

УДК 69:05

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.45.10>**Новак Є.В.**

к.т.н., доцент,

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, м. Чернівці

ORCID: 0000-0002-8512-6344

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЦИФРОВОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ БУДІВНИЦТВА: ЕКОНОМІЧНІ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНІ ПІДХОДИ

***Анотація.** У статті досліджено ефективність цифрового інструментарію управління якістю будівництва в умовах активної цифрової трансформації будівельної галузі. Актуальність теми зумовлена зростанням вимог до якості будівельної продукції, необхідністю скорочення витрат і термінів реалізації проєктів, а також переходом до інтегрованих цифрових моделей управління на всіх етапах життєвого циклу будівельного об'єкта. Обґрунтовано, що цифровізація виступає ключовим фактором підвищення ефективності систем управління якістю, забезпечуючи перехід від ручних контрольних процедур до безперервного, цифрового та комплексного управління.*

Розкрито роль сучасних цифрових технологій, зокрема BIM-моделювання, інтернету речей, цифрових двійників, хмарних платформ управління проєктами та інструментів аналітики великих даних, у забезпеченні комплексного контролю якості будівельних процесів. Встановлено, що їх застосування дозволяє підвищити точність проєктних і технологічних рішень, забезпечити оперативний моніторинг параметрів будівництва в режимі реального часу, мінімізувати ризики виникнення дефектів та підвищити загальну надійність будівельних об'єктів. Особливу увагу приділено переходу від реактивного до проактивного управління якістю на основі прогнозової аналітики.

У межах дослідження проаналізовано економічну ефективність впровадження цифрового інструментарію, яка проявляється у зниженні витрат на усунення дефектів і переробки, скороченні тривалості будівельних проєктів, оптимізації використання матеріальних і трудових ресурсів, а також підвищенні продуктивності управлінських процесів. Обґрунтовано доцільність застосування інтегрованих підходів до оцінювання ефективності цифрових рішень, зокрема на основі показників ROI та TCO, із врахуванням довгострокових і непрямих економічних ефектів.

Окремо розглянуто організаційні аспекти адміністрування цифрових систем управління якістю. Встановлено, що їх результативне впровадження потребує трансформації управлінських структур, формування єдиного цифрового середовища взаємодії учасників будівництва, запровадження нових ролей (BIM-менеджерів, цифрових координаторів) та розвитку цифрових компетенцій персоналу. Підкреслено, що важливим чинником успіху є подолання опору організаційним змінам і формування культури прийняття рішень на основі даних.

Узагальнено, що ефективність цифрового інструментарію управління якістю будівництва забезпечується лише за умови системної інтеграції технологічних, економічних та організаційних підходів, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності будівельних підприємств і формуванню сучасної моделі управління якістю.

Ключові слова: управління якістю, будівництво, цифровізація, BIM-технології, цифрові інструменти, ефективність, економічні підходи, організаційні підходи, адміністрування, цифрова трансформація, якість проєктування, євроінтеграція, сталий розвиток, будівництво, організація будівництва, цифрові платформи.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку будівельної галузі характеризується активною цифровою трансформацією управлінських, виробничих та контрольних

процесів. Поширення цифрових технологій, зокрема BIM-технологій, систем управління проєктами, хмарних платформ, інструментів аналітики великих даних та інтернету

речей, формує нові підходи до забезпечення якості будівництва. У цих умовах особливого значення набуває дослідження ефективності цифрового інструментарію управління якістю, а також економічних та організаційних механізмів його впровадження.

Підвищення вимог до якості будівельної продукції, зростання вартості помилок та дефектів, а також необхідність скорочення строків реалізації проєктів актуалізують потребу у формуванні інтегрованих цифрових систем управління, здатних забезпечити прозорість, контрольованість і оперативність прийняття рішень.

Незважаючи на стрімкий розвиток цифрових технологій у будівництві, рівень їх практичного впровадження в системи управління якістю залишається нерівномірним і часто фрагментарним. Більшість будівельних підприємств продовжують використовувати традиційні підходи до контролю якості, які характеризуються низькою оперативністю, високою залежністю від людського фактора та обмеженою можливістю інтеграції даних на всіх етапах життєвого циклу будівельного об'єкта.

Крім того, недостатньо дослідженими залишаються питання економічної ефективності цифрових інструментів, їх впливу на зниження витрат, мінімізацію ризиків браку та підвищення продуктивності управлінських рішень. Також потребують подальшого опрацювання організаційні аспекти адміністрування цифрових систем управління якістю, включаючи трансформацію управлінських структур, розподіл відповідальності та розвиток цифрових компетенцій персоналу.

Таким чином, існує суперечність між потенційними можливостями цифрових технологій у сфері управління якістю будівництва та недостатнім рівнем їх системного застосування в практиці будівельних підприємств.

Метою дослідження є теоретичне обґрунтування та аналіз ефективності цифрового інструментарію управління якістю будівництва, а також розроблення економічних та організаційних підходів до його адміністрування в умовах цифрової трансформації будівельної галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика управління якістю будівництва в сучасних умовах розглядається у наукових працях крізь призму стандартизації, сертифікації, цифровізації та організаційно-еконо-

мічних механізмів розвитку галузі. У цьому контексті важливе значення має дослідження ролі стандартів і систем якості у формуванні ефективних бізнес-процесів, що підкреслюється у роботі Вербівської Л. В., де акцентовано увагу на функціональному значенні сертифікації та стандартизації як базових інструментів забезпечення якості продукції та послуг у сучасних умовах господарювання [1]. Це створює методологічну основу для подальшого аналізу цифрових інструментів як еволюційного етапу розвитку систем якості.

У роботах [2; 6; 8] розглядаються питання оцінювання відповідності продукції у будівництві, що є критично важливим для формування систем контролю якості будівельної продукції. Автори підкреслюють необхідність удосконалення механізмів оцінювання відповідності, що в сучасних умовах може бути реалізовано через цифрові платформи та автоматизовані системи моніторингу.

Проблеми сертифікації та забезпечення якості будівельних матеріалів у контексті європейських стандартів ISO розглянуто у праці [3], де акцентується увага на гармонізації національних підходів із міжнародними вимогами. Це безпосередньо корелює з темою цифровізації, оскільки впровадження цифрових систем дозволяє забезпечити прозорість і контроль відповідності стандартам у режимі реального часу.

Методологічні аспекти управління якістю в будівництві детально розкрито у монографії [4], де систематизовано організаційні та виробничі системи управління якістю. Дане джерело формує теоретичну основу для аналізу організаційних трансформацій, які супроводжують впровадження цифрових інструментів.

Важливе значення для дослідження має праця [5], в якій розглянуто інноваційні моделі організації та економічної оцінки будівельних процесів? необхідності інтеграції економічних підходів до управління технологічними процесами, що безпосередньо пов'язано з оцінюванням ефективності цифрових рішень.

У «зеленій книзі» [6] та співавторів проаналізовано проблеми державного регулювання будівельного ринку та необхідність підвищення ефективності нормативного середовища. Це створює передумови для впровадження цифрових систем як інструменту підвищення прозорості регулювання та контролю якості.

Колективні монографії [7; 9] розкривають, організаційно-технологічні моделі інжинірингу в будівництві, що є безпосередньо релевантним до теми цифрового управління якістю, оскільки описані підходи можуть бути цифровізовані через BIM та інтегровані платформи.

У праці [10] розглянуто економетричні інструменти управління фінансовою безпекою будівельних підприємств, що є методологічною основою для оцінювання економічної ефективності цифрових систем.

Дослідження [11] присвячене функціонально-операційній трансформації систем управління будівельними підприємствами на основі CALS-технологій, що безпосередньо корелює з концепцією цифрової трансформації та інтегрованого управління якістю

Таким чином, аналіз джерел свідчить, що наукові праці охоплюють три ключові напрями, релевантні темі дослідження, а саме: класичні підходи до управління якістю та стандартизації [1–3], розглядають якість в розрізі управління та організаційно-економічного моделювання управління будівництвом [4–6; 9–10], інноваційні та цифрові технології трансформації будівельних процесів [7; 8; 11].

Це підтверджує, що дослідження цифрового інструментарію управління якістю будівництва є логічним продовженням еволюції наукових підходів від нормативно-організаційних до інтегрованих цифрових моделей управління.

Виклад основного матеріалу дослідження. BIM-технології (інформаційне моделювання будівель) виступають базовим інструментом інтегрованого проектування, що дозволяє виявляти конструктивні колізії ще на етапі формування проектної документації (табл. 1). Це суттєво підвищує точність прийняття рішень і забезпечує зниження витрат, пов'язаних із переробками, виправленням дефектів та затримками у будівництві.

IoT-сенсори забезпечують безперервний моніторинг параметрів будівельних процесів у режимі реального часу. Їх застосування дозволяє здійснювати оперативний контроль якості матеріалів, технологічних операцій та умов виконання робіт. У результаті зменшується рівень браку, підвищується технологічна дисципліна та загальна безпека будівельного виробництва.

Важливу роль відіграють цифрові двійники, які формують віртуальні моделі будівельних об'єктів і процесів. Вони дають змогу моделювати різні сценарії реалізації проекту, прогнозувати виникнення дефектів і ризиків, а також оптимізувати використання ресурсів протягом усього життєвого циклу об'єкта. Це переходить систему управління якістю до превентивної (попереджувальної) моделі.

Хмарні платформи управління проектами забезпечують інтеграцію даних між усіма учасниками будівельного процесу – від замовника до проектувальників та підрядників і постачальників матеріально-технічних

Таблиця 1. Ефективність цифрового інструментарію управління якістю будівництва

Цифровий інструментарій	Функціональне призначення	Ефект для управління якістю	Результат
BIM-технології	Інформаційне моделювання будівель	Виявлення колізій на етапі проектування, підвищення точності рішень	Зниження витрат на переробки, скорочення строків будівництва
IoT-сенсори	Моніторинг параметрів будівництва в реальному часі	Оперативний контроль якості матеріалів і робіт	Зменшення браку, підвищення безпеки процесів
Цифрові двійники	Віртуальне моделювання об'єкта	Прогнозування дефектів та ризиків	Оптимізація ресурсів і життєвого циклу проекту
Хмарні платформи управління	Інтеграція даних учасників проекту	Прозорість і безперервність контролю якості	Зменшення адміністративних витрат
Big Data та AI-аналітика	Обробка великих масивів даних	Прогнозування відхилень і дефектів	Підвищення обґрунтованості управлінських рішень

Розроблено автором

ресурсів. Такий підхід підвищує прозорість управління якістю, забезпечує єдиний інформаційний простір та скорочує адміністративні витрати за рахунок автоматизації комунікацій і документообігу.

Окреме значення має використання Big Data та штучного інтелекту, які дозволяють обробляти великі масиви даних, виявляти приховані закономірності та прогнозувати відхилення у схожих процесах або етапах будівництва чи аналогічних видах робіт. Це підвищує обґрунтованість управлінських рішень і забезпечує перехід до цифрової моделі управління якістю.

Проведений аналіз свідчить, що цифрові інструменти формують комплексну систему управління якістю будівництва, в якій поєднуються функції контролю, прогнозування та оптимізації. Їх застосування забезпечує не лише підвищення технічної якості будівельної продукції, але й досягнення суттєвого економічного ефекту через зниження витрат, скорочення строків реалізації проєктів та мінімізацію ризиків.

Ефективне адміністрування цифрового інструментарію управління якістю будівництва потребує комплексного поєднання економічних та організаційних підходів. Їх синергія забезпечує підвищення ефективності функціонування будівельних підприємств, сприяє оптимізації витрат, підвищенню якості управлінських рішень та формуванню стійких конкурентних переваг в умовах цифрової трансформації галузі (табл. 2).

Серед економічних та організаційних підходів до адміністрування цифрового інструментарію управління якістю будівництва передусім важливим напрямом є економічна оцінка ефективності впровадження цифрових технологій, яка передбачає використання таких інструментів, як аналіз рентабельності інвестицій (ROI), сукупної вартості володіння (TCO) та оцінювання економії витрат. Застосування цих підходів дозволяє обґрунтувати доцільність цифровізації, визначити її економічний ефект і забезпечити раціональний розподіл інвестиційних ресурсів.

Наступним напрямом є оптимізація витрат, що досягається за рахунок зменшення витрат на усунення дефектів, скорочення простоїв та підвищення ефективності використання ресурсів. Використання автоматизованих систем обліку і контролю витрат сприяє підвищенню фінансової прозорості та рентабельності будівельних проєктів.

Важливе місце посідає формування єдиного інформаційного середовища для всіх учасників будівельного процесу. Застосування BIM-платформ, ERP-систем та інших цифрових рішень забезпечує узгодженість дій, синхронізацію процесів і підвищення ефективності управління якістю на всіх етапах життєвого циклу об'єкта.

Окремого значення набуває перехід від традиційних ієрархічних моделей до більш гнучких матричних або мережових структур. У цьому контексті з'являються нові професійні ролі (зокрема BIM-менеджери, цифрові

Таблиця 2. Економічні та організаційні підходи до адміністрування цифрового інструментарію управління якістю будівництва

Напрямок	Зміст	Ключові інструменти	Очікуваний результат
Економічна оцінка ефективності	Визначення доцільності впровадження цифрових технологій	ROI, TCO, аналіз економії витрат	Обґрунтування інвестицій у цифровізацію
Оптимізація витрат	Скорочення витрат на виправлення дефектів і простоїв	Контроль витрат, автоматизований облік	Підвищення рентабельності проєктів
Інтегроване управління	Формування єдиної цифрової платформи управління	BIM-платформи, ERP-системи	Узгодженість дій учасників будівництва
Організаційна трансформація	Перехід до мережових/матричних структур	Впровадження нових ролей (BIM-менеджер тощо)	Підвищення гнучкості управління
Розвиток цифрових компетенцій	Підготовка персоналу до роботи з цифровими системами	Навчання, цифрові тренінги, change management	Підвищення ефективності прийняття рішень

Розроблено автором

координатори), що забезпечують ефективне функціонування цифрових систем управління якістю.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Цифрова трансформація будівельної галузі формує нову парадигму управління якістю, яка базується на інтеграції сучасних цифрових технологій, економічних механізмів та організаційних підходів до адміністрування.

Застосування цифрового інструментарію, зокрема BIM-технологій, IoT-рішень, цифрових двійників, хмарних платформ та аналітики великих даних, забезпечує суттєве підвищення ефективності управління якістю будівництва. Це проявляється у зниженні рівня дефектності, підвищенні точності проектних і управлінських рішень, скороченні строків реалізації будівельних проектів та оптимізації використання ресурсів.

Економічний ефект від впровадження цифрових інструментів формується за рахунок зменшення витрат на переробки, скорочення простоїв, підвищення продуктивності праці та зниження адміністративних витрат. Водночас ефективність цифровізації залежить від комплексності її впровадження та рівня цифрової зрілості підприємств, що зумовлює необхідність використання системних підхо-

дів до оцінювання інвестиційної доцільності цифрових рішень.

Організаційні аспекти адміністрування цифрового інструментарію є ключовим фактором його результативності. Впровадження цифрових технологій потребує трансформації управлінських структур, переходу до інтегрованих платформ управління, розвитку нових професійних ролей та формування цифрових компетенцій персоналу. Важливого значення набуває також подолання опору змінам і формування культури прийняття рішень на основі даних.

Ефективне адміністрування цифрових систем управління якістю будівництва можливе за умови поєднання економічних та організаційних підходів, що забезпечують синергію між технологічними можливостями та управлінськими практиками.

Цифровий інструментарій є важливим чинником підвищення конкурентоспроможності будівельних підприємств і якості будівельної продукції. Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні інтегрованих моделей оцінювання ефективності цифрових технологій, а також у вдосконаленні методичних підходів до їх впровадження в умовах невизначеності та динамічних змін зовнішнього середовища.

Література:

1. Вербівська Л. В. Функціональне значення сертифікації, стандартизації та управління якістю продукції в сучасних бізнес-процесах. Економіка та суспільство. Одеса, 2023. Вип. 54. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-78>.
2. Тарасюк В. Г., Лац Н. В. Питання оцінювання відповідності продукції у будівництві. Наука та будівництво. Київ, 2015. № 1. С. 4.
3. Менеджмент якості в будівництві та виробничі організаційні системи: монографія / Лівінський О. М. та ін.. Київ: Центр учбової літератури, 2018. 230 с
4. Зельцер Р. Я. Інноваційні моделі і методи організації, управління і економічної оцінки технологічних процесів будівельного виробництва: монографія. Київ : «МП Леся», 2018. 208 с.
5. Барзилович Д., Буравченко С., Лагунова І., Дмитрук О., Середюк С., Підгорецький Ю. Системний перегляд якості державного регулювання надання будівельної продукції на ринок: зелена книга. Офіс ефективного регулювання. Київ, 2017. 120 с.
6. Organizational and technological model engineering in the construction industry : collective monograph / P. Ye. Hryhorovskiy et. al. Lviv – Toruń : Liha-Pres, 2019. 128 p.
7. Беленкова О., Цифра Т., Казьмін О. (2023). Система визначення технічної прийнятності будівельної продукції – досвід Європи та Азії. Управління розвитком складних систем, (56), 123–130. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.123-130>
8. Technical and economic aspects of real estate properties: collective monograph / Nikolaiev V.P. et. al. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 2019. 124 p.
9. Сорокіна, Л. В.; Стеценко, С. П.; Гойко, А. Ф.; Измайлова, К. В.; Моголівець, А. А.; Цифра, Т. Ю.... Оліферук, С. Л.; Економетричний інструментарій управління фінансовою безпекою будівельного підприємства: монографія. Київ : КНУБА, 2023. 426 с.
10. Bolila N.V. (2019) Funktsionalno-operatsiina transformatsiia system upravlinnia budivelnym pidpriemstvom na gruntі Cals-tekhnologii. Upravlinnia rozvytkom skladnykh system. № 40. 156–159; [dx.doi.org\10.6084/m9.figshare.11969097](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11969097).

References

1. Вербівська, Л. В. (2023). Функціональне значення сертифікації, стандартизації та управління якістю продукції в сучасних бізнес-процесах. Економіка та суспільство, (54). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-78>
2. Тарасюк, В. Г., & Лац, Н. В. (2015). Питання оцінювання відповідності продукції у будівництві. Наука та будівництво, (1), 4.

3. Лівінський, О. М., та ін. (2018). Менеджмент якості в будівництві та виробничі організаційні системи. Київ : Центр учбової літератури.
4. Зельцер, Р. Я. (2018). Інноваційні моделі і методи організації, управління і економічної оцінки технологічних процесів будівельного виробництва. Київ : МП Леся.
5. Барзилович, Д., Буравченко, С., Лагунова, І., Дмитрук, О., Середюк, С., & Підгорецький, Ю. (2017). Системний перегляд якості державного регулювання надання будівельної продукції на ринок: зелена книга. Київ : Офіс ефективного регулювання.
6. Hryhorovskiy, P. Ye., et al. (2019). Organizational and technological model engineering in the construction industry. Lviv–Toruń: Liha-Pres.
7. Беленкова, О., Цифра, Т., & Казьмін, О. (2023). Система визначення технічної прийнятності будівельної продукції – досвід Європи та Азії. Управління розвитком складних систем, (56), 123–130. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.123-130>
8. Nikolaiev, V. P., et al. (2019). Technical and economic aspects of real estate properties. Lviv–Toruń: Liha-Pres.
9. Сорокіна, Л. В., Стеценко, С. П., Гойко, А. Ф., Ізмайлова, К. В., Моголівець, А. А., Цифра, Т. Ю., ... Оліферук, С. Л. (2023). Економетричний інструментарій управління фінансовою безпекою будівельного підприємства. Київ: КНУБА.
10. Bolila, N. V. (2019). Funktsionalno-operatsiina transformatsiia system upravlinnia budivelnym pidpriemstvom na gruntі CALS-tekhnologii. Upravlinnia rozvytkom skladnykh system, (40), 156–159. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11969097>.

EFFECTIVENESS OF DIGITAL QUALITY MANAGEMENT TOOLS IN CONSTRUCTION: ECONOMIC AND ORGANIZATIONAL APPROACHES

Abstract. *The article examines the effectiveness of digital quality management tools in construction in the context of active digital transformation of the construction industry. The relevance of the topic is due to the increasing requirements for the quality of construction products, the need to reduce costs and project implementation times, as well as the transition to integrated digital management models at all stages of the life cycle of a construction facility. It is substantiated that digitalization is a key factor in increasing the efficiency of quality management systems, ensuring the transition from manual control procedures to continuous, digital and integrated management.*

The role of modern digital technologies, in particular BIM modeling, the Internet of Things, digital twins, cloud project management platforms and big data analytics tools, in ensuring comprehensive quality control of construction processes is revealed. It was established that their use allows to increase the accuracy of design and technological solutions, to ensure operational monitoring of construction parameters in real time, to minimize the risks of defects and to increase the overall reliability of construction objects. Particular attention is paid to the transition from reactive to proactive quality management based on predictive analytics.

The study analyzed the cost-effectiveness of implementing digital tools, which is manifested in reducing the costs of eliminating defects and rework, reducing the duration of construction projects, optimizing the use of material and labor resources, as well as increasing the productivity of management processes. The feasibility of using integrated approaches to assessing the effectiveness of digital solutions, in particular based on ROI and TCO indicators, taking into account long-term and indirect economic effects, is substantiated.

The organizational aspects of administering digital quality management systems are separately considered. It was established that their effective implementation requires the transformation of management structures, the formation of a single digital environment for interaction between construction participants, the introduction of new roles (BIM managers, digital coordinators) and the development of digital competencies of personnel. It was emphasized that an important factor in success is overcoming resistance to organizational changes and forming a culture of data-based decision-making.

It was summarized that the effectiveness of digital construction quality management tools is ensured only under the condition of systematic integration of technological, economic and organizational approaches, which contributes to increasing the competitiveness of construction enterprises and the formation of a modern quality management model.

Keywords: *quality management, construction, digitalization, BIM technologies, digital tools, efficiency, economic approaches, organizational approaches, administration, digital transformation, design quality, European integration, sustainable development, construction, construction organization, digital platforms.*

Novak Ye. V.

Ph.D., Assistant Professor,

Yuri Fedkovych National University of Chernivtsi, Chernivtsi