

**Малихін Михайло Олександрович**

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри організації та управління будівництвом,

<https://orcid.org/0000-0002-9721-2733>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМАТИЗАЦІЇ ТА ЗМІСТУ ДОСЛІДНИЦЬКИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДГОТОВКИ БУДІВНИЦТВА НА ЗАСАДАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ**

**Анотація.** У статті розглядаються актуальні виклики, пов'язані з необхідністю трансформації традиційних підходів до організації дослідницької діяльності в будівельній сфері, зокрема впровадження цифрових технологій та адаптації до умов сучасної цифрової економіки. Особливу увагу приділяється питанням інтеграції інформаційних технологій у процеси управління підготовкою будівництва, що вимагає оновлення інструментальних методів аналізу, моніторингу та прогнозування. Автор акцентує увагу на важливості створення уніфікованих стандартів та класифікаційних систем, які дозволяють забезпечити ефективне використання цифрових ресурсів у плануванні та реалізації будівельних проєктів. Цифровізація сприяє підвищенню точності обчислень, автоматизації процесів збору й обробки даних, а також формуванню інноваційних підходів до взаємодії між учасниками будівельних процесів. Зазначено, що такі зміни вимагають не лише технічного переоснащення, а й розроблення нових методологій аналізу й прийняття рішень, орієнтованих на цифрову реальність. Дослідження також охоплює аналіз ключових проблем, які виникають під час впровадження цифрових технологій у будівельну галузь, включно з питаннями забезпечення безпеки даних, інтероперабельності систем та оптимізації процесів передавання інформації. Важливим аспектом роботи є вивчення впливу цифрових інструментів на скорочення витрат, зменшення ризиків та підвищення загальної ефективності підготовчих етапів будівельних проєктів. Результати дослідження мають на меті створення теоретичної бази для розроблення інноваційних підходів до систематизації дослідницьких інструментів, а також формування методичних рекомендацій щодо їх практичного застосування. Робота орієнтована на забезпечення сталого розвитку будівельної галузі шляхом впровадження інструментів цифрової економіки, що дозволяє оптимізувати процеси підготовки будівництва, підвищуючи їх якість, швидкість і прозорість. Особливу увагу приділено формуванню цифрових репозитаріїв знань, адаптивних аналітичних панелей та вбудованих алгоритмів, здатних навчатися на основі накопиченої інформації. Це створює передумови для створення самонавчальних систем управління, що підвищують стійкість галузі в умовах швидких технологічних змін.

**Ключові слова:** модернізація; систематизація; дослідницькі інструменти; будівництво; цифровізація; класифікація; цифрова економіка; аналітика; управління; автоматизація

**Постановка проблеми**

Робота спрямована на вдосконалення підходів до класифікації та використання інструментів дослідження в підготовці будівельних процесів в умовах цифрової трансформації. Цифровізація будівництва спричиняє радикальні зміни в організації проєктного циклу, що потребує оновлення методологічного апарату та впровадження інноваційних рішень, орієнтованих на швидкість, точність і аналітичну гнучкість.

Метою дослідження є розроблення концептуальної основи модернізації дослідницьких інструментів з урахуванням цифрових технологій. Це

передбачає ідентифікацію проблем цифровізації, формування адаптивної класифікації інструментів та підготовку методичних рекомендацій щодо їх застосування в аналітиці, плануванні й управлінні будівництвом.

Аналіз охоплює вплив цифрових платформ, BIM-систем, автоматизованих модулів оцінки ризиків і планування, а також нормативно-правові аспекти їх використання. Особлива увага приділяється бар'єрам цифровізації — зокрема проблемам кібербезпеки, нестачі галузевих стандартів і кадрової компетентності. Результати спрямовані на формування системного підходу до цифрового управління підготовчим етапом будівельних проєктів.

### Мета статті

Дослідження присвячене обґрунтуванню підходів до модернізації систематизації та змісту дослідницьких інструментів, які використовуються в процесі підготовки будівництва, з урахуванням актуальних викликів цифрової трансформації. У роботі розглядається необхідність інтеграції новітніх цифрових технологій – зокрема аналітичних платформ, інтелектуальних систем прийняття рішень, цифрових репозитаріїв та адаптивних панелей управління – у процеси проєктного аналізу, моніторингу та передпроєктної оцінки.

Наголос зроблено на пошуку ефективних рішень для уніфікації та структуризації дослідницьких методів, які відповідають умовам цифрової економіки. Такий підхід дозволяє забезпечити високу швидкість обробки інформації, прозорість процедур, узгодженість між суб'єктами проєктного циклу та підвищення якості планування.

Також аналізуються потенціали використання машинного навчання, цифрових класифікацій, систем інтероперабельності та хмарних обчислень у розробленні інструментів нового покоління. Результати спрямовані на створення методологічної бази для глибокої трансформації будівельного менеджменту на етапі підготовки, орієнтованої на сталий розвиток та технологічну адаптивність галузі.

### Аналіз основних досліджень і публікацій

Упродовж останнього десятиліття в науковій літературі простежується зростаюча увага до трансформації методів управління будівництвом крізь призму цифровізації. У фахових дослідженнях зосереджено увагу на необхідності оновлення системи підготовки будівельних проєктів з використанням цифрових моделей даних, автоматизованих платформ керування проєктами (PMIS) та інтелектуальних систем аналітики. Особливий акцент ставиться на сумісності платформ, інтеграції BIM-підходів і застосуванні багаторівневої верифікації проєктних рішень, що дозволяє зменшити ризики та підвищити точність проєктування.

Зарубіжні автори, зокрема А. Боррманн, Р. Сакс та інші, обґрунтовують як теоретично, так і практично впровадження цифрових репрезентацій в фазах планування та моделювання будівництва [21; 22]. У фокусі їхніх досліджень – формування гнучких цифрових середовищ, які забезпечують моделювання ресурсів, термінів, ризиків та витрат в межах єдиного інформаційного простору. Низка публікацій наголошує на потребі перегляду наявних класифікацій і систем дослідницької стандартизації відповідно до міжнародних вимог ISO і IFC.

У працях таких дослідників, як М. Суккар та Ч. Чжан, розкрито перспективи використання цифрових двійників, контекстуального аналізу й еталонного моделювання як інструментів підвищення точності дослідницьких результатів. Вони пропонують відкриті аналітичні платформи, що містять уніфіковані структури запитів, бази знань та шаблони порівняльного аналізу, які забезпечують узгоджене функціонування всіх компонентів дослідницького середовища [23; 24].

### Виклад основного матеріалу

У контексті цифровізації економіки будівельна галузь зазнає системних трансформацій, що зумовлюють необхідність перегляду підходів до управління підготовчими процесами. Одним із ключових елементів ефективної підготовки будівництва виступають дослідницькі інструменти, здатні забезпечити оптимізацію аналізу, планування та прогнозування. Традиційні методи втрачають релевантність у зв'язку зі зростанням обсягів даних, складністю проєктів та необхідністю оперативного ухвалення рішень, що актуалізує потребу в їхній модернізації на засадах цифрових технологій.

Інтеграція цифрових рішень – таких як хмарні платформи, великі дані та автоматизовані системи – забезпечує точність розрахунків, автоматизацію рутинних процедур і міжпроєктну комунікацію. Впровадження таких технологій сприяє підвищенню прозорості, ефективному управлінню ресурсами та зменшенню ризиків на всіх етапах підготовки.

Цифрові інструменти суттєво змінюють не лише структуру дослідницького забезпечення, а й методологію управління. Їхня функціональність посилюється за рахунок штучного інтелекту, машинного навчання та аналітики великих даних. Зокрема, системи BIM стають інтегрованим ядром управлінського середовища, забезпечуючи скорочення термінів проєктування, підвищення точності технічних рішень і мінімізацію людського фактору. Таким чином, цифровізація формує нову парадигму дослідницького супроводу будівництва, орієнтовану на адаптивність, комплексність і стратегічну ефективність.

Процес цифровізації також впливає на стандарти обміну даними. В рамках будівельної галузі все більше уваги приділяється уніфікації форматів інформації, що передається між учасниками проєкту. Це забезпечує не лише зручність взаємодії, а й підвищує точність та надійність прийняття рішень. Наприклад, створення єдиної інформаційної моделі будівлі, яка включає геометричні дані, дані про матеріали та фінансові аспекти, дозволяє забезпечити цілісність і узгодженість інформації на всіх етапах будівництва. На рис. 1 зображено концепцію цифрового будівництва.

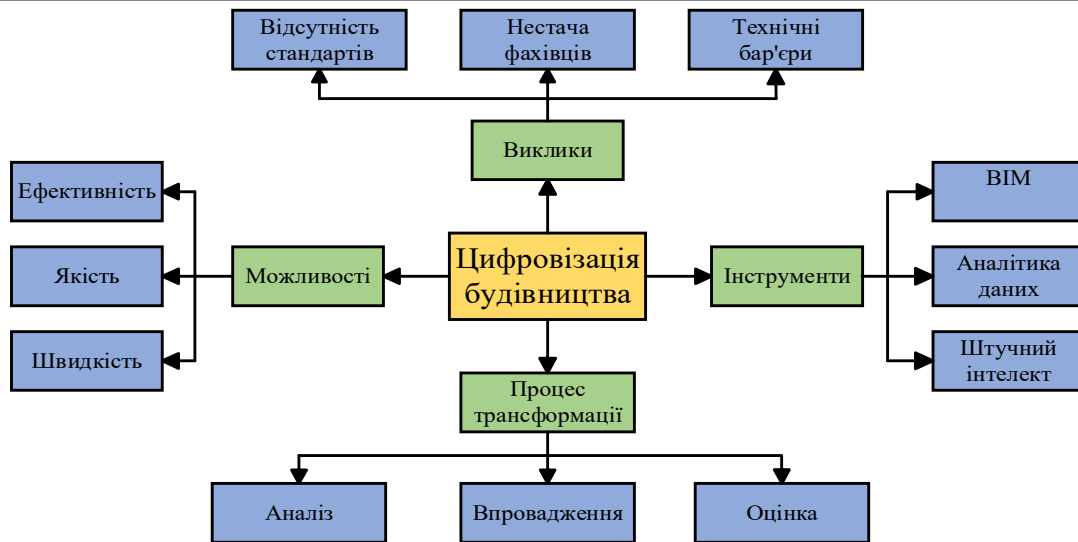


Рисунок 1 – Концепція цифрового будівництва

Розроблено автором на основі [1].

Цифровізація не тільки змінює структуру і функціональність дослідницьких інструментів, а й відкриває нові можливості для ефективного управління даними та процесами в будівництві. Завдяки інтеграції передових технологій, таких як BIM, а також використанню машинного навчання та хмарних платформ, відбувається значний перехід до більш комплексних і інтегрованих підходів, що дозволяють знижувати ризики та підвищувати ефективність проектів. Тому важливим є розуміння того, як ці нові інструменти змінюють процеси управління будівництвом і допомагають адаптуватися до вимог сучасної індустрії [2].

Цифрові інструменти впливають на якість моделювання будівельних процесів. Сьогодні інженери мають можливість створювати високоточні моделі, що враховують широкий спектр факторів, включно з геологічними, кліматичними, екологічними та економічними параметрами. Це дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з проектуванням, та забезпечує надійну основу для ухвалення управлінських рішень. Наприклад, використання хмарних технологій та алгоритмів машинного навчання дозволяє проводити розрахунки в реальному часі, що значно скорочує час підготовки до реалізації проекту [3].

Однією з ключових проблем, які вирішуються за допомогою цифровізації, є автоматизація аналізу даних. У традиційній системі дослідницькі інструменти вимагали значного залучення людських ресурсів для обробки та інтерпретації даних. Це спричиняло підвищений ризик виникнення помилок та затримок. Сучасні цифрові платформи, такі як Navisworks, Revit та ArchiCAD, здатні виконувати автоматичний аналіз великих масивів інформації, надаючи користувачам результати у зручному та зрозумілому форматі.

Співвідношення, що ілюструє вплив автоматизації на продуктивність процесів підготовки будівництва, можна виразити так:

$$K = \frac{D \times R}{N}, \quad (1)$$

де  $K$  – продуктивність процесів,  $D$  – обсяг інформації, що підлягає аналізу,  $R$  – рівень автоматизації,  $N$  – людські ресурси, залучені до процесу.

Отже, після того як цифрові інструменти значно вдосконалюють моделювання та аналіз будівельних процесів, настає час розглянути, як ці технології інтегруються в загальну систему підготовки будівництва [4].

Завдяки системній інтеграції цифрових рішень, процеси, пов'язані з проектуванням, виконанням робіт і управлінням ресурсами, можуть бути ефективно об'єднані в єдину інформаційну модель, що відкриває нові можливості для оптимізації та покращення результативності будівельних проектів [5].

Системна інтеграція цифрових інструментів стала ключовим фактором у модернізації підготовки будівництва. У цьому контексті інтеграція означає створення єдиного середовища, в якому всі процеси, починаючи від розроблення проектної документації та закінчуючи управлінням будівництвом, виконуються на основі цифрових рішень. Це не лише спрощує взаємодію між учасниками проекту, а й дозволяє оптимізувати використання ресурсів та підвищити загальну ефективність.

Сучасні цифрові інструменти пропонують широкий спектр можливостей для інтеграції. Одним із найяскравіших прикладів є платформи Building Information Modeling (BIM), які дозволяють поєднати дані з різних етапів життєвого циклу будівельного проекту. У системі BIM дані проектування, фінансування, постачання матеріалів і управління

будівельними процесами об'єднуються в єдину інформаційну модель, доступ до якої мають усі учасники проєкту. Це забезпечує прозорість і синхронізацію дій між різними сторонами.

Інтеграція цифрових інструментів також впливає на структуру робочих процесів. У традиційних моделях управління будівництвом значна частина часу витрачалася на обмін даними між різними системами та командами. У цифровій моделі цей процес значно спрощується завдяки використанню інтегрованих платформ. Наприклад, програмне забезпечення типу Revit дозволяє інженерам, архітекторам і менеджерам працювати з однією інформаційною базою, що виключає дублювання даних і знижує ризик помилок.

Окрему увагу слід приділити питанням забезпечення сумісності між різними цифровими інструментами. Для цього використовуються стандарти обміну даними, такі як IFC (Industry Foundation Classes) та gbXML (Green Building XML). Вони забезпечують можливість передавання інформації між різними програмними продуктами без втрати якості даних. Це особливо важливо у випадках, коли в проєкті задіяно кілька компаній, кожна з яких використовує своє власне програмне забезпечення [6].

Інтеграція цифрових інструментів також сприяє більш точному прогнозуванню витрат та термінів реалізації проєктів. Для цього використовуються спеціалізовані модулі, що дозволяють автоматично розраховувати бюджети та створювати графіки виконання робіт. Ще одним важливим аспектом інтеграції є використання хмарних технологій. Вони забезпечують доступ до інформації в режимі реального часу, що є критично важливим у динамічному середовищі будівництва. Наприклад, хмарні платформи дозволяють команді, розташованій у різних географічних точках, працювати з однією базою даних, забезпечуючи синхронність дій та оперативність прийняття рішень.

Використання інтегрованих цифрових платформ також сприяє більш ефективному управлінню ризиками. Застосування аналізу сценаріїв та прогнозних моделей дозволяє виявити потенційні проблеми на ранніх етапах проєкту та розробити стратегії їх вирішення. Наприклад, використання систем автоматичного моніторингу дозволяє виявляти відхилення у виконанні будівельних робіт у режимі реального часу та вживати заходів для їх корекції. На рис. 2 зображено модель взаємодії цифрових інструментів у процесі будівництва.

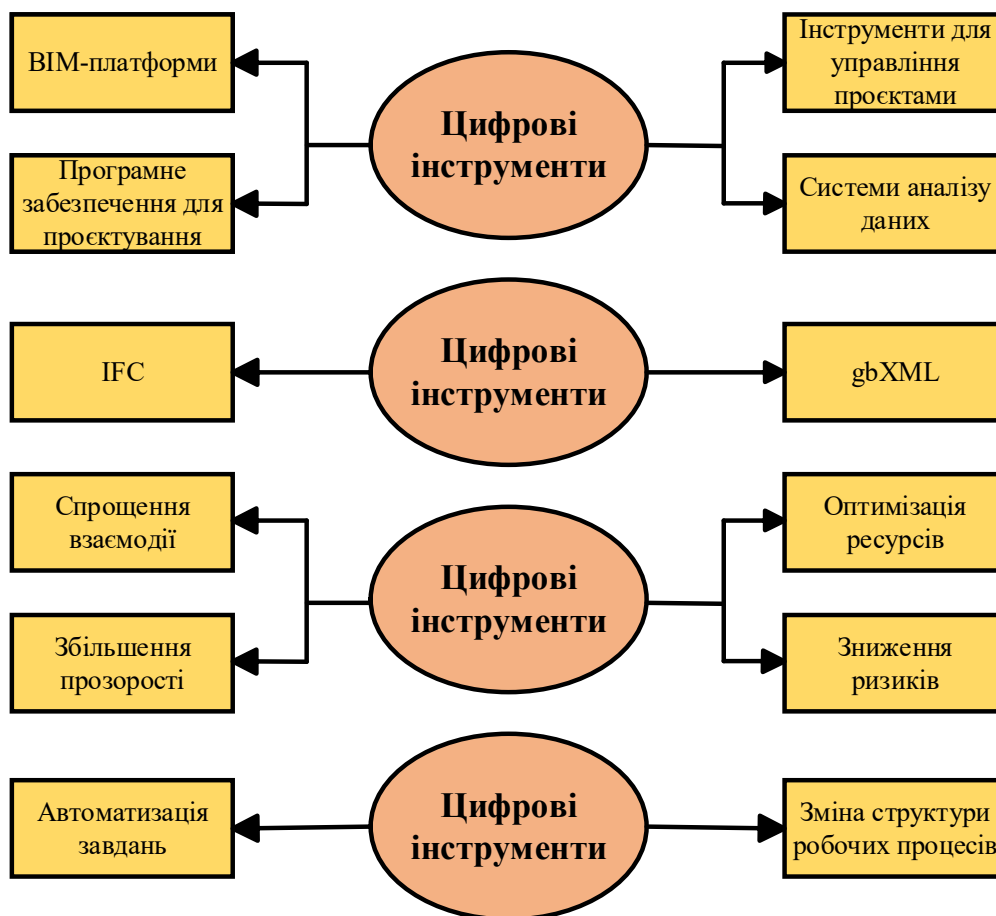


Рисунок 2 – Схема інтеграції цифрових рішень у будівництві  
Розроблено автором на основі [2].

Системна інтеграція цифрових інструментів є невід'ємною складовою модернізації підготовки будівництва. Вона створює умови для більш ефективної взаємодії між учасниками проекту, забезпечує точність та прозорість процесів і сприяє підвищенню загальної ефективності будівельних проектів. У наступній главі буде розглянуто економічні аспекти впровадження цифрових інструментів та їхній вплив на витрати і продуктивність будівельних підприємств [7].

З урахуванням значення системної інтеграції цифрових інструментів у процесах будівництва, наступним важливим кроком є аналіз економічних аспектів їхнього впровадження. Впровадження таких технологій не тільки покращує точність і ефективність управлінських процесів, а й безпосередньо впливає на зниження витрат та підвищення продуктивності, що вкрай важливо для успіху будівельних проектів у сучасному світі. У наступному розділі буде детально розглянуто, як цифровізація може сприяти оптимізації витрат і підвищенню економічної ефективності будівництва.

Впровадження цифрових інструментів у процеси підготовки будівництва є стратегічно важливим з точки зору економічної ефективності. Цифровізація дозволяє значно скоротити витрати, пов'язані з проектуванням, управлінням ресурсами та реалізацією будівельних проектів. Економічні аспекти цього процесу варто розглядати через призму оптимізації витрат, зменшення ризиків і підвищення рентабельності будівельних проектів [8].

Одним із основних джерел економії є автоматизація рутинних завдань. Традиційні методи підготовки будівництва вимагають значного обсягу ручної роботи, що підвищує ризик помилок та уповільнює виконання завдань. Використання цифрових платформ, таких як AutoCAD, Revit або Navisworks, дозволяє автоматизувати створення проектної документації, розрахунок кошторисів та моделювання будівельних процесів.

Ще одним важливим економічним фактором є зниження вартості усунення помилок у проектуванні та будівництві. Згідно з дослідженнями, до 30% витрат у будівельних проєктах пов'язані з виправленням помилок, що виникають через недостатню узгодженість між проектною документацією та реальними будівельними процесами. Використання BIM-технологій дозволяє проводити комплексний аналіз проєктів ще на етапі їхньої підготовки, виявляючи потенційні проблеми до початку будівництва. Економічну ефективність цифровізації також можна розглядати через зниження адміністративних витрат. Традиційні методи управління проєктами вимагають значних витрат на координацію між командами, складання звітів та інші організаційні задачі. Цифрові

платформи забезпечують автоматизацію цих процесів, звільняючи ресурси для виконання більш складних і стратегічно важливих завдань.

В таблиці показано, як цифрові підходи до підготовки будівництва знижують витрати та підвищують ефективність у порівнянні з традиційними.

*Таблиця – Порівняння традиційних методів та цифрових інструментів у підготовці будівництва (розроблено автором на основі [8])*

| Параметр                    | Традиційні методи | Цифрові інструменти |
|-----------------------------|-------------------|---------------------|
| Час на підготовку проєкту   | 6–12 місяців      | 3–6 місяців         |
| Точність розрахунків        | Низька            | Висока              |
| Витрати на усунення помилок | Високі            | Низькі              |
| Рівень автоматизації        | Мінімальний       | Високий             |

Впровадження цифрових інструментів також сприяє підвищенню рентабельності будівельних підприємств. Це пов'язано з тим, що цифровізація дозволяє зменшити операційні витрати, оптимізувати використання ресурсів та покращити якість кінцевого продукту. Наприклад, використання хмарних технологій забезпечує зменшення витрат на IT-інфраструктуру, оскільки компанії можуть орендувати необхідні ресурси замість придбання дорогого обладнання [9].

Технічна сторона впровадження цифрових інструментів у підготовку будівництва є не менш важливою, ніж економічна. Забезпечення ефективного функціонування сучасних цифрових платформ вимагає розроблення та адаптації відповідної інфраструктури, що включає апаратне забезпечення, програмні рішення, канали передавання даних і стандарти обміну інформацією. У цьому контексті технічні аспекти охоплюють не лише створення технологічного базису, а й інтеграцію новітніх технологій, таких як штучний інтелект, хмарні обчислення та IoT [10].

Хмарні обчислення є ще одним важливим компонентом технічної інфраструктури цифровізації. Вони забезпечують доступ до даних і обчислювальних ресурсів з будь-якої точки світу, що є критично важливим для координації роботи команд, розташованих у різних регіонах. Крім того, хмарні технології дозволяють зменшити витрати на локальне обладнання, оскільки компанії можуть орендувати необхідні ресурси у провайдерів.

Штучний інтелект та алгоритми машинного навчання відкривають нові можливості для автоматизації аналізу даних і прийняття рішень.

Наприклад, AI може використовуватися для прогнозування потенційних проблем на основі аналізу історичних даних або для оптимізації графіків виконання робіт.

Важливим є і захист даних. Оскільки будівельні проекти генерують значні обсяги конфіденційної інформації, забезпечення її безпеки є пріоритетом. Використання технологій шифрування, розподілених систем зберігання даних і багатоетапної автентифікації користувачів дозволяє мінімізувати ризики кіберзагроз.

Важливим елементом технічної інфраструктури є створення цифрових близнюків – віртуальних моделей реальних об'єктів, які дозволяють проводити симуляції та аналіз без необхідності фізичного втручання. Це особливо корисно для тестування інноваційних рішень і прогнозування впливу різних факторів на кінцевий результат.

Для забезпечення ефективного впровадження цифрових рішень необхідно також звернути увагу на підготовку персоналу. Це включає навчання працівників використанню нових інструментів, розвиток навичок роботи з даними та підвищення рівня цифрової грамотності. Компанії, які інвестують у розвиток персоналу, отримують не лише технічну перевагу, а й підвищують загальну продуктивність [11].

Технічні аспекти впровадження цифрових рішень у будівництві охоплюють широкий спектр завдань – від вибору апаратного забезпечення до створення інноваційних платформ управління проектами. Їхня правильна реалізація дозволяє не лише підвищити ефективність процесів, а й створити базис для інноваційного розвитку галузі. У наступній главі буде детально розглянуто питання підвищення інноваційного потенціалу будівельних підприємств у контексті цифровізації.

Цифровізація є не лише засобом модернізації наявних процесів, а й потужним інструментом для стимулювання інновацій у будівельній галузі. У сучасних умовах конкуренції та стрімкого розвитку технологій будівельні підприємства змушені шукати нові шляхи підвищення своєї ефективності, гнучкості та адаптивності. Інноваційний потенціал стає ключовим фактором, що визначає здатність компаній не лише залишатися на ринку, а й досягати лідерських позицій.

Одним із головних напрямків розвитку інноваційного потенціалу є інтеграція цифрових технологій у всі етапи життєвого циклу будівельних проектів. Наприклад, впровадження BIM-систем (Building Information Modeling) дозволяє знизити ризики, пов'язані з прорахунками на етапі проєктування, що своєю чергою сприяє впровадженню новаторських рішень. Інноваційний потенціал також значною мірою залежить від рівня цифрової трансформації управління підприємством.

Використання сучасних ERP-систем (Enterprise Resource Planning) дозволяє не лише оптимізувати внутрішні процеси, а й створювати умови для впровадження нових ідей. Наприклад, такі платформи, як SAP або Oracle Primavera, забезпечують інтеграцію фінансових, операційних та аналітичних даних, що дозволяє приймати стратегічно обґрунтовані рішення та оперативно адаптуватися до змін ринкових умов.

Ключовим елементом підвищення інноваційного потенціалу є впровадження концепції сталого розвитку. В умовах глобального потепління та виснаження природних ресурсів будівельні підприємства зобов'язані приділяти увагу екологічним аспектам своєї діяльності. Цифрові інструменти дозволяють аналізувати вплив будівельних проектів на навколишнє середовище та розробляти екологічно безпечні рішення. Наприклад, цифрові близнюки можуть використовуватися для моделювання енергоспоживання будівель, що сприяє оптимізації витрат та зменшенню вуглецевого сліду [12].

Використання цифрових технологій значно спрощує проведення експериментів, тестування нових матеріалів і технологій. Наприклад, за допомогою програмного забезпечення для структурного аналізу, такого як ANSYS, можна моделювати поведінку конструкцій під впливом різних навантажень, що дозволяє скоротити час і витрати на експериментальні дослідження.

Взаємозв'язок інноваційного потенціалу і рівня цифровізації відображається у співвідношенні:

$$P=(V \times B)/(N \times I), \quad (2)$$

де  $P$  – інноваційний потенціал,  $V$  – рівень цифровізації технологій,  $B$  – інвестиції у дослідження та розроблення,  $N$  – витрати на впровадження інновацій,  $I$  – час, необхідний для реалізації інноваційних проектів.

Ця формула показує, що інноваційний потенціал зростає за рахунок підвищення рівня цифровізації та інвестицій у дослідження, одночасно зменшуючи витрати та час на реалізацію.

Інноваційний розвиток також вимагає висококваліфікованого персоналу, здатного працювати з сучасними цифровими технологіями. Це потребує впровадження програм підвищення кваліфікації, організації тренінгів і сертифікації спеціалістів. Знання та навички персоналу стають одним із головних активів, які визначають конкурентоспроможність підприємства на ринку [13].

Для подальшого розвитку інноваційного потенціалу будівельних підприємств необхідно інтегрувати сучасні цифрові інструменти на кожному етапі життєвого циклу проєкту. Практичне застосування таких технологій дозволяє не лише оптимізувати управлінські процеси, а й значно покращити якість та ефективність виконання робіт,

що безпосередньо впливає на досягнення сталого розвитку та конкурентоспроможності в умовах цифровізації.

Цифрові інструменти також активно застосовуються для управління ресурсами. Наприклад, платформи для моніторингу матеріалів дозволяють відстежувати наявність і рух матеріалів на складі, запобігаючи їхній нестачі або надлишку [14].

Ще одним важливим напрямком є використання технологій доповненої реальності (AR) та віртуальної реальності (VR). Ці технології дозволяють створювати віртуальні моделі об'єктів, які допомагають візуалізувати процеси будівництва, проводити навчання персоналу або тестувати рішення ще до їхньої реалізації.

Оперативний обмін інформацією між учасниками проекту забезпечується через цифрові комунікаційні платформи, такі як Microsoft Teams, Slack або Zoom. Ці інструменти дозволяють організовувати зустрічі, обговорювати деталі проекту та ділитися документами в режимі реального часу. На етапі експлуатації об'єктів цифрові технології використовуються для моніторингу їхнього стану та планування обслуговування. Практичне впровадження цифрових інструментів дозволяє значно підвищити ефективність усіх етапів будівельного процесу. Успішне впровадження цифрових технологій на етапі підготовки будівельного майданчика створює основу для подальшого вдосконалення процесів у будівництві. Водночас застосування штучного інтелекту відкриває нові можливості для автоматизації, аналізу та прогнозування, що дозволяє оптимізувати різні етапи будівництва, від проєктування до моніторингу виконання робіт у реальному часі.

Штучний інтелект (ШІ) стає ключовим інструментом цифрової трансформації в будівництві,

забезпечуючи аналіз великих даних, прогнозування ризиків та автоматизацію складних процесів. Одним з важливих напрямів його застосування є управління ризиками на основі історичних даних: алгоритми машинного навчання здатні виявляти закономірності, що призводять до затримок чи перевищення бюджету, і пропонувати рішення для уникнення таких ситуацій [15].

Іншою важливою сферою є автоматизоване проєктування. Генеративний дизайн дозволяє створювати численні варіанти конструкцій за заданими критеріями – вартістю, енергоефективністю, обмеженням простору – і обирати найбільш оптимальні. Наприклад, Autodesk Generative Design автоматизує пошук найкращих архітектурних рішень.

ШІ також ефективний у моніторингу будівельних майданчиків у реальному часі. Технології комп'ютерного зору аналізують відеопотоки для виявлення порушень безпеки, відстеження прогресу або контролю якості матеріалів. Такі системи покращують нагляд і зменшують вплив людського фактору.

Завдяки глибокому навчанню ШІ може прогнозувати потребу в матеріалах, робочій силі та техніці, запобігаючи простоям і перевитратам. Водночас застосування IoT-сенсорів у поєднанні з алгоритмами ШІ дає змогу своєчасно виявляти дефекти, наприклад, у бетоні, шляхом аналізу вібрацій або звуків. Це підвищує якість та надійність об'єктів.

Рис. 3 ілюструє інтеграцію різних ШІ-технологій у будівельну сферу, показуючи, як вони взаємодіють і змінюють традиційні підходи до проєктування, реалізації та контролю будівельних процесів [17].

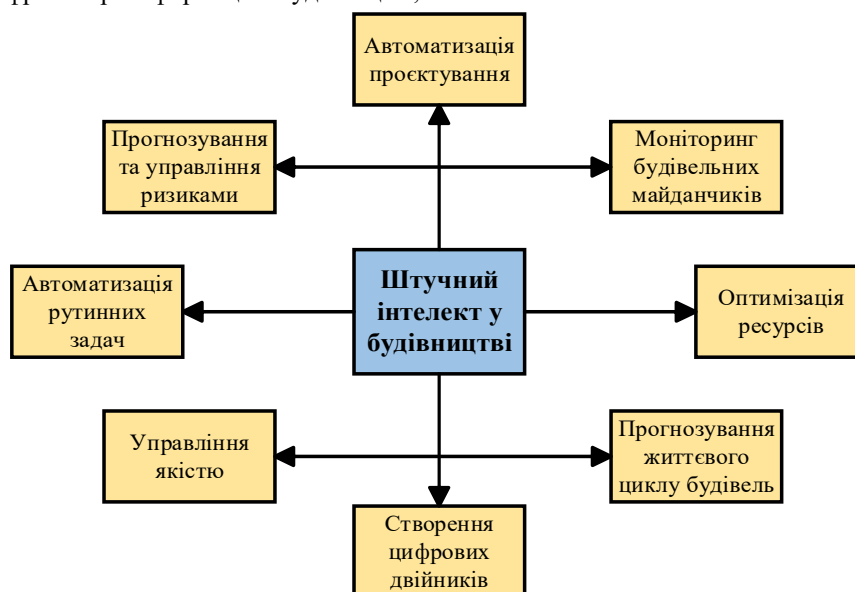


Рисунок 3 – Екосистема ШІ в будівництві

Розроблено автором на основі [17].

Застосування штучного інтелекту в будівництві не лише підвищує ефективність процесів, а й відкриває нові можливості для інтеграції та оптимізації даних. Далі розберемось, як інтеграція даних та управління інформаційними потоками сприяють цифровій трансформації будівельної галузі, зокрема через впровадження «розумного будівництва», що включає використання сучасних технологій для покращення управління проектами та зниження ризиків.

Інтеграція даних та ефективне управління інформаційними потоками є однією з основних складових цифрової трансформації будівельної галузі. Будівництво, як складний і багатофункціональний процес, включає величезний обсяг різноманітної інформації, яка надходить з різних джерел: проектування, управління, постачання матеріалів, виконання робіт, а також з технічних систем, таких як датчики та сенсори. Тому важливо створити єдину інтегровану систему для обробки, зберігання і обміну цією інформацією.

Одним із ключових напрямів цифрової трансформації у сфері будівництва є впровадження концепції «розумного будівництва» (smart construction), яка передбачає інтеграцію цифрових технологій для підвищення ефективності управління проектом. Комплексне використання інструментів, зокрема інформаційного моделювання будівель (BIM), Інтернету речей (IoT), аналітики великих даних (Big Data) та автоматизованих систем управління проектами, забезпечує створення адаптивного та керованого цифрового середовища.

Інтеграція BIM як центральної платформи дозволяє акумулювати всі релевантні дані щодо проекту – креслення, технічні специфікації, логістичну та фінансову документацію – у єдиному середовищі. Це знижує ймовірність виникнення помилок під час обміну інформацією між підрозділами, сприяючи оптимізації витрат і строків реалізації. Сучасне програмне забезпечення та мобільні застосунки дозволяють забезпечити безперервний обмін інформацією між усіма учасниками проекту в режимі реального часу.

Важливим інструментом цифрової інтеграції є технологія блокчейн, яка забезпечує надійне та прозоре зберігання даних про транзакції, постачання матеріалів та хід виконання робіт. Вона дозволяє сформувати незмінну історію подій, підвищуючи рівень довіри між учасниками.

Використання алгоритмів прогнозування на основі великих даних сприяє точнішому плануванню та виявленню критичних точок у проекті, дозволяючи здійснювати випереджувальне управління ризиками на основі попередніх аналітичних моделей.

Зокрема, використання алгоритмів машинного навчання для аналізу великих обсягів даних дозволяє не лише виявляти зв'язки між різними етапами будівництва, а й пропонувати оптимальні варіанти рішень, засновані на аналізі історичних і поточних даних. Розрахунок ефективності управління проектом на основі великих даних, виглядає так:

$$U_t = \frac{(\sum H_i \times Q_i)}{T}, \quad (3)$$

де  $U_t$  – ефективність управління проектом на час  $t$ ;  $H_i$  – показники ефективності для кожного етапу;  $Q_i$  – рівень ризику для кожного етапу;  $T$  – час виконання проекту.

Після аналізу впливу новітніх технологій на ефективність управління даними, важливо перейти до питання, як цифровізація змінює процес прийняття управлінських рішень у будівництві [19]. Оскільки традиційні методи управління стають менш актуальними, нові технології відкривають можливості для більш точного та своєчасного реагування на зміни в ході проектів, що значно підвищує їхню ефективність. Тому в наступній частині розглянемо, як саме цифрові інструменти сприяють оптимізації управлінських процесів.

Цифровізація значно змінює підходи до управління в будівництві, зокрема в частині прийняття управлінських рішень. Традиційні методи управління, які часто базуються на інтуїції та досвіді, поступово відходять на другий план через розвиток нових технологій, що дозволяють приймати більш обґрунтовані та ефективні рішення на основі даних. Це, своєю чергою, змінює стратегію управління проектами та бізнес-процесами загалом.

Застосування технологій, таких як BIM, великих даних (Big Data) та Інтернету речей (IoT), дозволяє отримати більш точну та актуальну інформацію, що істотно покращує якість управлінських рішень. Інформація, зібрана з різних джерел – проектування, будівництво, експлуатація – дає можливість краще розуміти поточний стан проекту, а також виявляти можливі проблеми на ранніх етапах їхнього виникнення. Це дозволяє менеджерам швидко реагувати на зміни і вчасно коригувати плани, що сприяє зниженню ризиків і витрат.

Автоматизація прийняття рішень у будівництві необхідна для зниження часу, необхідного для розроблення рішень і їхнього впровадження. Наявні технології, такі як автоматизовані системи управління проектами, допомагають зменшити кількість помилок, прискорюючи процес ухвалення рішень і забезпечуючи оперативну реакцію на зміни. Наприклад, за допомогою спеціалізованих платформ

можна автоматично формувати звіти, які відображають поточний стан проєкту, з урахуванням усіх ключових показників. Це дозволяє керівникам зосередитися на стратегічному управлінні, делегуючи операційні завдання автоматизованим системам [20].

Однією зі стандартних функцій автоматизованих систем є прогнозування можливих проблем і ризиків на основі аналізу даних. Для цього використовуються алгоритми, здатні виявляти аномалії та відхилення в процесі будівництва. Прогнозування на основі великих даних дозволяє передбачити потенційні затримки в проєкті, перевищення бюджету або технічні проблеми, що дає змогу своєчасно вжити заходів для їхнього уникнення.

Цифровізація також змінила підходи до управління ресурсами в будівництві. Завдяки технологіям моніторингу в режимі реального часу та системам автоматичного управління запасами, можна здійснювати точне планування потреб у матеріалах, людських ресурсах і техніці. Це дозволяє знижувати витрати на закупівлі та зберігання матеріалів, а також оптимізувати використання техніки і обладнання. Впровадження цифрових технологій у будівництво змінює роль управлінців та команд. Замість того, щоб виконувати рутинні завдання, керівники можуть зосередитися на стратегічному плануванні та прийнятті рішень, що забезпечує більш ефективне управління проєктами. Це дозволяє не лише скорочувати витрати та час на виконання робіт, а й підвищувати якість кінцевих результатів.

Завдяки цифровізації з'являються нові можливості для підвищення прозорості процесів. Технології відстеження та моніторингу дозволяють забезпечити більш високий рівень контролю за виконанням робіт, а також створити звітність, яка забезпечує повну відстежуваність кожного етапу проєкту. У підсумку це призводить до зниження корупційних ризиків і забезпечує більш високу довіру до результатів проєкту.

## Висновки

Дослідження сформулювало важливі висновки щодо модернізації та систематизації дослідницьких інструментів для підготовки будівництва в умовах цифровізації. Сучасний розвиток будівельної галузі вимагає адаптації наявних інструментів та методів управління проєктами через стрімке впровадження цифрових технологій. Цифровізація, що включає автоматизацію обробки даних, використання хмарних технологій та інтеграцію інформаційних систем, значно підвищує ефективність, прозорість, точність оцінок та оперативність прийняття рішень на підготовчих етапах будівництва, оптимізуючи ресурси.

Одним із ключових результатів є встановлена необхідність створення уніфікованої класифікації та методології для цифрових дослідницьких інструментів, що відповідають вимогам сучасних будівельних процесів. Виявлено, що традиційні підходи до систематизації не забезпечують потрібної точності та швидкості в умовах цифрової економіки. Таким чином, модернізація інструментів є основою для розвитку ефективних методів управління будівельними проєктами.

Крім того, впровадження цифрових технологій потребує вдосконалення наявних стандартів та норм використання інформаційних систем у будівництві. Існують проблеми, такі як відсутність єдиного підходу до стандартів обміну даними, складнощі інтеоперабельності систем та нестача кваліфікованих фахівців. Проте, розроблення нових стандартів та методичних рекомендацій забезпечить ефективне застосування цифрових інструментів.

Таким чином, модернізація систематизації та змісту дослідницьких інструментів на основі цифровізації є ключовим кроком до оптимізації управління будівельними проєктами. Цифрові технології підвищують ефективність, зменшують витрати та ризики, а також покращують якість на всіх етапах підготовки будівництва. Розроблення відповідних інструментів та методологій є важливою складовою сталого розвитку будівельної галузі в умовах цифрової економіки.

## Список літератури

1. Петров О. І. *Цифровізація в будівництві: нові підходи та інструменти*. Київ: Інститут будівництва і архітектури, 2022. С. 45–67.
2. Іванов М. В. *Інформаційні технології в управлінні будівельними проєктами*. Харків: Харківський національний університет, 2021. С. 112–134.
3. Сидоренко О. О. *Цифрові платформи для управління будівництвом: теорія і практика*. Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2023. С. 89–102.
4. Ковальчук А. В. *Сучасні методи автоматизації будівельних процесів*. Львів: Львівський національний університет, 2022. С. 76–91.

5. Tormosov R., Chupryna I., Ryzhakova G., Pokolenko V., Prykhodko D., Faizullin A. (2021). Establishment of the rational economic and analytical basis for projects in different sectors for their integration into the targeted diversified program for sustainable energy development. In *2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*. P. 1–9.
6. Тимченко Ю. С. *Цифрові інструменти для підготовки будівництва: теоретичні засади*. Київ: Київський політехнічний інститут, 2022. С. 115–130.
7. Борисенко О. О. *Аналіз сучасних підходів до використання даних у будівництві*. Харків: ХНУ будівництва та архітектури, 2021. С. 33–50.
8. Ishchenko T., Chupryna Y., Pokolenko V. (2018). The organization of biosphere compatibility construction: Justification of the predictors of building development and the implementation prospects. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, 7(3), 545–549.
9. Левченко І. І. *Системи автоматизації проєктування в будівництві*. Львів: Львівська політехніка, 2021. С. 142–160.
10. Shpakova H., Chupryna I., Ivakhnenko I., Zinchenko M., Plys N. (2024). Tools for assessing the competitiveness of a construction company as a contractor in public-private partnership projects. In *2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*. P. 473–481.
11. Довженко Т. І. *Інформаційні технології для управління будівельними проєктами*. Київ: Національний університет будівництва і архітектури, 2022. С. 90–110.
12. Chupryna I., Tormosov R., Aryn A., Horbach M., Prykhodko D., Polzikov M. (2023). The Updated Tool for Selecting Projects for the Target Programs of Sustainable Energy Development. In *2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, Astana, Kazakhstan. P. 457–467.
13. Гавриленко В. І. *Цифровізація будівельних процесів: глобальні тенденції*. Київ: Академія будівництва України, 2021. С. 80–95.
14. Супрун В. А. *Модернізація інструментів управління будівельними проєктами за допомогою цифрових технологій*. Харків: Харківський національний університет будівництва та архітектури, 2023. С. 110–130.
15. Костенко А. А. *Цифрові платформи для управління будівельним бізнесом*. Дніпро: Дніпровський національний університет, 2021. С. 50–75.
16. Остромов І. М. *Аналіз ефективності цифрових технологій у будівництві*. Одеса: Одеська національна академія будівництва та архітектури, 2022. С. 120–140.
17. Рижаківа Г. М., Чуприна Ю. А., Гавриков Д. О., Бородавко М. В. 2019. Формування будівельного кластеру у форматі державних інвестиційних цільових програм. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*: збірник наукових праць. Вип. 40. Київ: КНУБА. С. 19–25.
18. Петренко О. В. *Роль цифрових технологій у будівельному проєктуванні*. Чернівці: Чернівецький національний університет, 2021. С. 90–112.
19. Литвиненко Р. М. *Сучасні інформаційні технології в будівництві*. Київ: НТУУ "КПІ", 2022. С. 67–85.
20. Чернявський В. А. *Цифрові інструменти для управління будівельними процесами*. Львів: Львівська політехніка, 2023. С. 54–71.
21. Мельник В. І. *Інформаційні системи в будівництві: впровадження та перспективи*. Харків: Харківський національний університет, 2022. С. 123–145.
22. Borrmann A., König M., Koch C., Beetz J. (2018). *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*. Cham: Springer. 584 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-92862-3>.
23. Чуприна Ю. А. 2019. Залучення прикладних переваг BIM-технологій до методики і практики формування життєвого циклу проєктів в складі державних цільових програм, які втілюються будівельним кластером. *Економіка та держава*. № 3. С. 67–70.
24. Sacks R., Eastman C. M., Lee G., Teicholz P. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. Hoboken: Wiley. 704 p. URL: <https://www.wiley.com/en-us/BIM+Handbook%2C+3rd+Edition-p-9781119287537>.
25. Succar M. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>.
26. Zhang C., Teizer J., Lee J.-K., Eastman C. M., Venugopal M. (2013). Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules. *Automation in Construction*, 29, 183–195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.003>.

Стаття надійшла до редколегії 30.05.2025

**Malykhin Mykhailo**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Organization and Management in Construction, <https://orcid.org/0000-0002-9721-2733>  
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**MODERNIZATION OF RESEARCH TOOLS SYSTEMATIZATION AND CONTENT  
FOR ENSURING CONSTRUCTION PREPARATION BASED ON DIGITALIZATION**

**Abstract.** The article addresses current challenges related to the need for transforming traditional approaches to organizing research activities in the construction sector, particularly the implementation of digital technologies and adaptation to the conditions of the modern digital economy. Special attention is paid to the integration of information technologies into construction preparation management processes, which requires updating instrumental methods of analysis, monitoring, and forecasting. The author emphasizes the importance of creating unified standards and classification systems that enable the effective use of digital resources in planning and implementing construction projects. Digitalization contributes to increasing calculation accuracy, automating data collection and processing, and forming innovative approaches to interaction among construction process participants. It is noted that such changes require not only technical re-equipment but also the development of new methodologies for analysis and decision-making oriented towards digital reality. The research also covers the analysis of key problems arising during the implementation of digital technologies in the construction industry, including issues of data security, system interoperability, and optimization of information transfer processes. A crucial aspect of the work is studying the impact of digital tools on cost reduction, risk mitigation, and overall efficiency improvement of preparatory stages of construction projects. The research results aim to create a theoretical basis for developing innovative approaches to systematizing research tools, as well as forming methodological recommendations for their practical application. The work focuses on ensuring the sustainable development of the construction industry through the implementation of digital economy tools, which allows optimizing construction preparation processes, enhancing their quality, speed, and transparency. Particular attention is paid to the formation of digital knowledge repositories, adaptive analytical dashboards, and embedded algorithms capable of learning based on accumulated information. This creates prerequisites for the creation of self-learning management systems that increase the industry's resilience in conditions of rapid technological changes.

**Keywords:** modernization; systematization; research tools; construction; digitalization; classification; digital economy; analytics; management; automation

**References**

1. Petrov, O. I. (2022). *Digitalization in construction: New approaches and tools*. Kyiv: Institute of Construction and Architecture.
2. Ivanov, M. V. (2021). *Information technologies in construction project management*. Kharkiv: Kharkiv National University.
3. Sydorenko, O. O. (2023). *Digital platforms for construction management: Theory and practice*. Odesa: Odesa State Academy of Construction and Architecture.
4. Kovalchuk, A. V. (2022). *Modern methods of construction process automation*. Lviv: Lviv National University.
5. Tormosov, R., Chupryna, I., Ryzhakova, G., Pokolenko, V., Prykhodko, D., & Faizullin, A. (2021). Establishment of the rational economic and analytical basis for projects in different sectors for their integration into the targeted diversified program for sustainable energy development. In *2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)* (pp. 1–9). IEEE.
6. Tymchenko, Y. S. (2022). *Digital tools for construction preparation: Theoretical foundations*. Kyiv: Kyiv Polytechnic Institute.
7. Borysenko, O. O. (2021). *Analysis of modern approaches to data usage in construction*. Kharkiv: Kharkiv National University of Construction and Architecture.
8. Ishchenko, T., Chupryna, Y., & Pokolenko, V. (2018). The organization of biosphere compatibility construction: Justification of the predictors of building development and the implementation prospects. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, 7(3), 545–549.
9. Levchenko, I. I. (2021). *Automation systems for design in construction*. Lviv: Lviv Polytechnic.
10. Shpakova, H., Chupryna, I., Ivakhnenko, I., Zinchenko, M., & Plys, N. (2024). Tools for assessing the competitiveness of a construction company as a contractor in public-private partnership projects. In *2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)* (pp. 473–481). IEEE.
11. Dovzhenko, T. I. (2022). *Information technologies for construction project management*. Kyiv: National University of Construction and Architecture.
12. Chupryna, I., Tormosov, R., Aryn, A., Horbach, M., Prykhodko, D., & Polzikov, M. (2023). The updated tool for selecting projects for the target programs of sustainable energy development. In *2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)* (pp. 457–467). IEEE.

13. Havrylenko, V. I. (2021). *Digitalization of construction processes: Global trends*. Kyiv: Academy of Construction of Ukraine.
14. Suprun, V. A. (2023). *Modernization of construction project management tools using digital technologies*. Kharkiv: Kharkiv National University of Construction and Architecture.
15. Kostenko, A. A. (2021). *Digital platforms for construction business management*. Dnipro: Dnipro National University.
16. Ostromov, I. M. (2022). *Analysis of the effectiveness of digital technologies in construction*. Odesa: Odesa National Academy of Construction and Architecture.
17. Ryzhakova, H. M., Chupryna, Y. A., Havrykov, D. O., & Borodavko, M. V. (2019). Formation of a construction cluster in the format of state investment target programs. In *Ways to increase the efficiency of construction in the conditions of market relations formation: Collection of scientific papers*, Iss. 40 (pp. 19–25). Kyiv: KNUBA.
18. Petrenko, O. V. (2021). *The role of digital technologies in construction design*. Chernivtsi: Chernivtsi National University.
19. Lytvynenko, R. M. (2022). *Modern information technologies in construction*. Kyiv: NTUU "KPI".
20. Cherniavskiy, V. A. (2023). *Digital tools for construction process management*. Lviv: Lviv Polytechnic.
21. Melnyk, V. I. (2022). *Information systems in construction: Implementation and prospects*. Kharkiv: Kharkiv National University.
22. Borrmann, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (2018). *Building information modeling: Technology foundations and industry practice*. Cham: Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-92862-3>
23. Chupryna, Y. A. (2019). Involvement of applied advantages of BIM-technologies in the methodology and practice of forming the life cycle of projects as part of state target programs implemented by the construction cluster. *Economy and State*, (3), 67–70.
24. Sacks, R., Eastman, C. M., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*. Hoboken: Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/BIM+Handbook%2C+3rd+Edition-p-9781119287537>
25. Succar, M. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
26. Zhang, C., Teizer, J., Lee, J.-K., Eastman, C. M., & Venugopal, M. (2013). Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules. *Automation in Construction*, 29, 183–195. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.003>

#### Посилання на публікацію

- |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| APA  | Malykhin, M. (2025). Modernization of research tools systematization and content for ensuring construction preparation based on digitalization. <i>Management of Development of Complex Systems</i> , 62, 177–188. <a href="https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.62.177-188">dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2025.62.177-188</a> .            |
| ДСТУ | Малихін М. О. Модернізація систематизації та змісту дослідницьких інструментів для забезпечення підготовки будівництва на засадах цифровізації. <i>Управління розвитком складних систем</i> . Київ, 2025. № 62. С. 177 – 188, <a href="https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.62.177-188">dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2025.62.177-188</a> . |