

ТРАНСФОРМАЦІЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ БУДІВНИЦТВА В ЕПОХУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

У статті здійснено ґрунтовний аналіз сучасних підходів і цифрових технологій, що застосовуються у будівельній галузі з метою підвищення рівня контролю якості на всіх етапах реалізації будівельних проєктів. Актуальність дослідження зумовлена зростанням складності будівельних об'єктів, підвищеними вимогами до їхньої безпеки, надійності та довговічності, а також необхідністю мінімізації ризиків і витрат. Основною метою роботи є оцінка результативності інноваційних методів контролю якості та визначення їхнього впливу на оптимізацію будівельних процесів і управлінських рішень. У межах дослідження проведено комплексний аналіз сучасних наукових публікацій, нормативних документів і звітів, а також узагальнено практичний досвід упровадження новітніх технологічних рішень у вітчизняній і зарубіжній будівельній практиці.

Особливу увагу зосереджено на трьох ключових технологіях: дистанційному зондуванні, тривимірному лазерному скануванні та технологіях штучного інтелекту. Для кожної з них визначено основні переваги, функціональні можливості та існуючі обмеження, зокрема технічні, економічні та організаційні. У статті наведено результати порівняльного аналізу ефективності традиційних і цифрових методів контролю якості, статистичні дані щодо рівня їх упровадження, а також приклади практичного застосування інноваційних рішень у реальних будівельних проєктах різного масштабу та призначення.

Отримані результати свідчать, що використання цифрових інструментів контролю якості відкриває нові можливості для підвищення точності моніторингу, оперативного виявлення дефектів, зменшення ризиків і вдосконалення управління будівельними процесами. Водночас успішне впровадження таких технологій потребує системного підходу, що включає розроблення чіткої стратегії цифровізації, підготовку кваліфікованого персоналу та адаптацію існуючих виробничих процедур. Наголошено на важливості міждисциплінарної взаємодії замовників, інженерів, будівельників і фахівців з інформаційних технологій для ефективного розвитку інноваційних систем контролю якості, що сприятиме створенню безпечних, надійних і високоефективних будівельних об'єктів.

Ключові слова: будівництво, контроль якості, цифровізація, інноваційні технології, цифрові методи контролю, управління будівельними процесами.

Постановка проблеми. Сучасна будівельна галузь розвивається в умовах активної цифрової трансформації, що охоплює всі рівні управління будівельними проектами – від стратегічного планування до реалізації організаційно-технологічних рішень на будівельному майданчику. У цьому контексті особливої актуальності набуває використання цифрових технологій для контролю якості виконання робіт, моніторингу ресурсів, управління ризиками та координації учасників будівельного процесу. Застосування таких інструментів сприяє підвищенню ефективності проєктів, оптимізації витрат і посиленню конкурентоспроможності будівельних підприємств. Цифровізація відкриває можливості для впровадження інтегрованих систем управління якістю, що поєднують міжнародні стандарти з сучасними інформаційними технологіями та забезпечують прозорість управлінських процесів і зниження ризиків. Водночас впровадження цифрових рішень супроводжується низкою викликів, зокрема високою вартістю програмних продуктів, потребою в розвитку компетенцій персоналу та необхідністю адаптації міжнародних стандартів до національної нормативної бази, що зумовлює потребу в комплексному науковому аналізі цих процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Як показує практика останніх досліджень цифрова трансформація відкриває значні можливості для підприємств будівельної галузі, її впровадження часто ускладняється внутрішнім опором, браком необхідних знань, умінь, досвіду персоналу та складністю вибору у зв'язку з високою ціною програмного забезпечення [1-3, 7, 9, 10]. Зокрема, в працях провідних вітчизняних та зарубіжних науковців (Д.В. Бондаренко, М.Д. Дружинін, О.А. Тугай, В.О. Поколенко, Г.В. Шпакова, Ю.А. Чуприна, А. Baghdadi, P. Kaur, T. Panigati та ін.) дослідження зосереджуються на практичності та ефективності цифровізації, вивчаючи взаємозв'язок між вартістю, трудомісткістю та строками виконання будівельних процесів і рівнем цифрової готовності учасників проєкту [4, 5, 9-13]. Особливу увагу приділяють оптимізації взаємодії між учасниками будівництва, оцінці програмних рішень і їх впливу на продуктивність та якість робіт на будівельному майданчику [2, 6, 8].

Мета. Дослідження ефективних підходів та цифрових інструментів для підвищення якості будівельних процесів, оцінити вплив цифрової трансформації на продуктивність і взаємодію учасників будівельних проєктів, а також виявити фактори, що ускладнюють впровадження цифрових рішень на будівельному майданчику.

Виклад основного матеріалу. У сучасних соціально-економічних умовах будівельна галузь посідає стратегічно важливе місце в системі національного розвитку, забезпечуючи формування інфраструктурного потенціалу держави та задоволення базових і суспільно значущих потреб населення. Попри значний потенціал цифровізації, питання забезпечення якості будівельних процесів залишаються актуальними. Традиційні підходи до контролю якості часто не відповідають вимогам нових технологічних середовищ, не забезпечують необхідної прозорості, оперативності та точності. Відсутність цілісних стратегій інтеграції цифрових рішень у процеси контролю та управління якістю призводить до зростання ризиків, додаткових витрат і зниження ефективності реалізації проєктів. Тому виникає необхідність формування сучасних стратегій, які б поєднували

інноваційні технології та методологічні підходи до забезпечення стабільної якості будівельних робіт.

Якість будівельних робіт формується під впливом комплексу взаємопов'язаних чинників, кожен з яких має важливе значення для кінцевого результату (рис. 1). У сукупності ці чинники визначають надійність, довговічність та експлуатаційні властивості будівельної продукції. Тому сучасна організація контролю якості в будівництві - це перш за все вдосконалення технологій і ефективна взаємодія всіх учасників процесу.



Рис. 1. Чинники, що визначають якість будівельної продукції

Забезпечення якості будівельного проекту є комплексною багаторівневою системою організаційних, технічних, економічних та управлінських заходів, спрямованих на досягнення відповідності кінцевого об'єкта встановленим нормативам, стандартам, проектним рішенням та очікуванням замовника (рис. 2). Якість розглядається як інтегральна характеристика, що відображає сукупність властивостей об'єкта, які забезпечують його безпечну, надійну, функціональну та економічно ефективну експлуатацію протягом усього життєвого циклу.

Будівельники зобов'язані дотримуватися всіх етапів виконання технологічного процесу, забезпечуючи надійність будівель і споруд. Для оцінки якості будівництва застосовують цілу систему, яка включає традиційні методи та інноваційні інструменти контролю.

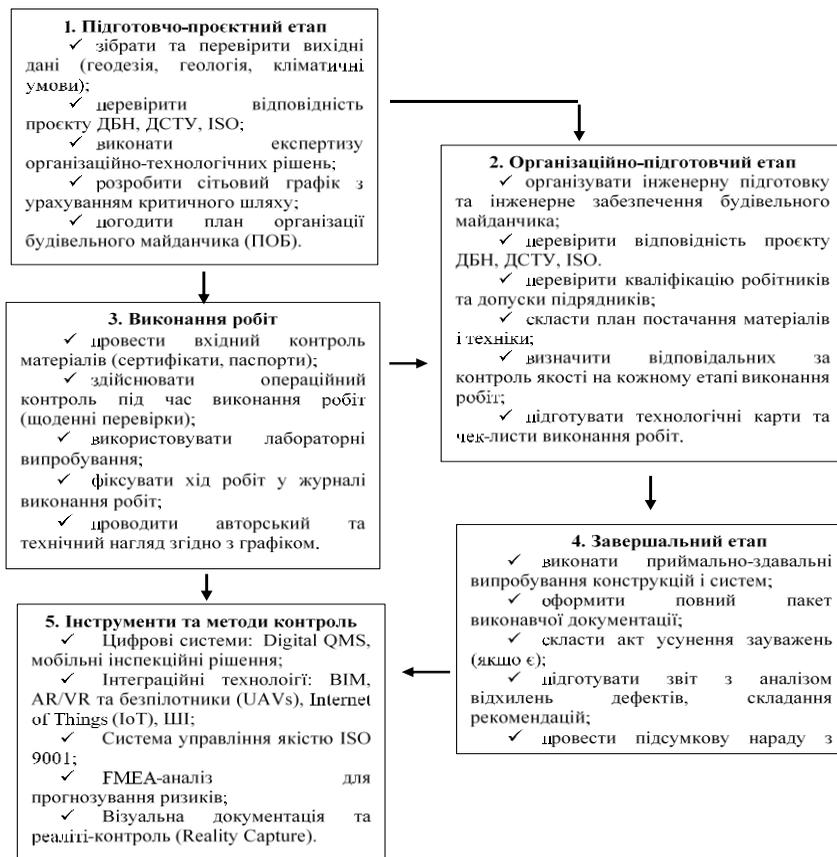


Рис. 2. Забезпечення якості будівельного проекту

Традиційні методи контролю якості в будівництві характеризуються низьким рівнем автоматизації, обмеженою точністю та слабкою інтеграцією даних, що створює ризики виникнення дефектів, перевищення кошторису, затримок та зниження безпеки об'єктів. Ці недоліки посилюють потребу у впровадженні сучасних цифрових технологій і систем управління якістю (табл. 1).

Варто зауважити, що інтеграція сучасних технологій у будівельні процеси не лише сприяє підвищенню ефективності виконання робіт, але й чинить істотний вплив на вартість об'єктів. Зменшення витрат на будівництво шляхом зниження

вимог до якості матеріалів може призвести до створення більш доступних об'єктів, однак паралельно виникає ризик скорочення їхньої довговічності та експлуатаційної надійності. У зв'язку з цим успішна цифровізація систем контролю будівництва потребує комплексної та об'єктивної оцінки як переваг, так і потенційних обмежень застосування сучасних технологій у порівнянні з традиційними методами контролю якості.

Таблиця 1

Недоліки традиційних методів контролю якості в будівництві

Недолік традиційних методів контролю	Характеристика прояву недоліку	Імовірні ризики та наслідки
Фрагментарність і не системність контролю	Контрольні заходи здійснюються вибірково та не охоплюють усі етапи будівельного процесу	Виявлення дефектів на пізніх стадіях, підвищення вартості усунення порушень
Залежність від суб'єктивних оцінок та людського фактору	Контроль здійснюється вручну або візуально, що зумовлює значну суб'єктивність	Помилкове прийняття робіт, пропуск дефектів, недостовірні результати оглядів
Недостатня оперативність і надійність документування	Паперові журнали та акти є повільними у заповненні та легко піддаються втраті	Втрата доказової бази, суперечки між учасниками, проблеми при аудитах
Обмеженість у виявленні прихованих дефектів	Відсутність постійного моніторингу параметрів конструкцій і матеріалів	Несвоєчасне виявлення дефектів, зростання витрат і зниження довговічності будівель
Низький рівень інтеграції інформації між учасниками будівництва	Розрізнені інформаційні системи або їх відсутність між підрядниками, проєктувальниками та технаглядом	Неузгодженість рішень, затримки, збільшення кількості помилок
Неможливість забезпечення контролю у реальному часі	Контроль виконується періодично, без оперативного відстеження ключових параметрів	Пропуск критичних відхилень, що впливають на якість та безпеку

Сучасні підходи до управління якістю будівельних робіт ґрунтуються на системному управлінні всім життєвим циклом будівлі та орієнтовані на попередження дефектів, цифровізацію та сталий розвиток.

Як демонструють результати сучасних досліджень [1, 4, 9-13], процес цифровізації суттєво трансформує систему забезпечення якості у будівництві.

Серед ключових напрямків її впливу можна виділити: цифрове моделювання будівель (Building Information Modeling); встановлення датчиків на будівельному майданчику, які контролюють параметри матеріалів, обладнання та середовища у режимі реального часу (IoT); штучний інтелект і аналітика великих даних; для моніторингу виконання робіт і створення цифрових карт будівельних майданчиків використовують дрони та лазерне сканування [10-13].

Світовий досвід переконливо свідчить про високу ефективність цифрової трансформації у будівельній галузі, де провідні інженерні та будівельні компанії впроваджують інноваційні цифрові інструменти для комплексного моніторингу та

аналітичної обробки даних. Застосування таких технологій забезпечує підвищення точності проєктування, оптимізацію виробничих процесів і зниження ймовірності технічних та організаційних ризиків. Водночас цифрові системи сприяють покращенню якості будівельно-монтажних робіт та підвищенню рівня керування складними інфраструктурними проєктами. В Україні процес діджиталізації будівельного сектору також набуває інтенсивного розвитку, що відображає загальносвітові тенденції модернізації галузі. Така динаміка зумовлена системними реформами у сфері державного управління будівництвом і необхідністю забезпечення високих стандартів якості в умовах масштабної відбудови країни. Упровадження сучасних цифрових рішень підсилює прозорість будівельних процесів, зміцнює технологічну дисципліну та підвищує конкурентоспроможність вітчизняної галузі на міжнародному рівні.

Таблиця 2

Використання цифрових технологій для контролю якості будівництва

Розробник / Постачальник /Країна	Проект / Приклад застосування	Результат
ВІМ-технології та цифрові двійники		
Autodesk, Bentley, Allplan, Україна	Впровадження BIM у держпроєктах та приватному будівництві	Зниження помилок, точний розрахунок обсягів
Bentley Systems, Siemens, Schneider Electric Велика Британія	Crossrail, Digital Twin для тунелів та станцій The Shard, Цифровий двійник систем HVAC	Контроль якості та прогнозування дефектів Оптимізація інженерних систем
Dassault Systèmes, (Сінгапур)	Virtual Singapore, 3D-двійник міста	Контроль міських проєктів
ACCA Software, Autodesk, Політехніка Мілану, (СС)	BIM4EЕB, Digital Twin для житлових проєктів	Зниження дефектів під час реконструкції
Buildots, Openspace (СС/США)	Skanska Порівняння реальних фото з BIM	Виявлення відхилень
3D-сканування та лазерне сканування		
Trimble, Leica Geosystems, Україна	Сканування конструкцій під час технагляду	Контроль геометрії, зменшення помилок
Trimble, Велика Британія	Сканування інфраструктурних об'єктів	Виявлення деформацій та відхилень
CGI Netherlands, Нідерланди	тунель Swalmen, 3D- візуалізація + лазерне сканування	Контроль реконструкції та експлуатації
IoT-сенсори та системи моніторингу		
Sensority, Libelium, Cisco Україна	Моніторинг вологості, деформацій, тверднення бетону	Контроль якості бетонування
COWI, Sensonomic(Норвегія)	Mіст Stava Сенсори вібрацій та деформацій	Раннє виявлення пошкоджень
Various IoT vendors, Сінгапур	Virtual Singapore Міський моніторинг навантажень на конструкції	Підвищення безпеки інфраструктури

Продовження табл. 2

Дрони та аерофотозйомка		
DJI, Pix4D Україна	Аерофотозйомка будмайданчиків	Контроль обсягів і стану робіт
DJI, Propeller Aero(США)	Bechtel 3D-аналітика майданчиків	Виявлення відхилень, контроль прогресу
Parrot, Pix4D ЄС	Моніторинг великих інфраструктурних проєктів	Підвищення точності та швидкості контролю
Хмарні та мобільні системи технагляду		
PlanRadar, Fieldwire, БудКонтроль Україна	Фотофіксація дефектів, електронні акти	Прискорений контроль та документування
PlanGrid, Procore США/ЄС (будкомпанії)	Хмарне управління якістю	Зменшення кількості дефектів, прозорість
Procore + локальні рішення Азія	Координація великих проєктів	Підвищення якості та контроль строків
AI та комп'ютерний зір		
Buildots, OpenSpace, українські стартапи Україна (окремі девелопери)	Автоматичне порівняння фото з BIM	Виявлення дефектів у монтажі
Buildots(ЄС/США)	Skanska AI-аналіз ходу будівництва	Скорочення недоліків на 25-40%
Doxel AI США	Автоматизований лазерний скан + AI	Підвищення точності звітності
Електронні системи будівництва (цифровізація документів)		
Мінрегіон, ДП «Дія», ЦТУ Україна – ЄДЕССБ	Дозвільні документи, акти, реєстри	Прозорість, зменшення бюрократії
e-Construction Platform Естонія	Повна цифровізація процесів	Висока точність та контроль документації
BBR Register + хмара Данія	Зберігання всіх даних про будівлі	Якісний нагляд за об'єктами

Таким чином, аналіз конкретних прикладів використання цифрових технологій дає змогу оцінити їхню ефективність, визначити ключові тенденції розвитку та сформулювати практичні рекомендації щодо впровадження інновацій у вітчизняну будівельну сферу.

Висновки. Проведене дослідження дозволило встановити, що цифровізація є визначальним чинником еволюції сучасної системи контролю якості будівництва, зумовлюючи формування нових парадигм управління технічними та організаційними процесами. Аналіз теоретичних і практичних аспектів цифровізації виявив, що цифрові технології забезпечують новий рівень точності, об'єктивності та швидкості контролю якості будівельної продукції.

Доведено, що цифрові технології сприяють переходу від фрагментарного, вибіркового контролю до комплексного та безперервного моніторингу параметрів будівельних об'єктів у режимі реального часу. Це, своєю чергою, мінімізує вплив суб'єктивних факторів, підвищує надійність оцінки відповідності та формує підґрунтя для впровадження превентивних механізмів управління ризиками на всіх етапах життєвого циклу споруди. Поряд з цим виявлено, що ефективність цифрової трансформації суттєво залежить від адаптивності нормативно-правового середовища, уніфікації форматів технічних даних, рівня цифрової компетентності персоналу й забезпечення належного рівня інформаційної та кібернетичної безпеки.

Результати дослідження підтверджують, що впровадження цифрових інструментів у систему контролю якості будівництва формує нову інституційну модель для формування більш ефективної, прозорої та прогнозованої системи управління життєвим циклом будівельних об'єктів. У перспективі цифровізація стане визначальним фактором конкурентоспроможності будівельних компаній та розвитку всієї галузі.

Список літератури:

1. Бондаренко Д.В. Управління цифровими трансформаціями підприємств будівельної галузі України: дис. ... д-ра. філос.: 073. Харків, 2024. 298 с.
2. Дружинін М., Степанюк Р., Гергі М., Малихін М., Сторожук О., Костенко Д. Цифрові моделі організації будівництва на ґрунті інтеграційного підходу та SMART-управління. *Управління розвитком складних систем*, Дніпро. 2024. № 60, С. 165–173. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.165-173>.
3. Дубінін Д. Цифрова трансформація українських будівельних та проектних підприємств: перешкоди та можливості. *Управління розвитком складних систем*, Дніпро, 2023. № 56. С.131-137. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.131-137>.
4. Ключко А.А. Цифрові технології в галузі архітектури і будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2021. № 48. С. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.48.61-68>.
5. Лялюк О.Г., Осипенко Р.С. Особливості імплементації штучного інтелекту в будівництві. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2023. № 2. С. 172-176. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-172-176%20>.
6. Тугай О.А., Поколенко В.О., Єсипенко А.Д., Дубинка О.В. Передумови і шляхи впровадження БІМ- концепції в будівельній галузі. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2020. № 45. С. 166 – 184. DOI: <https://doi.org/10.32347/2707-501x.2020.45>.
7. Цифровізація будівельної галузі. URL: <https://dedalsoft.com.ua/blog/tsifrovizatsiya-budivelnnoi-galuzi> (дата звернення: 15.11.2025).
8. Шпакова Г., Денисюк О., Рижакова Г., Кошельний І., Максим'юк Ю., Веремєєв С., Федоров С. Сучасна технологія моделювання організаційної підготовки та економіко-управлінського супровіду стейкхолдерів будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2020. №52. С. 126–134. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.126-134>.
9. Daniel E.I.; Oshodi O.S.; Nwankwo N.I.; Emuze, F.A.; Chinyio E. The Use of Digital Technologies in Construction Safety: A Systematic Review. *Buildings*. 2025, 15, 1386. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings15081386>.
10. Ghansah F.A.; Edwards D.J. Digital Technologies for Quality Assurance in the Construction Industry: Current Trend and Future Research Directions towards Industry 4.0. *Buildings*. 2024, 14, 844. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14030844>.
11. Guo X.; Zheng D.; Huang D.; Gu, J. Research on Influencing Factors of Digital Transformation of Construction Enterprises Based on SEM and fsQCA Methods. *Buildings* 2025, 15, 3302. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings15183302>.
12. Han Y., Du H., Zhao, C. Development of a digital transformation maturity model for the construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2024, 32, 4384-4412. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-10-2023-1009>.

13. Ma Y.; Wang Y.; Tang Y. Real-Time Monitoring and Safety Warning Technology of Construction Site in Engineering Management BIM Combined with YOLOv8. *Procedia Computer Science*. 2025, 261, 790-798. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.04.406>.

Nataliia DANCEVYCH

Transformation of the Construction Quality Control System in the Era of Digitalization

The article presents a comprehensive analysis of contemporary approaches and digital technologies applied in the construction industry to enhance the level of quality control at all stages of construction project implementation. The relevance of the study is driven by the increasing complexity of construction projects, heightened requirements for their safety, reliability, and durability, as well as the need to minimize risks and costs. The main objective of the research is to assess the effectiveness of innovative quality control methods and to determine their impact on the optimization of construction processes and managerial decision-making. The study is based on a systematic analysis of recent scientific publications, regulatory documents, and analytical reports, as well as a generalization of practical experience in the implementation of advanced technological solutions in both domestic and international construction practice.

Special attention is paid to three key technologies: remote sensing, three-dimensional laser scanning, and artificial intelligence technologies. For each of these technologies, the main advantages, functional capabilities, and existing limitations, including technical, economic, and organizational aspects, are identified. The article presents the results of a comparative analysis of the effectiveness of traditional and digital quality control methods, statistical data on their level of implementation, and examples of the practical application of innovative solutions in real construction projects of various scales and purposes.

The obtained results indicate that the use of digital quality control tools creates new opportunities for improving monitoring accuracy, enabling early defect detection, reducing risks, and enhancing the management of construction processes. At the same time, the successful implementation of such technologies requires a systematic approach, including the development of a clear digitalization strategy, the training of qualified personnel, and the adaptation of existing production procedures. The importance of interdisciplinary collaboration among clients, engineers, construction professionals, and information technology specialists is emphasized as a key factor in the effective development of innovative quality control systems, contributing to the creation of safe, reliable, and high-performance construction facilities.

Keywords: construction, quality control, digitalization, innovative technologies, digital control methods, construction process management.

Дата надходження статті: 15.12.2025

Дата прийняття статті: 26.01.2026