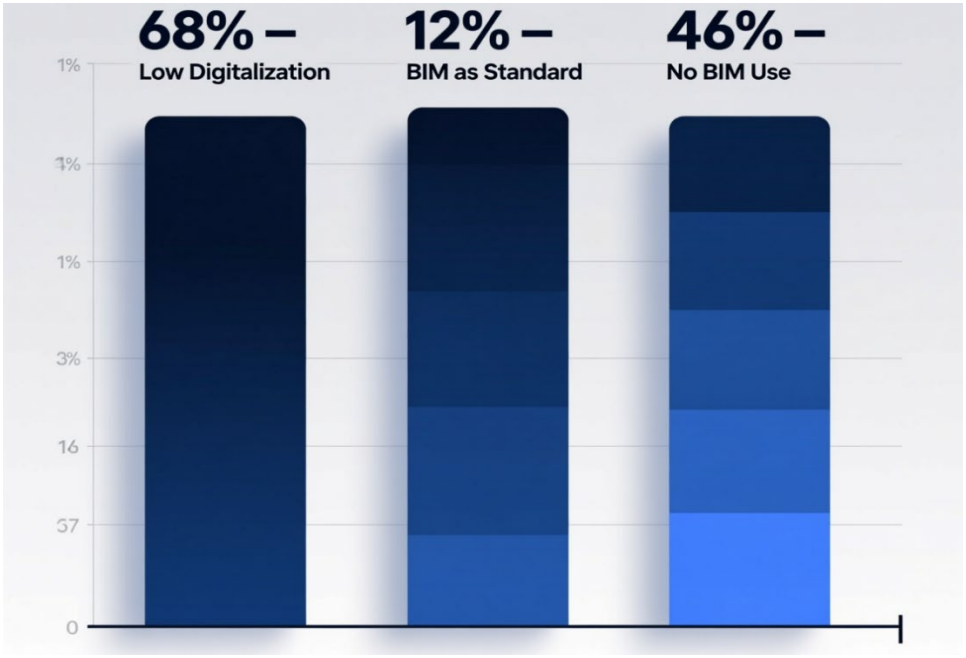


Рисунок 1.3 – Рівень цифровізації виробничих процесів будівельних компаній за результатами дослідження Strategy Partners

1.3 Класифікація інформаційних технологій у будівництві

Сучасна будівельна галузь використовує широкий спектр інформаційних технологій, кожна з яких виконує конкретну функцію у рамках життєвого циклу об’єкта. На відміну від традиційних підходів, де окремі етапи проєктування, будівництва та експлуатації розглядалися як відокремлені процеси, цифрове середовище створює умови для їх інтеграції. Для системного аналізу доцільно класифікувати інформаційні технології за їх призначенням, рівнем застосування та функціональними можливостями.

У загальному вигляді IT у будівництві можна поділити на чотири великі групи:

1. технології проєктування та моделювання;
2. технології організації та управління будівельним виробництвом;
3. технології моніторингу та експлуатації;
4. інтелектуальні та аналітичні системи.

Такий поділ дає змогу охопити весь спектр цифрових інструментів, що використовуються у галузі, та розуміти їх взаємозв’язок.

1.3.1 Технології проєктування та моделювання

Ця група є базовою для цифровізації, оскільки формує інформаційну основу будь-якого будівельного проєкту. Вона включає:

– CAD-системи (Computer-Aided Design)

Це перше покоління цифрових технологій, яке дозволило замінити традиційне креслення. Вони забезпечують швидке створення двовимірних та простих тривимірних моделей, але не містять параметричних даних про поведінку елементів.
До них належать AutoCAD, ArchiCAD (у 2D-режимі), CorelCAD тощо.

– BIM-платформи (Building Information Modeling)

На відміну від CAD, BIM – це не просто тривимірна модель, а інформаційний контейнер, що містить дані про всі елементи будівлі. BIM поєднує геометрію, фізичні параметри, економічні властивості матеріалів,

графік робіт та інші атрибути. Основні платформи: Revit, Tekla Structures, Allplan, Bentley Systems.

– Інженерні симулятори та розрахункові комплекси

Ці системи дозволяють виконувати структурний аналіз, теплотехнічні, аеродинамічні, акустичні та інші розрахунки. До них належать: SCAD, LIRA-SAPR, ANSYS, ETABS, Robot Structural Analysis.

– Візуалізаційні та VR/AR технології

Вони забезпечують занурення у модель, моделювання сценаріїв поведінки конструкцій та перевірку ергономіки. Серед інструментів: Unity 3D, Unreal Engine, Enscape, Lumion, Twinmotion.

Загалом технології проєктування створюють платформу, на якій будується вся цифрова екосистема будівництва.

1.3.2 Технології організації та управління будівельним виробництвом

Управління будівництвом – складний процес, що вимагає постійного контролю ресурсів, термінів та взаємодії між учасниками проєкту. Інформаційні технології тут відіграють ключову роль.

Основні інструменти цієї групи:

– CDE (Common Data Environment) – єдине середовище даних

Це хмарний простір, де зберігаються всі документи, моделі, плани та звіти. Воно забезпечує контроль змін, розмежування доступу та синхронізацію між учасниками. Приклади: BIM 360, Trimble Connect, Dalux.

– Системи планування (4D BIM, програмні комплекси)

4D BIM поєднує модель з календарним планом будівництва. Такі рішення дозволяють прогнозувати затримки, формувати послідовність робіт та оцінювати ризики. Програмні продукти: Navisworks Manage, Synchro Pro, MS Project, Primavera.

– Цифрові системи контролю виконання робіт (Construction Management Systems).

Вони дозволяють вести цифрові журнали робіт, реєструвати проблеми, фіксувати виконання задач на будівельному майданчику.

Приклади: PlanRadar, Fieldwire, Procore.

– Інструменти для логістики та управління ресурсами

Вони забезпечують відстеження поставок, автоматичне формування заявок та облік матеріалів. Популярні рішення: SAP ERP, 1С Підприємство (модулі для будівництва).

Використання таких систем значно підвищує дисципліну виконання робіт, зменшує кількість помилок та забезпечує прозорість будівельних процесів.

1.3.3 Технології моніторингу та експлуатації об’єктів

Цифровізація не завершується після здачі об’єкта в експлуатацію. Навпаки – саме на цьому етапі інформаційні технології допомагають забезпечити безпечне та економічне функціонування будівель.

Основні напрями:

– Інтернет речей (IoT) та сенсорні системи

Моніторинг вологості, температури, деформацій, навантажень, вібрацій. Такі системи дозволяють виявляти відхилення на ранніх стадіях і запобігати аварійним ситуаціям.

– Системи моніторингу технічного стану конструкцій (SHM – Structural Health Monitoring)

Вони включають датчики напружень, акустичні сенсори, лазерні сканери, аналітику даних.

– BIM 7D та цифрові паспорти будівель

Ці інструменти дозволяють відстежувати стан інженерних систем, планувати ремонти, обліковувати зміну характеристик будівлі з часом.

– Енергетичний моніторинг

Використовується в системах енергоефективних та «розумних» будівель. Подає дані про споживання електроенергії, тепла, води, допомагає оптимізувати режими роботи.

У комплексі ці технології створюють можливість переходу до концепції «розумної експлуатації», коли об’єкт сам надає інформацію про свій стан.

1.3.4 Інтелектуальні та аналітичні системи

Цей пласт технологій є найперспективнішим і формує майбутнє цифрового будівництва. Він охоплює:

– системи штучного інтелекту для прогнозування дефектів, ризиків та затримок. AI аналізує історичні дані, будівельні графіки, інформацію з датчиків та формує ймовірні сценарії розвитку подій.

– машинне навчання для оптимізації витрат і процесів. Алгоритми визначають найефективніші варіанти планування, логістики, комплектації робіт.

– алгоритми комп’ютерного зору

Використовуються для:

- контролю якості виконання робіт,
- виявлення небезпечних ситуацій,
- оцінки відповідності фактичного будівництва BIM-моделі.

– прогнозна аналітика систем Digital Twin

Поєднання реального об’єкта та його цифрової копії створює можливість моделювати поведінку будівлі, прогнозувати результати реконструкцій і оцінювати ефект від змін параметрів.



Рисунок 1.3 – Структура інформаційних технологій у будівництві

1.4 Нормативно-правова база цифрового будівництва в Україні

Впровадження інформаційних технологій у будівельну галузь потребує відповідної нормативно-правової бази, яка регламентує застосування цифрових інструментів, визначає вимоги до документації, стандартизує процеси проєктування та експлуатації об'єктів. Українське законодавство у сфері цифрового будівництва формується під впливом міжнародних стандартів, насамперед ISO та EN, а також рекомендацій Європейського Союзу щодо цифровізації будівельної галузі. Незважаючи на суттєвий прогрес останніх років, нормативна система України перебуває на стадії активного розвитку й модернізації.

1.4.1 Законодавча основа цифровізації будівництва

Система нормативних документів, що регулюють цифрові процеси у будівництві, включає як базові закони, так і галузеві підзаконні акти, стандарти та технічні настанови.

Першим фундаментальним документом є Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності», що закладає основи створення та ведення електронних реєстрів, визначає вимоги до цифрових систем у сфері містобудування, та формує підґрунтя для переходу до електронних будівельних послуг. Закон став відправною точкою для створення Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва (ЄДЕССБ), яка інтегрує документообіг, реєстрацію дозвільних процедур, електронні кабінети учасників будівництва.

Важливою складовою законодавства є Закон України «Про енергетичну ефективність будівель», який визначає необхідність створення цифрових моделей, енергетичних сертифікатів та стандартів автоматизованого енергоаудиту будівель. Цей закон стимулює розвиток інструментів BIM 6D, автоматизованих систем контролю інженерних мереж, цифрових моделей енергоспоживання.

Паралельно діє Закон «Про публічні електронні послуги», що забезпечує загальні принципи цифровізації державних процесів, у тому числі тих, які пов’язані з будівельною сферою.

1.4.2 Національні стандарти у сфері цифрового моделювання (BIM)

Україна поступово переходить до системи стандартів, що відповідають міжнародним нормам BIM-впровадження. Найважливішими серед них є:

– ДСТУ EN ISO 19650 (серія стандартів)

Ці документи адаптують міжнародні вимоги до організації інформації в будівництві, а саме:

- принципи створення інформаційних моделей будівель і споруд,
- вимоги до структурованих даних,
- правила ведення цифрової документації.

Вони є ключовими стандартами, які формують основу впровадження BIM-проєктування в Україні.

– ДСТУ Б EN 17412 – рівні інформаційних потреб (LOIN)

Визначає вимоги до глибини і деталізації інформації. Стандарт використовується для регламентації LOD/LOI у цифрових моделях.

– ДСТУ ISO 16739 – IFC-формат (Industry Foundation Classes)

Регламентує структуру обміну даними між BIM-платформами. Наявність IFC як державного стандарту є ключовою умовою інтероперабельності.

– ДСТУ Б.1.1-XXX «Вимоги до електронної будівельної документації»

Розробляється з метою стандартизації створення, зберігання та передачі цифрової документації у ЄДЕССБ.

1.4.3 Нормативні документи у сфері цифрових реєстрів та електронного документообігу

Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів № 681 було створено Єдину державну електронну систему у сфері будівництва, що стала центральним елементом цифровізації галузі. Вона забезпечує:

- електронне внесення містобудівної документації,

- цифрове оформлення дозвільних процедур,
- ведення електронних журналів виконання робіт,
- інтеграцію з кадастровими системами, реєстрами прав власності, системами технічної інвентаризації.

Розширення функціональних можливостей ЄДЕССБ включає також інтеграцію з майбутньою системою BIM-банку моделей, що планується до впровадження в рамках Дорожньої карти BIM для України.

1.4.4 Європейські нормативи та їх адаптація в Україні

Цифрове будівництво в країнах Європейського Союзу давно регламентується комплексом стандартів:

- ISO 19650 – управління інформацією в будівництві
- EN 17412 (LOIN) – інформаційні вимоги
- EN 15978 – оцінювання життєвого циклу будівель
- ISO 16739 (IFC) –відкритий формат даних
- EN 1990–1999 (Eurocodes) – цифрові методи розрахунків

Україна поступово гармонізує ці стандарти, що є обов'язковою умовою інтеграції в європейський інженерно-будівельний простір.

Особливо активним є впровадження вимог ISO 19650, які встановлюють:

- порядок створення інформаційних моделей (BIM),
- принципи управління даними,
- вимоги до інформаційних обмінів між учасниками.

Розробляються також українські настанови з використання BIM на державних будівельних проєктах, що відповідає світовій практиці, де BIM є обов'язковим на об'єктах публічного фінансування.

1.4.5 Проблеми нормативного забезпечення цифровізації будівництва в Україні

Незважаючи на появу важливих нормативів, галузь стикається з низкою проблем:

1. Відсутність обов'язковості BIM у державних проєктах.

Більшість країн ЄС уже впровадили вимогу обов'язкового BIM для

публічних будівельних контрактів. В Україні поки що BIM застосовується добровільно.

2. Неповна імплементація ISO-стандартів. Багато міжнародних норм адаптовано частково або у спрощеному вигляді.

3. Нестача стандартів для експлуатації та цифрових двійників.

Поки що відсутні чіткі вимоги до BIM 6D/7D, цифрових паспортів будівель та структур SHM.

4. Недостатня інтеграція інженерно-будівельних норм із цифровими форматами. Під час підготовки будівельної документації не завжди регламентовано використання цифрових каталогів, бібліотек елементів, IFC-пакетів.

5. Брак національних методичних рекомендацій.

Не вистачає інструкцій, подібних до британських PAS-level документів, які спрямовані на практичне застосування BIM.

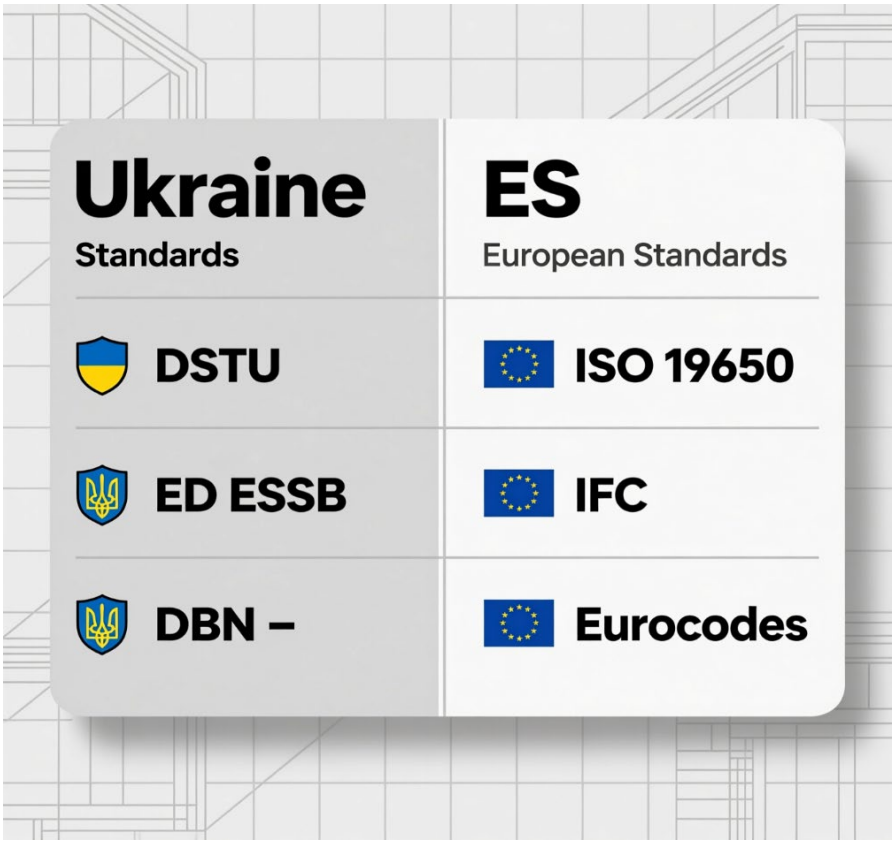


Рисунок 1.4 – Порівняння українських та європейських нормативів цифрового будівництва

2 СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У БУДІВНИЦТВІ

Інформаційні технології стали одним із головних драйверів модернізації будівельної галузі. Якщо ще 15–20 років тому цифрові інструменти обмежувалися комп'ютерним кресленням, то сьогодні вони охоплюють весь цикл будівництва – від концепції та проєктування до експлуатації та реконструкції. Розвиток BIM, хмарних сервісів, штучного інтелекту, систем IoT, геоінформаційних технологій і платформ управління будівельними майданчиками формує нову екосистему Smart Construction.

У цьому розділі розглядаються найбільш важливі сучасні IT-рішення, їх особливості, функціональні можливості та практичний вплив на якість, швидкість і безпеку будівельного виробництва.

2.1 BIM-технології: концепція, рівні та переваги

До сучасних цифрових технологій, що активно впроваджуються у будівельній сфері, належать: автоматизовані системи управління бізнес-процесами, технології 3D-друку, інтегровані сенсорні системи моніторингу стану будівель, засоби візуалізації та робототехніка, інтелектуальні датчики, Big Data для оброблення великих масивів даних, а також хмарні сервіси, що забезпечують доступ до інформації з будь-якої точки.

BIM (Building Information Modeling) сьогодні вважається базовою технологією цифрового будівництва. Це не просто тривимірна модель, а багатошарова інтегрована система, яка накопичує інформацію про всі елементи будівлі, їх властивості, характеристики, взаємозв'язки та поведінку у реальних умовах. Технологія забезпечує спільну роботу архітекторів, інженерів, кошторисників, підрядників і експлуатуючих організацій.

Проєктування у BIM забезпечує повноцінний перехід до безпаперового середовища, де документообіг автоматизується, а всі зміни миттєво

відображаються у цифровій моделі. Сучасні BIM-платформи дозволяють інтегрувати алгоритмічні та скриптові рішення, що оптимізують рутинні операції, скорочують трудозатрати та підвищують точність проєктних рішень.

2.1.1 Сутність та принципи BIM

Основою BIM є створення «інформаційного ядра» будівельного проєкту, яке містить:

- тривимірну геометрію конструкцій;
- параметри матеріалів та елементів;
- дані про навантаження, теплотехнічні характеристики, експлуатаційні властивості;
- кошторисну інформацію;
- графіки виконання робіт;
- дані про експлуатацію будівлі.

На відміну від традиційних методів, де кожен учасник працює з окремими документами, BIM створює єдине джерело актуальної інформації, що значно зменшує кількість помилок, суперечностей і дублювання даних.

Принципи BIM включають:

1. параметричність;
2. взаємозв’язок елементів;
3. відкриті формати даних (IFC);
4. спільну роботу в CDE;
5. можливість автоматизації розрахунків і перевірок.

2.1.2 Рівні розвитку BIM (BIM Maturity Levels)

Світова практика виділяє 4 основних рівні зрілості BIM:

– Level 0 – без цифрової взаємодії.

Електронні креслення у форматі PDF та 2D CAD. Модель відсутня.

– Level 1 – часткова цифровізація.

2D+3D CAD, поява окремих моделей, але без обміну даними.

– Level 2 – координація моделей.

Кожен виконавець створює власну BIM-модель, які об’єднуються під час колізійного аналізу.

Це рівень, який більшість країн зробили обов’язковим.

– Level 3 – спільна модель (Integrated BIM).

Усі працюють з єдиною моделю у CDE.

Підтримуються 4D – 7D, автоматична синхронізація та інтеграція з цифровими двійниками.

2.1.3 Виміри BIM (3D–7D)

BIM розвивається у кількох напрямах, які умовно називають «вимірами»:

- 3D – тривимірна геометрія;
- 4D – час, календарний графік і моделювання процесів;
- 5D – кошториси, економічна аналітика;
- 6D – енергоефективність та моделювання інженерних систем;
- 7D – експлуатація, ремонт, Facility Management.

Це дозволяє керувати будівлею на всіх етапах її життєвого циклу.

2.1.4. Переваги BIM у порівнянні з традиційним проєктуванням

Використання BIM дає такі переваги:

- зниження кількості помилок на етапі проєктування на 30–50 %;
- скорочення термінів підготовки документації;
- зниження вартості будівництва шляхом точного підрахунку об’ємів;
- виявлення колізій до початку будівництва;
- прозора комунікація між учасниками;
- можливість створення цифрового архіву будівлі;
- висока точність прогнозування експлуатаційних характеристик.

У багатьох державах (Велика Британія, Німеччина, Данія, Фінляндія) BIM є обов’язковим для публічних будівельних проєктів. Україна рухається у тому ж напрямку.

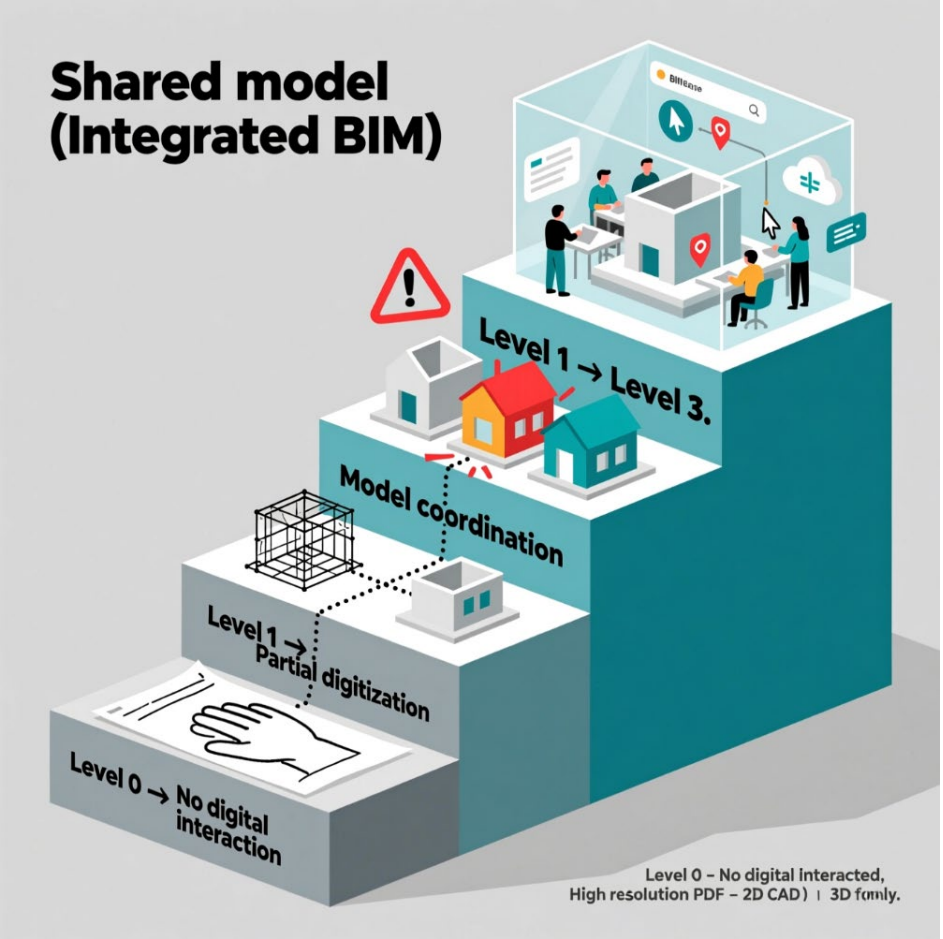


Рисунок 2.1 – Рівні зрілості BIM

2.2 Хмарні цифрові платформи та середовище спільної роботи (CDE)

Створення інформаційної моделі – це лише частина цифрового будівництва. Для ефективної роботи над проєктом необхідне середовище, у якому всі учасники можуть отримувати доступ до актуальної інформації. Таким середовищем є CDE (Common Data Environment) – єдина платформа, що зберігає всі документи, моделі, креслення, графіки та звіти.

CDE є центральним компонентом BIM Level 2 та Level 3 і слугує «одним джерелом правди» для всіх учасників будівництва.

CDE виконує такі ключові функції:

- централізоване зберігання інформації;
- контроль доступу та версійності документів;
- автоматичне погодження змін;

- єдині вимоги до структури даних;
- безперервна комунікація між учасниками;
- інтеграція з BIM-моделями;
- ведення цифрової історії проєкту.

Популярні хмарні платформи для будівництва:

1) Autodesk Construction Cloud

Найпоширеніша система у світі.Функції:

- перегляд 2D/3D,
- контроль колізій,
- цифрові журнали,
- управління задачами,
- автоматизація перевірок моделі.

2) Trimble Connect

Сильний акцент на співпраці та інтеграції з Tekla Structures.

3) Dalux

Європейська платформа, яка підтримує роботу на будмайданчику та має дуже зручний інтерфейс для інженерів.

4) Procore

Система управління будівництвом, яка інтегрує документи, моделі та фінансовий облік.

Переваги CDE для будівельних проєктів

- підвищення прозорості та відповідальності учасників;
- уникнення суперечностей у документації;
- миттєва передача змін;
- скорочення часу узгодження проєктних рішень;
- можливість контролю якості в режимі реального часу;
- збереження цифрової історії проєкту для аудиту.

CDE фактично є умовою повноцінної цифрової трансформації будівництва.



Рисунок 2.2 – Структура та місце CDE у цифровому будівництві

2.3 Інтернет речей (IoT) у будівництві та експлуатації

Інтернет речей (IoT) забезпечує зв’язок фізичного світу із цифровими моделями. Датчики, контролери, розумні пристрої передають інформацію про стан будівельних конструкцій, параметри середовища, навантаження та рух техніки у режимі реального часу.

IoT на етапі будівництва використовується для:

– моніторингу техніки. GPS-трекери контролюють переміщення техніки, її робочий час та витрати палива.

– контролю умов бетонування. Датчики температури й вологості в товщі бетону дозволяють визначати момент набору міцності.

– контролю безпеки працівників. Смарт-брелоки й каски з датчиками виявляють небезпечні ситуації.

– моніторингу вібрацій та осідань. Важливо під час робіт у міських умовах та поблизу існуючих будівель.

IoT у моделях Digital Twin

Після введення будівлі в експлуатацію IoT стає основним джерелом даних для цифрового двійника, забезпечуючи:

- безперервний моніторинг інженерних систем;
- прогнозування виходу обладнання з ладу;
- оптимізацію витрат енергоресурсів;
- виявлення аварійних ситуацій.

Переваги IoT-інтеграції - 24/7 контроль за станом будівлі; зменшення витрат на експлуатацію; підвищення безпеки; швидке реагування на аварії; формування баз даних для аналітики та прогнозування.



Рисунок 2.3 – Архітектура IoT-системи у будівництві

2.4 Геоінформаційні технології (GIS) у будівництві

Використання геоінформаційних систем у будівельній сфері протягом останнього десятиліття набуло стратегічного значення, оскільки сучасні інфраструктурні проєкти потребують комплексного аналізу території, інженерних мереж, природних умов та просторових обмежень. GIS-технології поступово переходять зі сфери геодезії та картографії у широкий спектр будівельних процесів – від вибору ділянки та проєктування транспортних систем до моделювання інженерних мереж та моніторингу великих об’єктів.

Сутність GIS полягає у створенні багатошарової просторової моделі, яка містить геодані різних типів: рельєф, геологічну будову, водні ресурси, існуючу забудову, комунікації, транспортні потоки, межі земельних ділянок. Для будівництва це має особливе значення, оскільки дозволяє оцінювати ділянку у взаємозв’язку з численними природними та техногенними факторами. GIS дає змогу проводити порівняльний аналіз різних варіантів розміщення об’єкта, визначати оптимальні траси інженерних мереж, прогнозувати вплив будівництва на навколишнє середовище та враховувати ризики підтоплення, зсувів, сейсмічних проявів.

Однією з найважливіших переваг GIS є можливість інтеграції з BIM-моделями. Така інтеграція забезпечує поєднання детальної тривимірної моделі будівлі з геопросторовими даними ділянки. Наприклад, інженери можуть точно визначити відмітки фундаментів, врахувати реальний рельєф під час моделювання котловану або оцінити рівень інсоляції будівель. На рівні містобудівних систем GIS використовується для формування детальних планів територій, кадастрів, транспортних схем та інженерної інфраструктури.

GIS також відіграє ключову роль у моніторингу інженерних споруд. За допомогою цифрових моделей рельєфу на основі даних лазерного сканування і БПЛА можна контролювати деформації, осідання та зміни навколишнього середовища. Зокрема, в мостобудуванні та гідротехнічному будівництві це дає змогу виявляти небезпечні зміни ще до появи видимих ознак руйнування.

Важливим напрямом є створення цифрових кадастрів інженерних мереж. Коли в системі представлені всі водопровідні, каналізаційні, теплові, електричні та телекомунікаційні мережі, це дозволяє уникати аварій під час земляних робіт, правильно планувати реконструкцію та модернізацію. У великих містах GIS стає основою Smart City-платформ і забезпечує оперативний доступ до будь-яких технічних даних.

Застосування GIS у будівництві дає відчутні економічні переваги: скорочення витрат на інженерні вишукування, зменшення ймовірності помилок, усунення дублювання робіт, підвищення точності проєктних рішень і зниження ризиків. У поєднанні з BIM та IoT GIS стає фундаментом комплексного просторового управління територією та будівельними об’єктами.

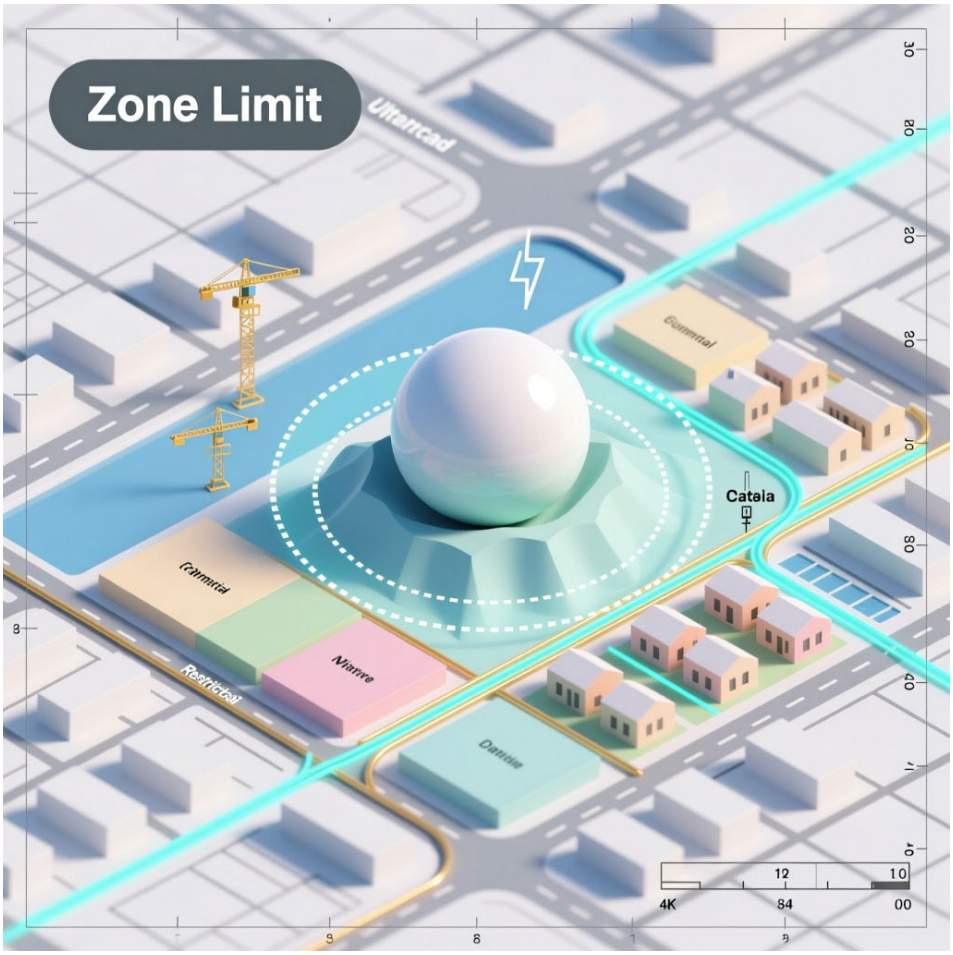


Рисунок 2.4 – Геоінформаційна модель території будівництва

2.5. Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у будівельній сфері

Безпілотні літальні апарати стали одним із найпотужніших інструментів сучасного будівництва. Їх застосування дозволяє отримувати точні аерофотознімки, формувати тривимірні моделі місцевості, контролювати хід виконання робіт і виконувати візуальні огляди, які раніше вимагали значних витрат часу та залучення спеціального обладнання. У поєднанні з GIS, BIM та системами аналітики БПЛА забезпечують найвищий рівень точності, доступності та швидкості отримання даних.

На етапі підготовки до будівництва дрони використовуються для формування детальних моделей рельєфу. Застосування фотограмметричних методів дає змогу побудувати хмару точок, цифрову модель рельєфу та ортофотоплани, які мають високу точність. Це дає можливість проектувальникам здійснювати кадастрову прив’язку, планувати земляні роботи, визначати об’єми зрізу та насипу, обирати оптимальні варіанти траси доріг або інженерних мереж.

Під час будівництва БПЛА використовуються для моніторингу ходу робіт. Знімання, яке повторюється із заданою частотою, дозволяє порівнювати фактичний стан будмайданчика з BIM- або календарними моделями. На великих об’єктах дрони допомагають контролювати дотримання техніки безпеки, аналізувати переміщення техніки та персоналу, виявляти несанкціоновані дії або потенційно небезпечні ситуації. Висока роздільна здатність камер дає змогу проводити детальний огляд важкодоступних конструкцій – фасадів, покрівель, щогл, балок перекриття.

На етапі експлуатації об’єктів інфраструктури дрони стають ефективним інструментом обстеження мостів, тунелів, трубопроводів, ліній електропередач та гідротехнічних споруд. Безпілотники з тепловізійними камерами та лазерними сканерами можуть виявляти тріщини, тепловтрати,

деформації та інші дефекти. Застосування БПЛА скорочує час діагностики, знижує ризик для інженерів, а також значно зменшує вартість обстеження.

Поєднання даних БПЛА з BIM-моделями відкриває нові можливості для створення цифрових двійників. Дрони формують актуальну 3D-модель об’єкта, яка постійно оновлюється. Це особливо важливо для складних споруд, де зміни можуть впливати на безпеку експлуатації.

Економічні переваги використання БПЛА є значними. За оцінками міжнародних досліджень, застосування дронів дозволяє знизити витрати на геодезичні роботи на 30–50 %, а час збору інформації – у 5–10 разів. Саме тому більшість великих будівельних компаній світу інтегрували безпілотники у власні технологічні стандарти.

3 ІННОВАЦІЙНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАЙБУТНЬОГО В БУДІВЕЛЬНІЙ СФЕРІ

Сучасні тенденції розвитку будівельної галузі відзначаються стрімким впровадженням інноваційних технологій, які докорінно змінюють підходи до проєктування, організації та експлуатації об’єктів. Якщо ще донедавна головними цифровими інструментами вважалися BIM-моделювання та хмарні платформи, то сьогодні будівництво переходить до якісно нового рівня, в основі якого – штучний інтелект, машинне навчання, цифрові двійники, роботизовані системи та адитивні технології. Ці інновації забезпечують не лише автоматизацію окремих процесів, а й створюють передумови для побудови самокерованих будівельних систем, здатних адаптуватися до умов експлуатації та прогнозувати власний стан.

Інформаційне моделювання (BIM) сьогодні розглядають не як окремий інструмент проєктування, а як комплексну систему управління життєвим

циклом проєкту, що забезпечує координацію робіт, взаємодію між учасниками, прискорення ухвалення рішень та підвищення якості кінцевого продукту. BIM сприяє цифровому оновленню всіх процесів – від проєктування до експлуатації будівлі.

Інтеграція інтелектуальних технологій у будівництво є відповіддю на сучасні глобальні виклики – зростання вартості ресурсів, необхідність підвищення енергоефективності, дефіцит робочої сили та посилення вимог до безпеки й якості будівельних робіт. Нові цифрові інструменти дозволяють оптимізувати процеси, скорочувати витрати, мінімізувати людський фактор і створювати складні об’єкти з високою точністю, яка раніше була недосяжною.

3.1 Штучний інтелект та машинне навчання у будівництві

Штучний інтелект (AI) сьогодні є одним із ключових напрямів цифрової трансформації будівельної галузі. На відміну від традиційних цифрових інструментів, які виконують чітко визначені функції, AI-системи здатні аналізувати дані, робити висновки та генерувати нові рішення без прямої участі людини. Це відкриває можливості для автоматизованого планування будівництва, управління ризиками, контролю якості та прогнозування технічного стану споруд.

AI-технології застосовуються передусім для обробки великих масивів даних, які формуються під час реалізації будівельних проєктів: BIM-моделі, календарні плани, фотографії та відеофіксація майданчика, інформація з датчиків IoT, економічні показники, показники енергоспоживання, експлуатаційні дані. Аналіз таких даних вручну є практично неможливим, тоді як алгоритми машинного навчання здатні знаходити закономірності, які неочевидні для людини.

Одним із ключових напрямів застосування AI є автоматизація планування будівельного процесу. Алгоритми аналізують наявні ресурси, продуктивність обладнання, кадрові можливості, логістичні обмеження та

пропонують оптимальні графіки виконання робіт. Більше того, AI здатний прогнозувати можливі затримки та знаходити «вузькі місця» ще на етапі планування. Це дозволяє значно підвищити точність календарного планування та уникнути непередбачених простоїв.

Іншим важливим напрямом є контроль якості та комп'ютерний зір. Системи машинного аналізу зображень здатні автоматично оцінювати відповідність фактичного стану будівництва BIM-моделі, виявляти помилки, дефекти, невідповідності у геометрії конструкцій. У світі вже активно застосовуються роботи-інспектори, які пересуваються будмайданчиком і створюють 360-градусні панорами, а спеціальні алгоритми визначають прогалини у роботах або небезпечні ситуації.

AI також активно використовується для прогнозування технічного стану будівель. На основі даних з датчиків (волога, температура, вібрація, деформації) моделі прогнозують розвиток дефектів, появу тріщин, надмірне навантаження або знос конструктивних елементів. Це дає змогу переходити від реактивного до превентивного обслуговування, що значно знижує ризики аварій.

У системах управління експлуатацією AI виконує функції оптимізації енергоспоживання, адаптації інженерних систем до реальних умов, аналізу поведінки користувачів та автоматичного вибору найбільш ефективних режимів роботи обладнання. Подібні рішення вже впроваджуються у системи «розумних будівель» та житлових комплексів нового покоління.

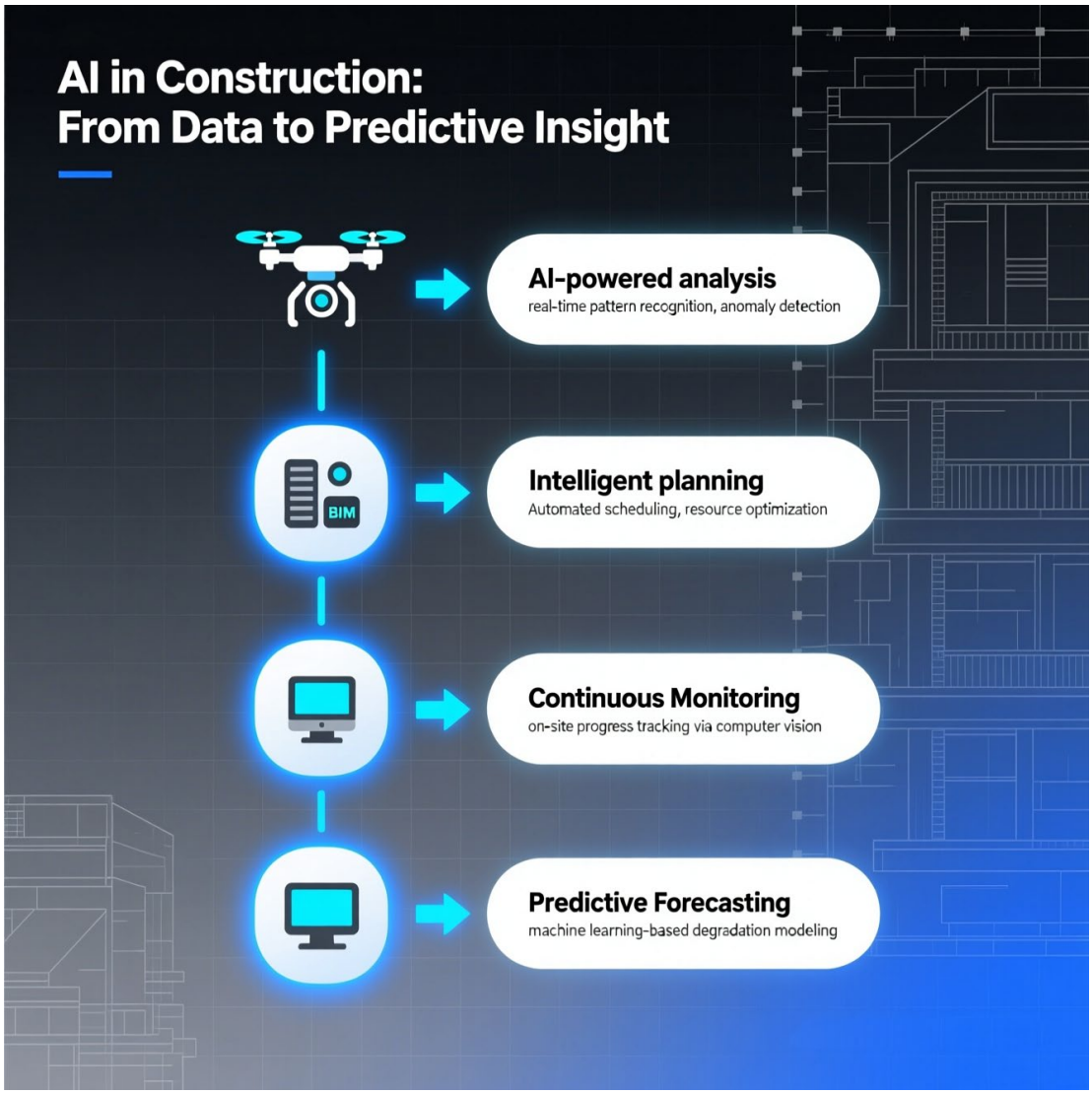


Рисунок 3.1 – Схема використання AI у будівництві

3.2 Технологія Digital Twin (цифровий двійник)

Цифровий двійник є однією з найінноваційніших концепцій сучасного будівництва. Це цифрова копія будівлі, яка повністю відтворює структуру, параметри та поведінку реального об’єкта. На відміну від BIM-моделі, цифровий двійник функціонує у режимі реального часу, синхронізуючись із даними сенсорів і дозволяючи відстежувати технічний стан будівлі, прогнозувати її поведінку та управляти інженерними системами.

Цифровий двійник інтегрує дані з BIM-моделі, IoT-систем, аналітичних платформ і систем управління експлуатацією. Він є динамічною моделлю, що

постійно оновлюється. Наприклад, якщо у будівлі змінюється температура, навантаження, вологість або виникають деформації, ці дані відразу фіксуються в цифровому двійнику. Це дає змогу не тільки спостерігати за станом інженерних систем, а й прогнозувати їх роботу.

Одна з ключових переваг технології Digital Twin полягає в можливості прогнозного обслуговування, коли система заздалегідь попереджає про ймовірне виникнення несправностей. На основі історичних даних, алгоритмів прогнозування та моделювання цифровий двійник визначає, які елементи конструкції або обладнання потребують ремонту, заміни чи перевірки.

Ще одним перспективним напрямом застосування цифрових двійників є аналіз ефективності реконструкції та модернізації. Інженери можуть моделювати різні варіанти модернізації, оцінювати їх вплив на поведінку конструкцій, енерговитрати, комфорт та безпеку користувачів. Це особливо важливо для великих промислових і громадських будівель, де реконструкція є складним і дорогим процесом.

Із розвитком технологій цифрові двійники також стають частиною міських інфраструктур: формуються «цифрові двійники міст», які поєднують транспортні, інженерні та електронні мережі, дозволяючи планувати розвиток територій, контролювати навантаження на інфраструктуру та реагувати на кризові ситуації.



Рисунок 3.2 – Архітектура цифрового двійника будівлі

3.3 Роботизація та автоматизація будівельного виробництва

Роботизація є ще одним ключовим напрямом, що визначає майбутнє будівельної галузі. В умовах збільшення складності об’єктів будівництва та дефіциту кваліфікованої робочої сили автоматизація основних процесів стає критично важливою.

Одним із найпоширеніших видів роботизованого обладнання є роботи-муляри, які здатні виконувати кладку з високою точністю, швидкістю та повторюваністю. Такі роботи працюють на основі комп’ютерного зору та координуються за допомогою BIM-моделі. Це зменшує похибки та забезпечує відповідність фактичної кладки проєктним параметрам.

Значного поширення набули роботи для зварювання, встановлення арматури та монтажу великих елементів, які особливо ефективні на промислових об’єктах і великих інфраструктурних проєктах. На будівництві хмарочосів у США активно використовуються роботи для монтажу фасадних систем, які здатні працювати на висоті, де для людини існує підвищений ризик.

Перспективним напрямом є автономна техніка – екскаватори, бульдозери, навантажувачі, що керуються програмними алгоритмами або дистанційно. Такі машини можуть працювати у важкодоступних або небезпечних умовах, забезпечуючи високу точність земляних робіт і зменшуючи витрати палива.

У поєднанні з BIM та IoT роботизоване будівництво дозволяє створити повністю цифровий цикл: від моделі – до автоматичного виконання робіт.



Рисунок 3.3 – Роботизовані технології у будівництві

3.4 3D-друк та адитивні технології в будівництві

Однією з найінноваційніших технологій у будівельній сфері є 3D-друк, який дозволяє зводити конструкції шляхом пошарового нанесення матеріалу. На відміну від традиційного будівництва, де виконуються сотні окремих операцій, 3D-друк забезпечує автоматизований процес створення цілих елементів або навіть будівель.

3D-друк відкриває можливість використання нового покоління будівельних матеріалів – високопластичних бетонів, полімербетонів, ґрунтобетонів, композиційних сумішей. Технологія дозволяє формувати складні геометричні форми, які неможливо або економічно недоцільно виконувати традиційними методами.

У світі вже існують десятки прикладів друкованих будівель – житлових будинків, офісів, військових споруд, інженерних елементів. 3D-друк забезпечує: скорочення часу будівництва у 2–3 рази; зменшення витрат матеріалів; зниження впливу людського фактора; можливість будівництва у важкодоступних умовах; високу точність геометрії.

Із розвитком роботизованих систем 3D-друк поступово переходить у формат автоматизованих мобільних технологій, коли принтер переміщується територією майданчика та виконує друк без стаціонарної платформи.



Рисунок 3.4 – Схема роботи 3D-будівельного принтера

4 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Упровадження інформаційних технологій у будівельну галузь України є одним із ключових напрямів розвитку інфраструктури, модернізації промисловості та інтеграції у європейський цифровий простір. Проте український ринок має свої характерні особливості, які визначають темпи та специфіку цифровізації. На відміну від розвинених країн Європейського Союзу, де цифрові інструменти стали стандартом у державних і приватних проектах, впровадження IT в Україні відбувається нерівномірно та значною мірою залежить від регіональних, економічних і організаційних чинників.

Сучасний стан цифровізації українського будівництва можна охарактеризувати як стадію активного становлення, коли передові компанії вже успішно інтегрують BIM, CDE, GIS та системи моніторингу, тоді як значна частина підприємств залишається на етапі традиційного документообігу та 2D-проєктування. Рівень цифрової зрілості галузі поки що не є достатнім, але наявна позитивна динаміка, пов’язана з реформою містобудівної сфери, розвитком ЄДЕССБ та гармонізацією українських нормативів з міжнародними стандартами.

4.1 Поточний стан цифровізації будівельної галузі України

Поточний рівень цифровізації будівельної галузі України формується під впливом структурних змін у національній економіці, інтеграції у європейський простір та необхідності підвищення прозорості й ефективності управління будівельними процесами. Хоча впровадження цифрових інструментів у будівництві тривалий час залишалося фрагментарним і локальним, останні роки демонструють суттєве прискорення цифрової трансформації, зумовлене як державними ініціативами, так і запитом бізнесу

на оптимізацію витрат, пришвидшення робіт і мінімізацію помилок на всіх етапах життєвого циклу об’єкта.

Таблиця 4.1 – Рівень цифрової зрілості будівельної галузі України (умовна класифікація)

Рівень	Характеристика	Поточний стан в Україні
0 – Аналоговий	Відсутність цифрових інструментів, паперова документація	Поширено на малих підприємствах
1 – Фрагментарна цифровізація	Використання окремих програм (AutoCAD, Excel), електронного документообігу	Домінує в більшості компаній
2 – Інтегрована цифровізація	Використання BIM, хмарних сервісів, IoT у вибіркових проектах	Великі девелопери та міжнародні компанії
3 – Цифрова екосистема	Автоматизоване управління життєвим циклом будівлі (Digital Twin, повний BIM)	Лише поодинокі випадки
4 – Інноваційна трансформація	Роботизація, штучний інтелект, предиктивна аналітика	Поки відсутній у практиці

Одним із ключових драйверів цифровізації стало створення та розвиток державних електронних сервісів у сфері будівництва – насамперед електронної системи Єдина державна електронна система у сфері будівництва (ЄДЕССБ). Із 2020 року вона забезпечує електронне подання документів для отримання дозволів, реєстрації повідомлень, проведення експертиз та прийняття об’єктів в експлуатацію. Запровадження ЄДЕССБ дало змогу скоротити адміністративні бар’єри, зменшити корупційні ризики та забезпечити відкритість інформації про будівельні процеси. Таким чином, цифрові механізми почали охоплювати не лише етап проектування, а й регуляторну взаємодію учасників ринку.

Важливим показником розвитку цифровізації є поширення BIM-технологій у проектних організаціях та будівельних компаніях України. Попри те, що впровадження BIM поки не є обов’язковою вимогою на рівні державних будівельних норм, значна кількість великих компаній активно переходить до моделювання інформації про будівлю на добровільній основі. BIM використовується насамперед у проєктуванні складних об’єктів, реконструкції промислових споруд, підготовці кошторисів і візуалізації проектних рішень.

Водночас середній та малий бізнес демонструють нижчий рівень цифрової зрілості через обмеженість інвестицій у програмне забезпечення та кадрову підготовку.

Таблиця 4.2 – Поширення ключових цифрових технологій у будівництві України

Технологія	Рівень застосування	Основні сфери використання
BIM	Середній	Проєктування, реконструкція, кошторис
CDE / Хмарні платформи	Середній	Управління документацією, контроль змін
IoT	Низько-середній	Моніторинг стану будівель, енергоменеджмент
GIS	Середній	Містобудування, генпланування, кадастр
БПЛА	Високий	Технічний нагляд, геодезія, картографія
AI та аналітика	Низький	Планування, прогнозування ризиків

Окремої уваги заслуговує зростання ролі хмарних сервісів і платформ спільної роботи (CDE), що забезпечують постійний доступ до проектної документації, ведення змін, комунікацію між учасниками будівництва та контроль прогресу у реальному часі. Під час воєнного стану хмарні технології набули ще більшої актуальності, оскільки дозволили зберігати інформацію у розподіленому середовищі та підтримувати безперервність роботи організацій навіть за умов переміщення персоналу та пошкодження фізичної інфраструктури.

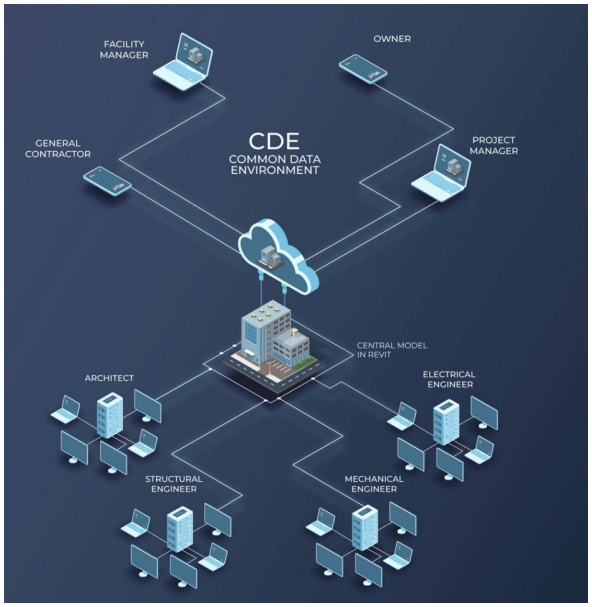


Рисунок 4.1 – Цифрова екосистема сучасного будівництва

Поширення IoT-рішень, цифрових датчиків та систем моніторингу також демонструє позитивну динаміку. Їх застосування у великих житлових комплексах та об’єктах інфраструктури забезпечує автоматизований контроль параметрів мікроклімату, стану конструкцій, енергоспоживання та безпеки. Формується тенденція до використання IoT під час експлуатації будівель, що відповідає світовим моделям «розумної інфраструктури».

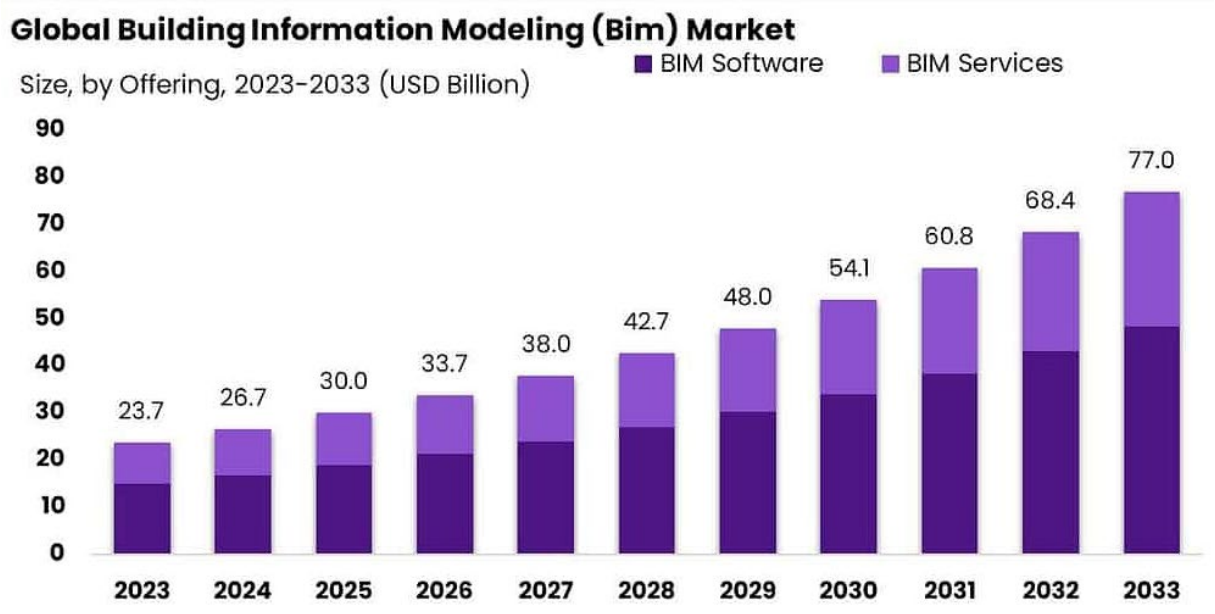


Рисунок 4.2 – Динаміка впровадження BIM в Україні: з 5–7 % у 2018 році до 35–40 % у 2024 році серед професійних проєктних організацій

З поміж інших напрямів цифровізації варто виділити прискорений розвиток геоінформаційних систем (GIS), що використовуються у містобудуванні та плануванні територій, а також активне поширення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для геодезії, авторського й технічного нагляду, обстеження пошкоджених будівель та моніторингу виконання робіт.

Проте, незважаючи на позитивні зрушення, українська будівельна галузь поки не досягла рівня системної цифрової інтеграції, характерної для країн Європейського Союзу. Основними стримувальними чинниками залишаються: недостатній рівень нормативної регламентації цифрових процесів, низький рівень цифрової грамотності персоналу, висока вартість ліцензійного програмного забезпечення, відсутність обов’язкових вимог щодо

застосування BIM у державних закупівлях та обмеженість інвестиційних ресурсів у приватному секторі.

Таким чином, поточний стан цифровізації будівельної галузі України можна визначити як етап активного переходу від окремих цифрових інструментів до формування комплексної системи цифрового будівництва. Цей процес спирається на розвиток державних електронних сервісів, добровільне впровадження BIM, розширення використання хмарних платформ та IoT, а також зростаючий попит на інноваційні підходи до управління життєвим циклом будівель. У найближчі роки очікується посилення нормативної підтримки цифровізації та поступове наближення української практики до європейських стандартів.

4.2 Бар’єри та проблеми впровадження інформаційних технологій у будівельній галузі України

Попри активний розвиток цифрових сервісів та поширення інформаційних технологій, будівельна галузь України стикається з низкою системних бар’єрів, які суттєво уповільнюють цифрову трансформацію. Ці бар’єри мають як організаційний, так і нормативно-технічний характер, а їх подолання потребує комплексних рішень на державному та корпоративному рівнях. У порівнянні з країнами ЄС цифровізація в Україні розвивається нерівномірно, що пов’язано з економічною нестабільністю, обмеженістю інвестиційних ресурсів, недосконалістю регуляторної бази та недостатнім рівнем технологічної готовності учасників ринку.

Одним із ключових стримувальних факторів є відсутність обов’язкових регламентів щодо застосування BIM, цифрових середовищ CDE та автоматизованих платформ управління проєктами. Хоча ЄДЕССБ створює цифровий контур для дозвільних процедур, вона не інтегрована з BIM-моделюванням, а тому інформаційний цикл будівництва часто залишається

розірваним між проектуванням, експертизою та виконанням робіт. У ЄС, зокрема в Німеччині, Данії, Фінляндії, BIM давно використовується у державних закупівлях як обов'язковий інструмент, що сприяє підвищенню прозорості та якості проектів. В Україні ж процес стандартизації лише розпочався.

Другим вагомим бар'єром є дефіцит кваліфікованих кадрів, здатних працювати з сучасними цифровими платформами. Проєктувальники та інженери старших поколінь часто віддають перевагу традиційним підходам, не маючи мотивації переходити до цифрових рішень. Навчальні програми технічних університетів лише частково включають підготовку зі застосування BIM, IoT, GIS або аналітичних цифрових інструментів. У результаті на ринку формується дефіцит спеціалістів, що ускладнює впровадження інновацій навіть у компаніях, які готові інвестувати в цифровізацію.

Важливим обмеженням є й висока вартість ліцензійного програмного забезпечення, передусім BIM-платформ (Autodesk, Bentley, Nemetschek), систем 4D/5D моделювання, аналітичних сервісів AI та комплексних рішень CDE. Для малого та середнього бізнесу вартість впровадження таких платформ інколи є економічно недоцільною. У поєднанні з потребою у високопродуктивному обладнанні та серверній інфраструктурі це формує значний фінансовий бар'єр.

Додатковою проблемою виступає низький рівень цифрової сумісності між учасниками будівельних проектів. Проектні організації, підрядники та замовники часто працюють у різних програмних середовищах, що ускладнює обмін даними, веде до дублювання інформації та помилок. Відсутність стандартів щодо форматів даних та процедур взаємодії між організаціями робить цифрові платформи фрагментованими, а не інтегрованими.

Важливим системним викликом залишається нестабільність інфраструктури та кіберзагрози, що посилилися в умовах війни. Пошкодження обладнання, перебої зі зв'язком і обмеження доступу до обладнання унеможливлюють безперервне використання деяких цифрових платформ. У

таких умовах хмарні сервіси CDE та розподілені сховища відіграють критично важливу роль, проте далеко не всі компанії повністю переходять до цих рішень через питання безпеки та додаткові витрати.

Загалом бар'єри цифровізації в Україні можна розглядати як різнорівневі: організаційні, економічні, нормативні, технологічні та соціальні. Їх комплексний характер вимагає формування державної політики цифрової зрілості та впровадження механізмів стимулювання бізнесу до інновацій. Лише за умов системного підходу цифрові технології зможуть забезпечити підвищення продуктивності, якості та енергоефективності у будівельній галузі.

Таблиця 4.3 – Ключові бар'єри цифровізації будівельної галузі України

Категорія бар'єру	Суть проблеми	Наслідки
Нормативні	Відсутність стандартів BIM, CDE, Digital Twin	Низька сумісність, затримки у впровадженні
Організаційні	Опір змінам, недостатня цифрова культура	Фрагментарне застосування IT
Економічні	Вартість ПЗ, обладнання, навчання	Недоступність інновацій для МСБ
Технологічні	Різні формати даних, несумісність ПЗ	Втрата якості даних, дублювання роботи
Кадрові	Нестача спеціалістів з BIM, IoT, GIS	Залежність від зовнішніх консультантів
Інфраструктурні	Перебої зв'язку, кіберризики	Зниження стабільності цифрових процесів

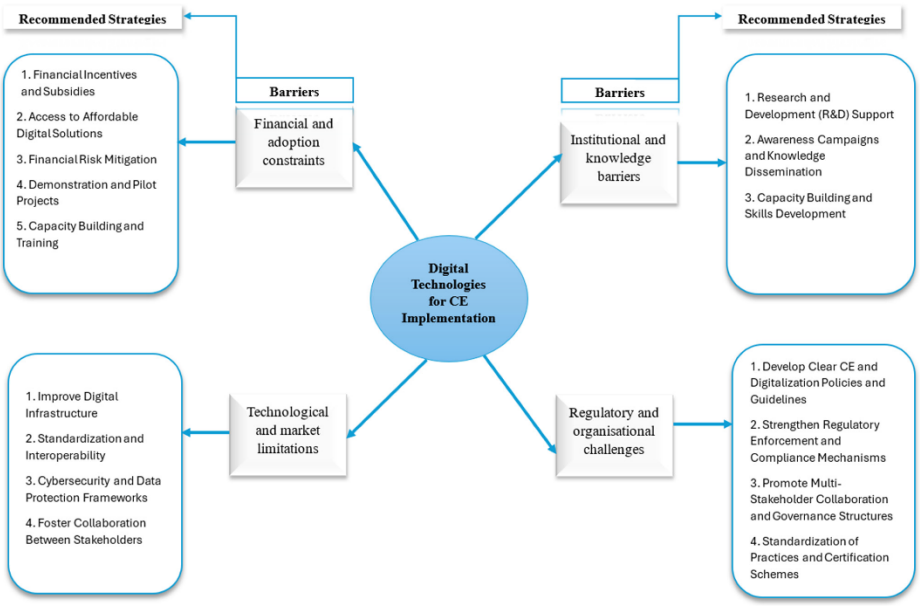


Рисунок 4.3 – Схема бар'єрів цифровізації будівництва

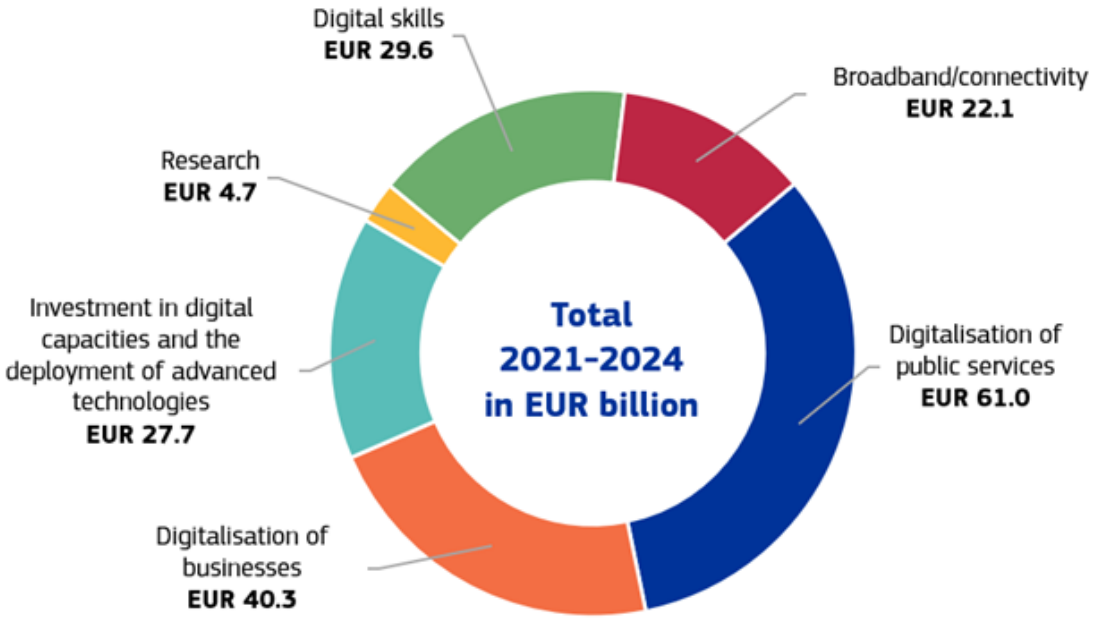


Рисунок 4.4 – Порівняння бар'єрів цифровізації України та країн ЄС

Рисунок 4.4 демонструє, що для України характерні вищі нормативні та економічні бар'єри, тоді як у ЄС основними викликами залишаються стандартизація процесів та забезпечення сумісності даних.

4.3 Економічна ефективність застосування інформаційних технологій

Економічна ефективність упровадження цифрових технологій у будівельних компаніях України є комплексною категорією, що формується за рахунок зменшення витрат, підвищення продуктивності, покращення якості управління та зниження ризиків на всіх етапах життєвого циклу будівельного об'єкта. Сучасні інформаційні рішення – BIM, CDE, IoT, цифрові двійники, машинне навчання та аналітичні платформи – трансформують традиційні підходи до проєктування, виконання робіт та експлуатації споруд. Для українських будівельних підприємств, які працюють в умовах високої вартості матеріалів, дефіциту кваліфікованої робочої сили та постійних ризиків порушення термінів, цифровізація стає одним із найпотужніших інструментів

підвищення економічної стабільності.

Згідно з аналітичними матеріалами, економічний ефект цифрових технологій поділяється на прямий, опосередкований та довгостроковий інтегральний.

Прямий ефект формується безпосередньо у процесі впровадження цифрових інструментів та проявляється у скороченні витрат, пов'язаних із неефективністю, дублюванням операцій чи технічними помилками.

Скорочення переробок та кількості колізій.

Використання BIM-технологій дозволяє скоротити кількість технічних помилок у проєктній документації на 40–60 %, що зменшує витрати на переробки на рівні 3–12 % від загального бюджету будівництва. Для складних об'єктів (промислові комплекси, лікарні, ТРЦ) цей показник може бути ще вищим.

Зменшення управлінських та адміністративних витрат.

Хмарні середовища спільної роботи (CDE) скорочують час погодження документації у 1,5–2 рази, що у грошовому еквіваленті означає економію 10–15 % трудових ресурсів інженерно-технічного персоналу.

Оптимізація обсягів матеріалів.

Завдяки цифровим кошторисам та моделюванню матеріальних потоків перевитрати матеріалів зменшуються на 5–10 %, що особливо важливо в умовах нестабільних ринкових цін в Україні.

Таблиця 4.4 – Прямий економічний ефект цифрових технологій

Напрямок	Економічний результат	Орієнтовний ефект
BIM	↓ технічних помилок, ↓ переробок	3–12 % економії коштів
CDE	↓ часу узгоджень, ↓ дублювання документів	10–15 %
Цифрові кошториси	↓ перевитрат матеріалів	5–10 %
БПЛА	↓ витрат на геодезію	40–60 %

Опосередкований ефект проявляється через зміни у структурі організації будівництва та підвищення загальної ефективності всієї системи управління.

Підвищення продуктивності праці

Цифрові платформи скорочують кількість неефективних операцій (пошук інформації, уточнення креслень, повторні виїзди на майданчик), що підвищує продуктивність на 18–30 %.

Після впровадження BIM-моделювання та цифрового документообігу кількість простоїв інженерного персоналу зменшується на 25–40 %.

Зниження ризиків порушення термінів

Digital Twin та аналітичні платформи забезпечують точне прогнозування:

- відхилень від графіка,
- критичних точок підвищених витрат,
- ризиків затримки постачання матеріалів.

За даними дослідження, використання таких систем дозволяє уникнути до 70 % ризиків, які раніше виявлялися лише на етапі виправлення проблем.

Оптимізація експлуатаційних витрат.

IoT-сенсори, системи моніторингу конструкцій та електронні паспорти будівель зменшують експлуатаційні витрати на:

- 15–25 % – енергоспоживання;
- 20–35 % – аварійні ремонти;
- 10–20 % – планове обслуговування обладнання.

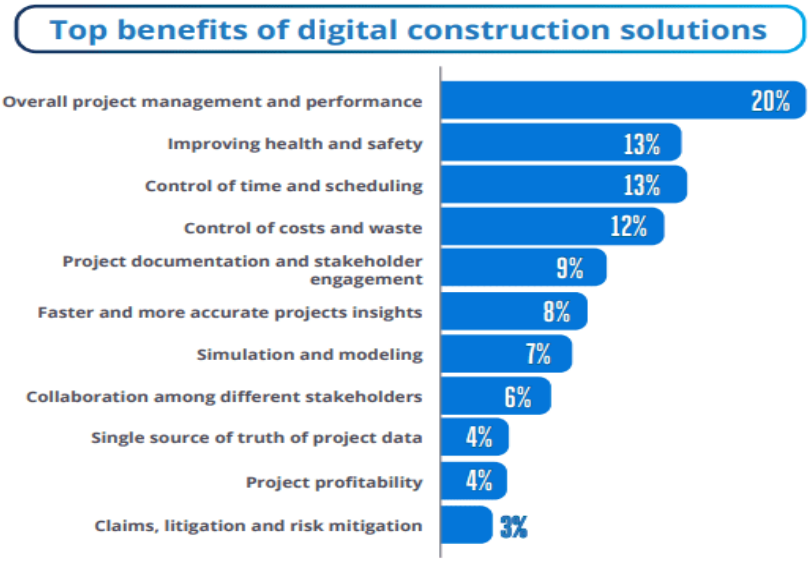


Рисунок 4.5 – Структура економічного ефекту цифровізації (усереднені значення)

Довгострокова економія формується на рівні всього життєвого циклу будівлі та може перевищувати початкові інвестиції у цифровізацію у 4–6 разів. Це досягається завдяки:

- зниженню експлуатаційних витрат,
- підвищенню надійності конструкцій,
- продовженню терміну служби інженерних систем,
- оптимізації ремонту та модернізацій.

Головна перевага цифрових технологій – можливість точно прогнозувати майбутні витрати та уникати несподіваних фінансових навантажень.

Таблиця 4.5 – Інтегральний економічний ефект цифрових рішень

Технологія	Джерело довгострокового ефекту	Економічний результат
IoT	Моніторинг стану конструкцій	↓ аварій, ↓ ремонту
Digital Twin	Прогнозування та оптимізація життєвого циклу	↓ 10–20 % витрат експлуатації
AI/ML	Аналіз великих масивів даних	↓ неефективних витрат
BIM + CDE	Управління будівельними процесами	↑ керованості, ↓ ризиків

Інтегральна модель економічного ефекту цифровізації включає чотири рівні:

1. Технічний рівень – зменшення помилок, оптимізація матеріалів.
2. Організаційний рівень – зменшення простоїв, підвищення продуктивності.
3. Управлінський рівень – прогнозування ризиків, якість рішень.
4. Стратегічний рівень – оптимізація життєвого циклу будівлі.

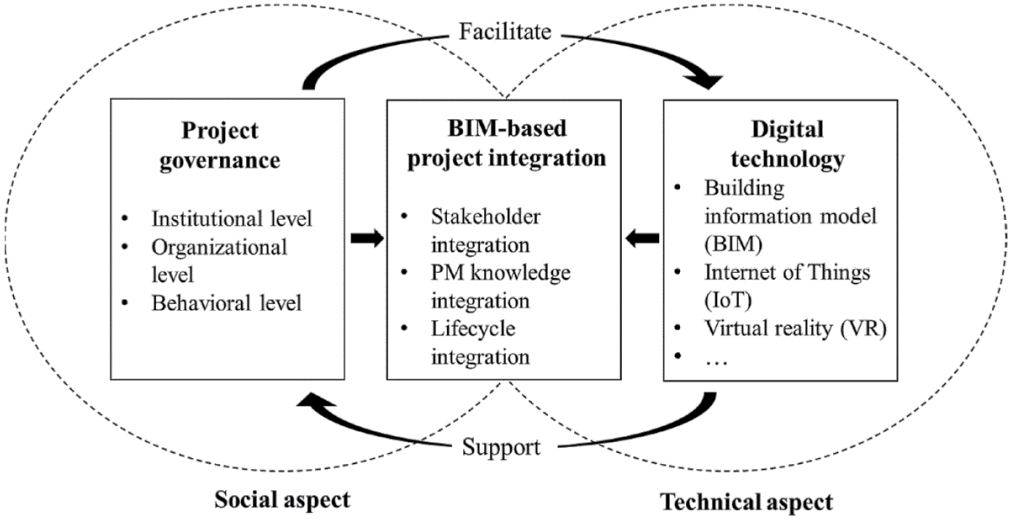


Рисунок 4.6 – Інтегральна модель економічної ефективності цифровізації

Економічна ефективність цифрових технологій у будівництві України проявляється у комплексному зниженні витрат, мінімізації ризиків та підвищенні продуктивності на всіх етапах реалізації проєктів. Цифровізація забезпечує:

- до 12 % економії на переробках;
- до 15 % економії адміністративних витрат;
- до 30 % зростання продуктивності;
- до 35 % скорочення експлуатаційних витрат;
- до 70 % зменшення ризиків;
- до 40–60 % економії на геодезичних роботах.

Сумарний ефект формує довгострокову вигоду, яка багаторазово перевищує витрати на впровадження ІТ.

4.4 Напрями підвищення цифрової зрілості будівельної галузі України

Підвищення цифрової зрілості будівельної галузі є ключовим чинником підвищення її конкурентоспроможності, інноваційності та стійкості в умовах економічних і технічних викликів. Цифрова зрілість визначає рівень інтеграції цифрових технологій у всі бізнес-процеси компанії – від планування та проєктування до звітності, контролю якості та експлуатації будівель. В умовах післявоєнного відновлення України важливість цифрової трансформації зростає в геометричній прогресії, оскільки сучасні підходи до проєктування та реалізації будівництва визначають ефективність використання ресурсів, прозорість процесів та довгострокову надійність споруд.

Відповідно до аналітики ЄС, світових галузевих стандартів та українських дослідників, підвищення цифрової зрілості включає комплекс організаційних, освітніх, технологічних і нормативних заходів. Це не окреме впровадження програмного забезпечення, а системний перехід від фрагментарної цифровізації до повноцінної цифрової екосистеми.

Одним з основних обмежень цифрової трансформації в Україні є низький рівень структурованості процесів у будівельних компаніях. Для ефективного впровадження технологій необхідні зміни в організаційній культурі та управлінській моделі.

Основні напрямки:

1. Формування внутрішньої цифрової стратегії компанії

Це документ, який включає:

- оцінку поточного рівня цифровості;
- цілі цифрової трансформації;
- визначення відповідальних осіб (Digital Manager, BIM Manager);
- пріоритетні напрямки інвестування.

Компанії з прописаною цифровою стратегією в 3–4 рази швидше впроваджують нові технології.

2. Перехід до процесного управління

Перехід від «паперової логіки» до цифрової потребує побудови процесів у вигляді:

- стандартів;
- маршрутів узгоджень;
- єдиних цифрових політик;
- регламентів роботи з даними.

Це забезпечує прозорість, контрольованість і мінімізацію людського фактора.

3. Створення внутрішніх цифрових команд

Для досягнення високої цифрової зрілості компанії мають формувати вузькоспеціалізовані команди:

- BIM-відділи;
- відділи цифрової інженерії;
- служби CDE-менеджменту;
- команди аналітики даних.

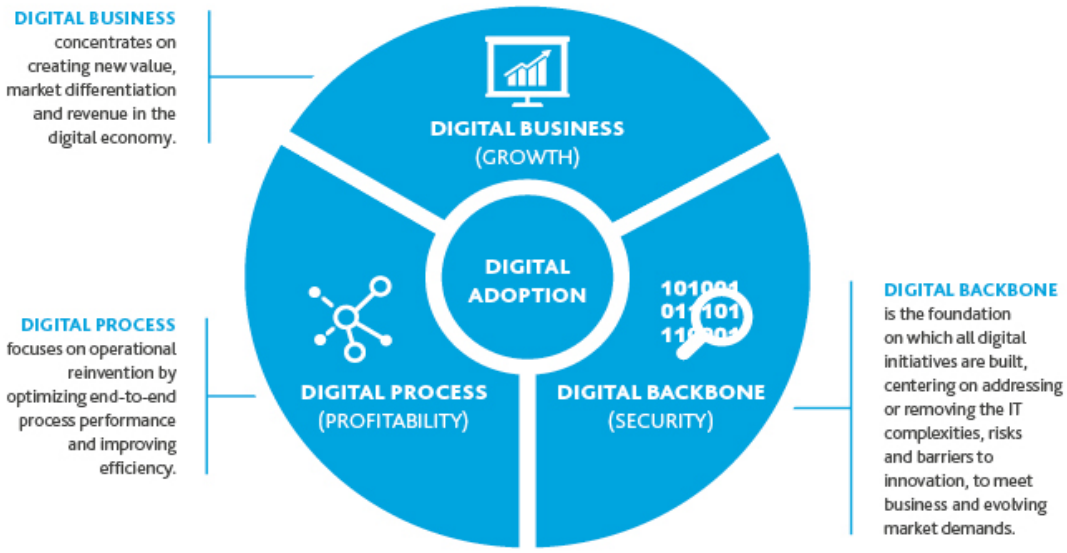


Рисунок 4.7 – Організаційна модель цифрової трансформації будівельної компанії

Одним із найкритичніших бар'єрів цифровізації є кадровий дефіцит. За даними галузевих досліджень, до 65 % українських будівельних компаній вважають нестачу цифрових компетенцій головною перешкодою для впровадження IT-рішень.

Основні напрями розвитку кадрового потенціалу:

1. Підготовка фахівців нового покоління

У системі ЗВО мають активно розвиватися:

- BIM-проєктування;
- CDE-менеджмент;
- цифрова геодезія;
- роботизовані системи;
- інженерія даних (Data Engineering).

2. Корпоративне навчання

Постійне підвищення кваліфікації персоналу:

• внутрішні тренінги;
• міжнародні сертифікації (Autodesk, Graphisoft, Trimble);
• наставництво в реальних проєктах.

3. Залучення спеціалістів зі суміжних сфер

Будівництво потребує:

• дата-аналітиків;

• фахівців зі штучного інтелекту;

• розробників алгоритмічних систем;

• айті-архітекторів.

Фактично, формується новий тип інженера – цифровий інженер (Digital Engineer).

Підвищення цифрової зрілості будівельної галузі України значною мірою залежить від здатності підприємств системно впроваджувати сучасні технологічні рішення, що формують єдине цифрове середовище життєвого циклу будівлі. Рух у напрямі цифрової трансформації не може обмежуватися використанням окремих програм або інструментів – він потребує переходу до комплексної технологічної моделі, у якій дані, процеси та комунікація існують у єдиному інтегрованому цифровому просторі. Центральним елементом цієї моделі є поступовий перехід від традиційних CAD-рішень до BIM-технологій, що визначають основу сучасного цифрового будівництва. Використання BIM-систем не лише забезпечує інтегроване моделювання геометрії об’єкта, але й створює можливість формувати інформаційно насичені моделі, що включають характеристики матеріалів, конструктивні рішення, календарні плани, кошторисні показники та дані для експлуатації. Поступово відбувається перехід від BIM рівня 3D до більш високих рівнів деталізації – 4D, 5D та 6D, які дозволяють пов’язувати модель з графіком виконання робіт, фінансовою складовою та параметрами експлуатаційної ефективності будівлі. У результаті формується передумова для переходу до концепції Digital Twin, тобто цифрового двійника будівлі, який супроводжує об’єкт протягом усього життєвого циклу та забезпечує можливість прогнозування технічного стану, оптимізації витрат і підвищення безпеки експлуатації.

Зростання цифрової зрілості галузі також пов’язане з упровадженням хмарних середовищ спільної роботи (CDE), які стають критично важливими для забезпечення узгодженого функціонування всіх учасників будівельного процесу. Саме CDE дозволяє створити єдине джерело правди – централізовану

платформу, на якій зберігаються всі актуальні версії документів, моделей і креслень. Це мінімізує ризики дублювання інформації, помилок в узгодженні та втрати даних, що традиційно є суттєвими проблемами для будівельних компаній. Використання CDE сприяє суттєвому прискоренню процесів проєктування та сприяє підвищенню прозорості взаємодії між проектувальниками, підрядниками, інвесторами та державними органами. У такий спосіб цифрове середовище спільної роботи стає фундаментом для переходу будівельної галузі від фрагментарної цифровізації до формування цілісної цифрової інфраструктури.

Важливим технологічним напрямом підвищення цифрової зрілості є інтеграція Інтернету речей (IoT) у процеси будівництва та подальшої експлуатації об'єктів. Завдяки розміщенню мережі сенсорів здійснюється постійний моніторинг технічного стану конструкцій, температурно-вологісних режимів, енергоспоживання та інших ключових параметрів. Дані, що збираються в реальному часі, формують основу для оперативного реагування та прогнозної аналітики, дозволяючи зменшувати ймовірність аварійних ситуацій, оптимізувати технічне обслуговування та забезпечувати відповідність експлуатаційних параметрів проєктним вимогам. Використання IoT також забезпечує можливість побудови інтегрованих систем, у яких Digital Twin отримує актуальні дані від сенсорів, що значно підвищує точність моделювання життєвого циклу будівлі.

Технологічна складова цифрової зрілості також охоплює процеси автоматизації та роботизації будівництва. У сучасних проектах усе активніше застосовуються безпілотні літальні апарати для топографічної зйомки та контролю виконання робіт, роботизовані комплекси для зведення конструкцій, автономні технічні системи для транспортування матеріалів і 3D-друк будівельних елементів. Ці інноваційні технології дозволяють суттєво зменшити час виконання окремих видів робіт, підвищити точність, мінімізувати вплив людського фактора та забезпечити можливість виконання будівництва у складних або небезпечних умовах. Крім того, автоматизація

процесів зменшує залежність галузі від нестачі робочої сили, що є одним з актуальних викликів для України в умовах повоєнного відновлення.

Отже, технологічні заходи підвищення цифрової зрілості становлять комплекс взаємопов'язаних рішень, що охоплюють перехід до BIM-, CDE-, IoT- та Digital Twin-технологій, а також запровадження інноваційних автоматизованих систем і роботизованих комплексів. Лише їхнє поетапне та інтегроване впровадження здатне забезпечити перехід галузі до сталого цифрового розвитку, підвищення ефективності будівельних процесів, зменшення витрат і формування якісно нової моделі управління життєвим циклом споруд.

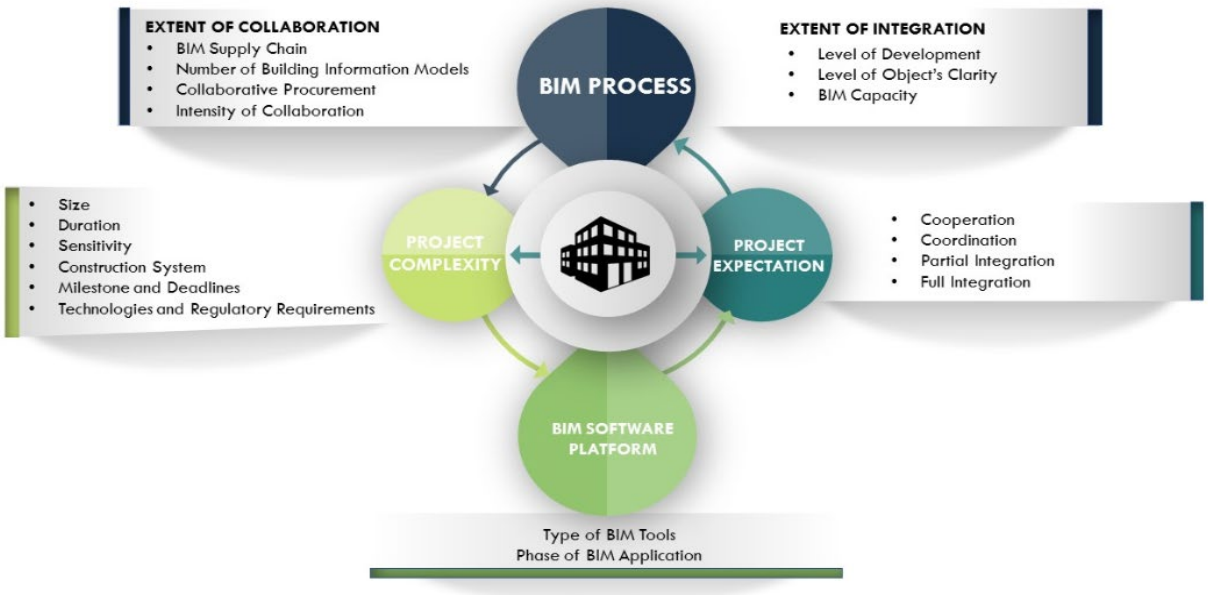


Рисунок 4.9 – Нормативно-правова модель цифровізації будівництва

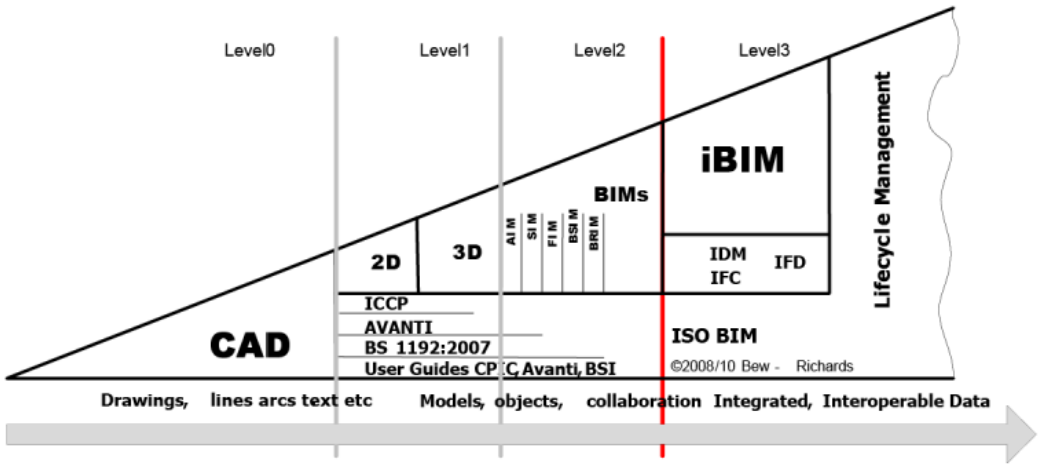


Рисунок 4.10 – Дорожня карта цифрової трансформації (2025–2030)

Підвищення цифрової зрілості будівельної галузі України є неможливим без відповідного розвитку нормативно-правового середовища, яке має забезпечувати стандартизацію цифрових процесів, регламентацію вимог до інформаційних моделей та встановлення прозорих процедур управління даними протягом усього життєвого циклу будівельного об’єкта. Нормативно-правова база виступає фундаментом, що забезпечує однакові правила для всіх учасників ринку, створює передумови для інтеграції сучасних цифрових технологій у державні будівельні процеси та унеможливлює фрагментарний, несистемний характер цифровізації, який домінував у попередні десятиліття.

Ключовим напрямом нормативного розвитку є формування національної системи стандартів BIM, що включає визначення структури інформаційних моделей, рівнів опрацювання моделі, вимог до програмних форматів та засобів колективної роботи з даними. На сьогодні в Україні відсутній повноцінний комплекс нормативів, який визначав би єдині вимоги до створення, передачі та використання BIM-моделей, що ускладнює взаємодію між замовниками, проектувальниками та підрядниками. Розроблення таких стандартів є необхідною умовою для забезпечення сумісності цифрових рішень, появи загальнонаціональних цифрових платформ та впровадження єдиних підходів до електронної експертизи, технічного нагляду, авторського контролю та експлуатації будівель.

Особливе значення має адаптація міжнародних норм, зокрема серії ISO 19650, що регламентує управління інформацією в будівництві на основі BIM. Впровадження цих стандартів дозволяє гармонізувати українські будівельні процеси з європейською практикою, забезпечити конкурентоспроможність українських компаній на міжнародному ринку та створити умови для участі у великих інфраструктурних проєктах, що фінансуються міжнародними організаціями. Відповідність міжнародним стандартам також сприяє розвитку електронних державних сервісів та цифрових платформ, таких як уніфіковане середовище даних або державний реєстр цифрових моделей будівельних проєктів.

Надзвичайно важливим напрямом є оновлення державних будівельних норм (ДБН), у яких має бути чітко зафіксовано вимоги до створення та подання цифрової документації на всіх етапах будівництва. Поступове впровадження норм, що вимагають обов'язкової наявності BIM-моделі для об'єктів певної складності, дозволить підвищити прозорість процедур проєктування й реалізації будівництва та забезпечить уніфікацію підходів у державних і приватних проєктах. Такі зміни також дадуть змогу перейти від традиційної паперової експертизи до електронної моделі перевірки, яка є значно швидшою, точнішою та менш залежною від людського фактора.

Важливою складовою нормативно-правових заходів є формування законодавчої бази для електронного життєвого циклу будівлі. Ідеться про створення електронного паспорта об'єкта, який включатиме BIM-модель, цифрові журнали виконання робіт, акти, схеми інженерних систем, дані з IoT-сенсорів, документи про технічне обслуговування та модернізації. Це дозволяє забезпечити повну простежуваність історії об'єкта та створює умови для якісного управління експлуатаційними витратами. У перспективі електронний паспорт стане обов'язковим елементом для державних і муніципальних споруд, що дозволить формувати цифрову інфраструктуру міст та оптимізувати систему управління нерухомістю.

Нормативно-правові заходи також повинні регламентувати питання кібербезпеки та захисту даних. Оскільки цифрове будівництво передбачає зберігання значних обсягів інформації на хмарних платформах, необхідно встановити єдині вимоги до безпеки обміну інформацією, автентифікації користувачів, контролю доступу та архівування цифрових моделей. Забезпечення надійності цих систем є критично важливим для безперервності будівельних процесів та збереження стратегічно важливих даних.

Узагальнюючи, нормативно-правові заходи є ключем до переходу будівельної галузі України від фрагментарного використання цифрових технологій до повноцінної цифрової екосистеми. Їхня реалізація створює умови для системної трансформації, уніфікації технічних вимог, підвищення

прозорості, безпеки та ефективності будівельних процесів, а також інтеграції українського будівництва у європейський та світовий цифровий простір.

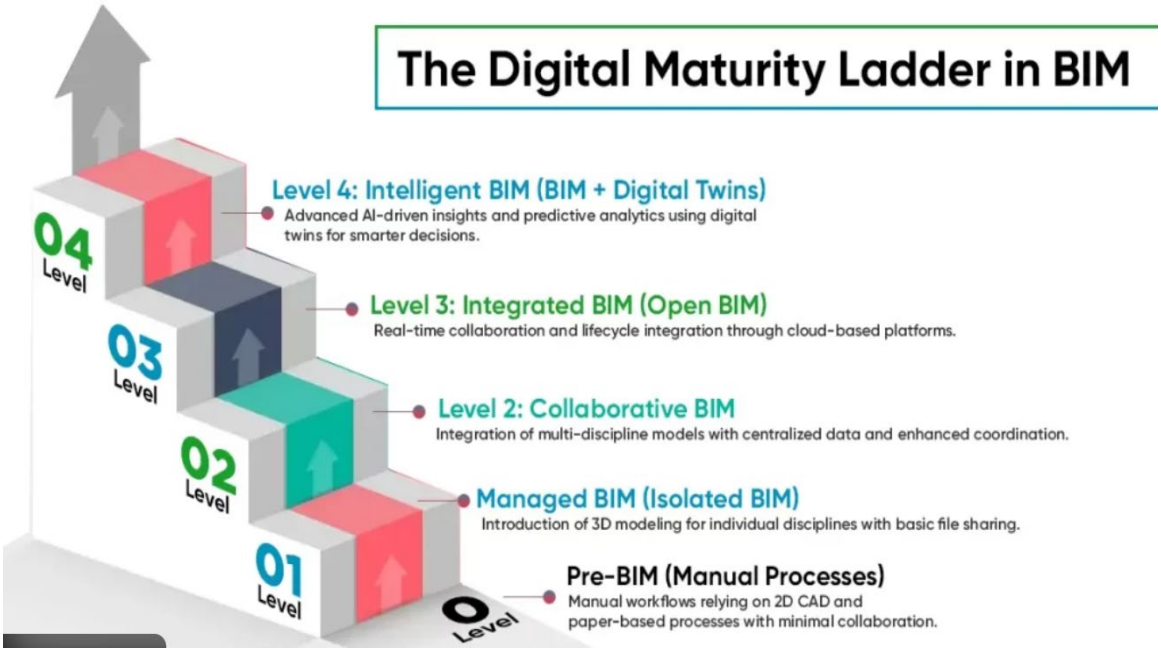


Рисунок 4.11 – Модель розвитку цифрової зрілості будівельної галузі

Підвищення цифрової зрілості будівельної галузі України є стратегічним завданням, що потребує комплексних заходів на рівні держави, компаній та освітніх установ. Лише інтегрований підхід – технологічний, організаційний, кадровий і нормативний – дозволить досягти переходу від фрагментарної цифровізації до повноцінної цифрової екосистеми. Реалізація дорожньої карти цифрової трансформації забезпечить зниження витрат, підвищення якості та швидкості будівництва, прозорість процесів та довговічність споруд, що є особливо важливим у контексті масштабного відновлення України.

ВИСНОВКИ

У ході дослідження, присвяченого впровадженню інформаційних технологій у будівельну галузь, було встановлено, що цифрова трансформація є ключовим фактором модернізації будівельного сектору та підвищення його конкурентоспроможності. Будівництво, яке традиційно вважалося однією з найбільш консервативних галузей, сьогодні проходить суттєві технологічні зміни, що торкаються усіх етапів життєвого циклу об’єкта – від концептуального проєктування до експлуатації та модернізації.

У першому розділі було визначено теоретичні основи цифровізації й охарактеризовано ключові поняття, що формують сучасну інформаційну екосистему будівництва. Доведено, що інформаційні технології є невід’ємною частиною управління даними, моделювання конструкцій, здійснення інженерних розрахунків та організації спільної роботи між учасниками будівельного процесу. Особливу увагу приділено класифікації IT-рішень, включаючи BIM, GIS, CDE, IoT та інтелектуальні аналітичні системи, а також аналізу нормативної бази, яка регламентує цифрове будівництво в Україні та світі.

У другому розділі було зосереджено увагу на сучасних інформаційних технологіях, що активно впроваджуються у будівельну галузь. З’ясовано, що BIM-технології є фундаментом цифрового моделювання та управління будівельними проєктами, забезпечуючи комплексний підхід до координації, аналізу та оптимізації процесів. Показано, що хмарні платформи та середовище спільної роботи формують основу цифрового документообігу, а інтеграція IoT та GIS дозволяє значно підвищити точність планування, безпеку та ефективність виконання робіт. Застосування безпілотних літальних апаратів відкрило нові можливості для моніторингу будмайданчиків, а поєднання даних дронів із BIM-моделями забезпечило створення актуальних тривимірних моделей.

Третій розділ продемонстрував перспективи інноваційного розвитку будівельної галузі, зокрема через інтеграцію штучного інтелекту, цифрових

двійників, роботизації та адитивних технологій. Доведено, що AI має значний потенціал у прогнозуванні ризиків, оптимізації графіків, підвищенні точності контролю якості та мінімізації людського фактору. Технологія Digital Twin стала новим етапом цифровізації: завдяки постійній синхронізації з даними сенсорів цифрові двійники дозволяють моделювати поведінку будівлі у реальному часі, попереджати аварії та забезпечувати ефективне управління експлуатацією. Роботизація, у свою чергу, відкриває шлях до автоматизованого будівництва, а 3D-друк формує концепцію швидкого, ресурсоощадного та екологічного зведення будівель і споруд.

У четвертому розділі проведено аналіз практичних аспектів впровадження цифрових технологій в Україні. Встановлено, що Україна перебуває на стадії активного розвитку цифрової будівельної екосистеми, однак процес цифровізації супроводжується низкою бар'єрів – кадрових, організаційних, технічних та нормативних. Водночас сформовано системне уявлення про економічні переваги застосування цифрових рішень: зниження кількості помилок, скорочення витрат матеріалів, підвищення точності планування та оптимізація експлуатації будівель. Запропоновано напрями підвищення цифрової зрілості галузі, включаючи гармонізацію національних нормативів із міжнародними стандартами, розвиток освітніх програм, удосконалення цифрової інфраструктури та підтримку інноваційних технологій.

Узагальнюючи результати дослідження, можна стверджувати, що впровадження інформаційних технологій є стратегічною умовою розвитку будівельної галузі України та її інтеграції у сучасне глобальне інженерне середовище. Цифрові інструменти забезпечують нову якість управління будівельними процесами, підвищують безпеку, прискорюють реалізацію проєктів і підсилюють конкурентоспроможність українських компаній на міжнародному ринку. Подальший розвиток цифрових технологій дозволить формувати інноваційні підходи до проєктування, будівництва та експлуатації, роблячи будівельну сферу більш ефективною, екологічною та адаптивною до сучасних викликів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз нормативів споживання теплоти в Україні та світі / В. І. Дешко, М. М. Шовкалюк, О. М. Шевченко, Ю. В. Шовкалюк. Нова тема. 2018. № 2. С. 6–10.

2. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила. [Чинний від 2013-08-22]. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 15 с.

3. ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання. [Чинний від 2007-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 47 с.

4. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Вид. офіц. Київ : Укрархбудінформ, 2011. 123 с.

5. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання. [Чинний від 2023-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2023. 156 с.

6. ДСТУ-Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та ГВП. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015. 145 с.

7. ДСТУ Б EN 15217:2013. Енергетична ефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та сертифікації. [Чинний від 2014-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 44 с.

8. ДСТУ Б EN 15603:2013. Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та енергетична оцінка. [Чинний від 2014-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 92 с.

9. ДСТУ EN ISO 52016-1:2021. Енергетична ефективність будівель. Розрахунок теплових потреб та навантажень. [Чинний від 2022-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2022. 210 с.

10. ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання. [Чинний від 2007-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 47 с.

11. ДСТУ ISO 6107-1:2004. Якість води. Словник термінів. Частина 1 (ISO 6107-1:1996, IDT). [Чинний від 2005-04-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 181 с.

12. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Вид. офіц. Київ : Укрархбудінформ, 2011. 123 с.

13. ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014. Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків. [Чинний від 2015-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015. 67 с.

14. Дешко В. І., Шовкалюк М. М., Шевченко О. М., Шовкалюк Ю. В. Аналіз нормативів споживання теплоти в Україні та світі. Нова тема. 2018. № 2. С. 6–10.

15. Фаренюк Г. Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огороджувальних конструкцій. Київ : Гама-Принт, 2019. 216 с.

16. Праховник А. В., Дешко В. І., Шевченко О. М. Енергетична сертифікація будівель. Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2011. № 1. С. 140–153.

17. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 № 1314-VII. Київ : Парлам. вид-во, 2014.

18. Про теплопостачання : Закон України від 02.06.2005 № 2633-IV. Київ : Урядовий кур’єр, 2005.

19. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. Голос України. 2017. № 134. С. 18.

20. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель : Наказ Мінрегіону України від 11.07.2018 № 169. Офіц. вісн. України. 2018. № 55. С. 301.

21. Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності : Наказ Мінрегіону України від 11.07.2018 № 172. Офіц. вісн.

України. 2018. № 55. С. 334.

22. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook. 3rd ed. Hoboken : Wiley, 2018. 674 p.

23. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling for existing buildings. Automation in Construction. 2014. Vol. 38. P. 109–127.

24. Succar B. Building information modelling framework. Automation in Construction. 2009. Vol. 18(3). P. 357–375.

25. Bryde D., Broquetas M., Volm J. The project benefits of BIM. International Journal of Project Management. 2013. Vol. 31(7). P. 971–980.

26. Directive 2010/31/EU on Energy Performance of Buildings. Official Journal of the EU. 2010. L153. P. 13–35.