

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-367-4>

УДК 658.5:005.591.6

ЗАЯЦЬ ЄВГЕН

Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

<https://orcid.org/0000-0002-7382-919X>e-mail: zei83dici@gmail.com**ПАХОМОВ МАКСИМ**

Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

<https://orcid.org/0009-0007-2620-3358>e-mail: maximPGS@gmail.com

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ОПЕРАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ В СИСТЕМІ ТЕХНІЧНОГО НАГЛЯДУ НА СТАБІЛЬНІСТЬ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ БУДІВНИЦТВА

У статті досліджується вплив операційного контролю якості при здійсненні функцій технічного нагляду на забезпечення стабільності організаційно-технологічних процесів будівництва в умовах підвищеної складності сучасних будівельних проєктів. У роботі встановлено, що організаційно-технологічні процеси, особливо у каркасно-монолітному будівництві, характеризуються високим рівнем взаємозалежності окремих етапів, що зумовлює чутливість системи до технологічних порушень і відхилень. У статті було обґрунтовано, що операційний контроль якості виступає не лише інструментом фіксації дефектів, а комплексним управлінським механізмом, спрямованим на їх попередження, мінімізацію накопичення та забезпечення дотримання графіка виконання робіт.

Крім того, у статті запропоновано формалізований підхід до опису взаємозв'язку між рівнем операційного контролю, кількістю дефектів та відхиленням від графіка будівництва, що дозволило встановити нелінійний характер впливу контролю на якість і стабільність процесів. Доведено, що найбільший ефект досягається на початкових етапах посилення операційного контролю якості, тоді як подальше нарощування контрольних заходів характеризується ефектом насичення. Визначено критичні етапи будівництва, на яких доцільно концентрувати контрольні заходи, зокрема улаштування опалубки, армування, встановлення складних деталей, бетонування, контроль міцності бетонних конструкцій тощо. Окрему увагу приділено впровадженню цифрових інструментів контролю, включаючи BIM-технології, мобільні системи технічного нагляду, геоприв'язку, безпілотні літальні апарати, лазерне сканування, GIS-рішення та цифрові двійники. Обґрунтовано, що їх використання забезпечує перехід до безперервного моніторингу будівельного процесу, підвищує об'єктивність оцінювання, скорочує час реагування та зменшує вплив людського фактору. Зроблено висновок, що ефективна організація операційного контролю якості фахівцем технічного нагляду є визначальним чинником забезпечення передбачуваності, технологічної узгодженості та стабільності реалізації будівельних проєктів.

Ключові слова: операційний контроль якості, технічний нагляд, будівництво, BIM-технології, цифровий моніторинг.

ZAIATS YEVHEN, PAKHOMOV MAKSYM

Ukrainian State University of Science and Technologies,
ESI Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture

ANALYSIS OF THE IMPACT OF OPERATIONAL QUALITY CONTROL WITHIN THE TECHNICAL SUPERVISION SYSTEM ON THE STABILITY OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL CONSTRUCTION PROCESSES

This article examines the impact of operational quality control in technical supervision on ensuring the stability of organizational and technological processes in construction, given the increased complexity of modern construction projects. The study establishes that organizational and technological processes, particularly in frame-monolithic construction, are characterized by a high degree of interdependence among individual stages, which makes the system sensitive to technological disruptions and deviations. The article demonstrates that operational quality control serves not only as a tool for identifying defects but also as a comprehensive management mechanism aimed at preventing them, minimizing their accumulation, and ensuring adherence to the construction schedule.

Furthermore, the article proposes a formalized approach to describing the relationship between the level of operational control, the number of defects, and deviations from the construction schedule, which has made it possible to establish the nonlinear nature of the impact of control on the quality and stability of processes. It has been proven that the greatest effect is achieved in the initial stages of strengthening operational quality control, while further intensification of control measures is characterized by a saturation effect. Critical construction stages have been identified on which it is advisable to concentrate control measures, in particular reinforcement, concrete pouring, structural jointing, installation of engineering systems, etc. Special attention is given to the implementation of digital control tools, including BIM technologies, mobile technical supervision systems, georeferencing, unmanned aerial vehicles, laser scanning, GIS solutions, and digital twins. It is argued that their use facilitates the transition to continuous monitoring of the construction process, enhances the objectivity of assessments, shortens response times, and reduces the influence of human error. It is concluded that the effective organization of operational quality control in technical supervision is a decisive factor in ensuring predictability, technological consistency, and stability in the implementation of construction projects.

Keywords: operational quality control, technical supervision, construction, BIM technologies, digital monitoring.

Стаття надійшла до редакції / Received 19.05.2026

Прийнята до друку / Accepted 17.07.2026

Опубліковано / Published 31.07.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Заяць Євген, Пахомов Максим

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

У сучасних умовах будівництво характеризується складністю проведення організаційно-технологічних процесів, підвищенням вимог до якості робіт, а також значним скороченням строків реалізації проєктів. Крім того, особливої актуальності окреслена проблематика набуває у сфері каркасно-монолітного будівництва, де якість виконання відповідної операції безпосередньо впливає й на подальші етапи робіт, стабільність графіка, витрати ресурсів тощо. А тому, недостатній рівень операційного контролю якості зумовлює накопичення комплексу дефектів, технологічних порушень і організаційних відхилень, які на ранніх стадіях можуть залишатися латентними, однак у подальшому призводять до затримок, необхідності виконання додаткових робіт та інших деструктивних факторів.

У зв'язку із зазначеним актуалізується потреба щодо обґрунтування ролі операційного контролю не лише як ефективного інструменту моніторингу, а й як системного механізму управління стабільністю організаційно-технологічних процесів. Тим не менш, варто зауважити, що на практиці залишається недостатньо розкритим питання кількісного відображення взаємозв'язку між рівнем операційного контролю, кількістю дефектів і відхиленням від графіка будівництва.

Аналіз досліджень та публікацій

Вплив операційного контролю якості на стабільність організаційно-технологічних процесів будівництва, а також суміжні аспекти стали предметом дослідження ряду відомих вітчизняних та зарубіжних авторів. Серед них, особливу увагу слід звернути на напрацювання таких авторів: Тисленко П. В., Ключко А. В., Шебанова М. О.; Лав П. Е. Д., Тео П., Моррісон Дж., Гроув М.; Білал М., Ойеделе Л. О., Кадір Дж., Мунір К.; Істман К., Тайхольц П., Сакс Р., Лістон К.; Суккар Б., Кассем М.; Чжан Дж. П., Ху З. З.; Деркач С. І.; Боже К., Герр'єро А., Кубіцький С., Резгуї Є.; Новак Є. В.

Тим не менш, навіть враховуючи таку ґрунтовну науково-практичну базу, залишається актуальним питанням проведення комплексного дослідження щодо аналізу впливу операційного контролю якості на стабільність організаційно-технологічних процесів будівництва.

Формулювання цілей статті

Мета статті полягає в аналізі впливу операційного контролю якості в системі технічного нагляду на стабільність організаційно-технологічних процесів будівництва, а також в обґрунтуванні напрямів удосконалення організації контролю якості у каркасно-монолітному будівництві.

Виклад основного матеріалу

Аналіз впливу операційного контролю якості на стабільність організаційно-технологічних процесів будівництва є комплексним питанням, що зумовлює висвітлення ряду теоретично-доктринальних та практичних аспектів. Крім того, організаційно-технологічні процеси у межах каркасно-монолітного будівництва характеризуються високим рівнем складності, багаторівневою структурою взаємодій, а також й значною залежністю між окремими стадіями проведення відповідних робіт [1]. Варто зауважити, що фактично кожна дія в окресленій системі не є виключно самостійною технологічною одиницею, а тому її доцільно розглядати крізь призму ширшого процесу, де відповідне відхилення зумовлює кумулятивний ефект. А тому, навіть дрібні порушення технологічної дисципліни чи прояв інших деструктивних чинників у межах організаційно-технологічних процесів будівництва, можуть зумовлювати подальші ускладнення на інших стадіях будівництва, включаючи при цьому зниження якості самої конструкції, а також й затримки реалізації відповідного проєкту. Ключова особливість зазначених процесів лежить в площині формування чутливості до ряду чинників, серед яких особливого значення набувають наступні: людський фактор, активні зміни зовнішнього середовища, зокрема потенційні збої у логістичному забезпеченні, нестабільність постачання та зниження якості матеріалів.

Не вдаючись до детального огляду теоретично-доктринальної площини, що виходить за межі даного дослідження, під будівельним процесом пропонується розуміти комплексну динамічну (поетапну) систему, що функціонує за допомогою синтезування ряду факторів [2]. Серед них, особливого практичного значення набувають: організація операційного контролю якості; кількість технологічних порушень чи інших деструктивних аспектів під час організації будівельного процесу; ступінь відхилення від визначеного графіку будівництва. Що стосується організації операційного контролю якості, то остання передбачає забезпечення необхідної періодичності, повноти та якості проведення відповідних перевірок, а також оперативність реагування на порушення чи виявленні відхилення. Відтак, у разі недостатнього контролю органічно зростає ймовірність виникнення, розвитку чи накопичення деструктивних факторів (дефектів), які можуть бути латентними на ранніх стадіях будівництва. Враховуючи той факт, що відповідні дефекти, порушення, затримки тощо зумовлюють проведення додаткових дій у межах однієї чи декількох стадій будівництва, це неодмінно впливає й на виконання затвердженого календарного графіку та впливає на тривалість будівництва. Окреслені теоретично-доктринальні параметри формують замкнуте коло взаємодії, яке можна визначити у вигляді причинно-наслідкового зв'язку у рис. 1.



Рис. 1 Причинно-наслідковий цикл впливу операційного контролю якості на стабільність організаційно-технологічних процесів

Як вбачається з рис. 1 послідовність подій представлена наступним чином: недостатній рівень контролю → накопичення дефектів і порушень; дефекти та порушення → затримки виконання робіт і відхилення від графіка будівництва; відхилення від графіка → дестабілізація організаційно-технологічного процесу. Тим не менш, слід зауважити, що представлена послідовність подій характеризується тим, що на відповідних етапах будівельного процесу навіть незначна акумуляція дефектів може стати каталізатором деструкції стабільності системи [3]. Фактично це обґрунтовується крізь призму категорії «акумуляції помилок», що передбачає синтезування кількох незначених відхилень/порушень, які у комплексі призводять до критичних наслідків.

Враховуючи вищевикладене, під операційним контролем якості доцільно розуміти один із ключових регулюючих елементів системи, що забезпечує належне підтримання її стабільності функціонування. Відповідно, ефективність такого елемента й забезпечує здатність системи своєчасно та оперативно фіксувати, виявляти та запобігати відхиленням та порушенням. Таким чином, у даному вимірі, контроль якості розглядається не тільки як інструмент проведення перевірки та оцінки стану проведення будівельного процесу, однак й як комплексний механізм управління, що прямо впливає на стабільність та передбачуваність реалізації організаційно-технологічних процесів під час будівництва.

Надалі, на основі наведених теоретично-доктринальних положень пропонується представити причинно-наслідкові зв'язки за допомогою їх формалізації. Видається, що це надає можливість не тільки якісно, однак й кількісно визначити вплив операційного контролю якості на забезпечення стабільності проведення організаційно-технологічних процесів відповідного будівництва. У зв'язку з чим, пропонується ввести узагальнений показник рівня операційного контролю якості - C , який і відображає обсяг проведення відповідних перевірок, показник використання дієвих механізмів/заходів (на кшталт цифрових продуктів контролю за реалізацією відповідного етапу будівництва) та оперативність і здатність ефективного реагування на ідентифіковані порушення чи недоліки. Таким чином, кількість дефектів D , що виникають у межах відповідного об'єкта будівництва, доцільно розглядати як функцію зазначеного показника.

$$D = D_0 e^{-kC} \quad (1);$$

де D_0 - це базовий рівень дефектності, що відображає наявний стан будівельного процесу до посилення заходів операційного контролю;

e - це основа натурального логарифма (математична стала, що дорівнює 2,71828), що використовується для опису експоненційної залежності між відповідним рівнем операційного контролю якості та кількістю дефектів.

k - це коефіцієнт ефективності всієї системи контролю.

Варто зауважити, що запропонований коефіцієнт k характеризує ефективність системи операційного контролю та відображає відповідну ступінь впливу контрольних заходів на зниження дефектності. У такому разі, чим вищим є показник k , тим відповідно й більш чутливою є система будівництва до інтеграції контрольних механізмів. У прикладному аспекті цей коефіцієнт може визначатися емпірично на основі відповідних статистичних даних щодо кількості виявлених дефектів та обсягу контрольних заходів на окремому будівельному об'єкті.

У свою чергу, запропонований узагальнений показник рівня організації операційного контролю якості C доцільно розглядати як уніфікований інтегральний параметр, що формується на основі синтезування наступних складових: частоти проведення перевірок, рівня цифровізації основних контрольних процедур, оперативності реагування на виявлені порушення (відхилення), повноти технічного нагляду, а також й ступеня охоплення критичних етапів будівництва відповідними контрольними заходами.

Додаткову увагу належить віднести до наявності від'ємного показника ступеня у формулі (1). Дана особливість лежить в площині того, що між рівнем операційного контролю якості та кількістю дефектів існує обернена залежність: тобто зі зростанням ефективності контролю показник дефектності неодмінно зменшується. З практичної точки зору, визначена залежність відображає експоненційний характер зниження показника дефектності, що лежить в площині різкого скорочення кількості відповідних порушень на початкових етапах підвищення рівня контролю.

Враховуючи експоненційний характер даної функції, це надає можливість відобразити ситуацію, за якої найбільше скорочення дефектів досягається на початкових етапах підвищення рівня контролю, тоді як подальше

його посилення характеризується поступовим скороченням приросту ефективності. Фактично це означає, що навіть при частковому вдосконаленні організаційного механізму забезпечення контролю якості (як-от систематизація перевірок, інтеграція елементів інформаційно-телекомунікаційного чи цифрового моніторингу), стає можливим значно знизити рівень прояву відповідних дефектів у межах будівництва. Тим не менш, варто зауважити, що подальша концентрація контролю зумовлює поступове зменшення ефекту від таких заходів. Видається, що це вказує на нелінійний характер залежності та формування так званого «насичення системи». Варто звернути увагу й на те, що кількість дефектів впливає й на відхилення від запланованого графіку виконання будівельних робіт. Це пояснюється тим, що нівелювання або усунення зазначених дефектів потребує інтеграцію додаткових ресурсів, часу, а також може передбачати й порушення технологічного етапу (послідовності).

Як вбачається з рис. 2, найбільш виражене скорочення кількості дефектів спостерігається на початкових етапах підвищення рівня операційного контролю якості, тоді як подальше нарощування контрольних заходів має менш відчутний ефект. А тому, подальше його підвищення не супроводжується пропорційним зменшенням дефектності. Це обґрунтовує пошук балансу рівня операційного контролю з урахуванням ресурсних можливостей і особливостей будівельного процесу.

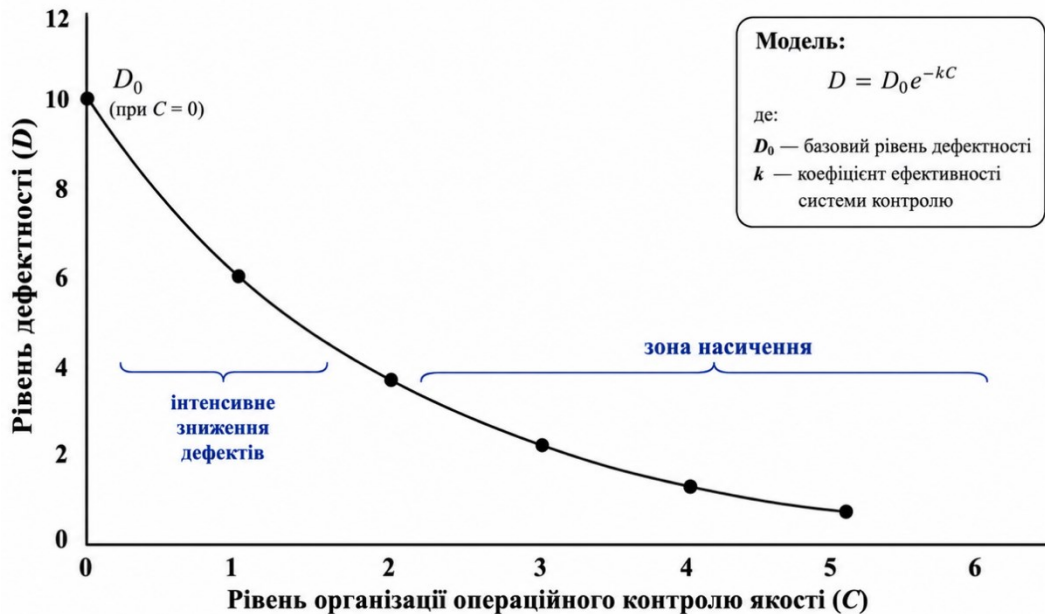


Рис. 2. Концептуальна експоненціальна залежність кількості дефектів від рівня операційного контролю якості

Резюмуючи, можна дійти до висновку, що формалізоване представлення взаємозв'язків між рівнем контролю, показником дефектності, а також відповідними відхиленнями від запланованого графіка вказує на визначальний вплив операційного контролю якості у межах забезпечення стабільності реалізації будівельних проектів.

Таким чином, отримані результати взаємозв'язку між рівнем операційного контролю за якістю та дефектністю, зумовлюють визначення прикладних аспектів забезпечення управління процесом будівництва. Видається, що парадигма визначення впливу операційного контролю якості на стабільність організаційно-технологічних процесів будівництва має фокусуватись не на збільшенні контролю, а на забезпеченні раціональної організації з урахуванням особливостей об'єкта, відповідної стадії будівництва, а також визначених ресурсних обмежень. Крім того, операційний контроль варто розглядати і як динамічний захід, ефективність від проведення якого лежить в площині здатності забезпечити своєчасне виявлення найбільш деструктивних факторів. А тому, це передбачає концентрацію ключових контрольних заходів у найбільш відповідальних сегментах процесу, де вірогідність виникнення та розвитку дефектів є найвищою. Розглядаючи каркасно-монолітне будівництво, пропонується визначити наступні етапи, де концентрація відповідних контрольних заходів має бути високою. Насамперед це процеси армування та бетонування конструкцій, оскільки саме на даному етапі й формуються ключові параметри несучої здатності майбутніх елементів. Крім того, важливого значення набуває бетонування (та витримка бетону), де недотримання технологічних режимів можуть призвести до розвитку прихованих дефектів і подальшого зниження експлуатаційної надійності конструкцій. Окремого ж контролю потребують приховані роботи, зокрема улаштування арматурних каркасів, закладних елементів, вузлів з'єднання, доступ до яких після завершення наступних етапів будівництва є обмеженим або неможливим.

Крім того, доцільно висвітлити й диференційований підхід щодо організації контролю залежно від складності будівельних робіт. Для типових операцій, як правило, можуть застосовуватися спрощені контрольні процедури або часткова автоматизація перевірки якості виконання будівельних робіт. Натомість, складні конструктивні рішення потребують розширеного технічного нагляду. Враховуючи сучасний розвиток інформаційно-телекомунікаційних технологій та активну інтеграцію цифровізаційних процесів до значної кількості галузей, доцільним є використання інноваційних засобів проведення аналізу впливу операційного

контролю якості на стабільність організаційно-технологічних процесів будівництва. Зокрема, окремого значення набуває впровадження цифрових інструментів, що забезпечують безперервний моніторинг у режимі реального часу та інтеграцію контрольних процедур у загальну систему управління проектом будівництва. Слід зауважити, що мова йде не лише про фіксацію отриманих результатів перевірок, а й формування уніфікованого цифрового середовища, в якому дані про якість виконання робіт накопичуються, структуруються та використовуються в подальшому з метою ухвалення оперативних управлінських рішень [4].

Не менш важливим є поширення сучасних мобільних застосунків для технічного нагляду, систем фото- та відеофіксації з визначенням геопозиції, разом з інтеграцією інформаційних моделей будівництва (BIM) надає реальну можливість відобразити просторово-часову ідентифікацію дефектів, та забезпечити контроль за виконанням відповідних коригувальних заходів [5]. Додаткового імпульсу до розвитку інноваційних рішень щодо проведення операційного контролю забезпечує активне використання безпілотних літальних апаратів. Зокрема, за допомогою використання останніх разом з інтеграцією технології лазерного сканування стає можливим проведення дистанційного контролю за обсягами та якістю проведених будівельних робіт. Це може бути використано, зокрема, порівнюючи фактичний стан об'єкта з проектними рішеннями у цифровому вигляді [6,7]. Що стосується каркасно-монолітного будівництва, то такий захід може бути використаний, зокрема щодо фіксації процесів армування та бетонування із подальшою перевіркою відповідності BIM-моделі; у межах проведення контролю геометрії відповідних конструкцій шляхом порівняння хмар точок із проектними даними; а також щодо здійснення автоматизованого ведення актів на приховані роботи з прив'язкою до конкретних зон об'єкта тощо.

У такому випадку інтеграція відповідних цифрових інструментів у систему операційного контролю якості при здійсненні функцій технічного нагляду надає можливість забезпечити перехід від епізодичних (періодичних) перевірок до системного та безперервного моніторингу будівельного процесу в режимі реального часу [8]. Водночас, слід звернути увагу, що технічний нагляд трансформується з переважно інспекційного механізму фіксації відповідних порушень (відхилень) у комплексний та уніфікований елемент системи управління якістю самого будівництва. До того ж це дозволяє своєчасно передбачити передумови щодо виникнення різноманітних дефектів і технологічних відхилень ще до моменту їх критичного прояву. Таким чином, на основі накопичених даних й формується необхідна аналітична база для подальшого прогнозування ризиків, визначення проблемних ділянок будівництва та оптимізації розподілу контрольних ресурсів. У результаті створюється комплексний механізм управління якістю, орієнтований не лише на фіксацію та усунення дефектів, а й на їх попередження. Резюмуючи, слід вказати, що вищевикладене сприяє підвищенню об'єктивності оцінювання якості виконаних робіт, скороченню часу реагування на виявлені порушення, мінімізації впливу людського фактору [9,10] та забезпеченню стабільності організаційно-технологічних процесів будівництва.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Таким чином, у межах проведеного дослідження було встановлено, що операційний контроль якості при здійсненні функцій технічного нагляду є важливою складовою забезпечення стабільності організаційно-технологічних процесів будівництва. Це зумовлено тим, що відповідні механізми дозволяють не лише виявляти дефекти, а й запобігати їх накопиченню, своєчасно реагувати на технологічні відхилення та знижувати ризик порушення графіка виконання робіт. Крім того, формалізація взаємозв'язку між рівнем організації операційного контролю якості, показником дефектності та відхиленнями від графіка довела нелінійний характер такого впливу: найбільший ефект досягається на початкових етапах посилення контролю, що обґрунтовує необхідність його оптимізації з урахуванням ресурсних обмежень і складності будівельних процесів.

Окремої уваги заслуговує прикладний висновок: у каркасно-монолітному будівництві контроль якості доцільно концентрувати на критичних етапах (улаштування опалубки, армування, встановлення закладних деталей, бетонування, догляд за бетоном, розпалубка, контроль міцності бетонних конструкцій). Дедалі вагомішою стає й інтеграція цифрових інструментів (BIM, мобільні рішення, БПЛА, GIS, цифрові двійники), які забезпечують безперервний моніторинг, підвищують об'єктивність оцінювання та зменшують вплив людського фактору. Поєднання раціональної концентрації контролю на найбільш відповідальних етапах із цифровими засобами моніторингу дозволяє розглядати операційний контроль якості не як допоміжну процедуру фіксації дефектів, а як системоутворюючий механізм управління, що визначає стабільність, передбачуваність і технологічну узгодженість реалізації будівельних проектів.

Література

1. Тисленко П. В., Клочко А. В., Шебанова М. О. Аналіз факторів впливу на показники якості виконання будівельних робіт, визначені на основі системного аналізу. Build-Master-Class-2024 : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених (м. Київ, листопад 2024 р.). Київ, 2024. DOI: <https://doi.org/10.59647/978-617-520-936-3/1>.
2. Пахомов М. В., Заяць Є. І. Аналіз організації контролю якості будівельних робіт у каркасно-монолітному будівництві. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2025. № 4 (028). С. 127–135. DOI: <https://doi.org/10.30838/UJCEA.2312.270425.127.1183>.

3. Love P. E. D., Teo P., Morrison J., Grove M. Quality and safety in construction: creating a “no harm environment”. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2016. Vol. 142, No. 8. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001133](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001133).
4. Bilal M., Oyedele L. O., Qadir J., Munir K. Big data in the construction industry: a review of present status, opportunities, and future trends. *Advanced Engineering Informatics*. 2016. Vol. 30, No. 3. P. 500–521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.07.001>.
5. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 2nd ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2011. 648 p.
6. Succar B., Kassem M. Macro-BIM adoption: conceptual structures. *Automation in Construction*. 2015. Vol. 57. P. 64–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.018>.
7. Zhang J. P., Hu Z. Z. BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: principles and methodologies. *Automation in Construction*. 2011. Vol. 20, No. 2. P. 155–166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.013>.
8. Деркач С. І. Інноваційний підхід до модернізації житлової забудови на засадах сталого розвитку. *Нові технології в будівництві*. 2023. № 43. С. 3–11. DOI: <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2023.43.1>.
9. Boje C., Guerriero A., Kubicki S., Rezgui Y. Towards a semantic construction digital twin: directions for future research. *Automation in Construction*. 2020. Vol. 114. Article 103179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>.
10. Новак Є. В. Ефективність цифрового інструментарію управління якістю будівництва: економічні та організаційні підходи. *Нові технології в будівництві*. 2024. № 45. С. 69–77. DOI: <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.45.10>.

References

1. Tyslenko P. V., Klochko A. V., Shebanova M. O. (2024) Analiz faktoriv vplyvu na pokaznyky yakosti vykonannya budivelnnykh robot, vyznachenі na osnovі systemnoho analizu. [Analysis of factors influencing the quality indicators of construction works based on system analysis]. *Build-Master-Class-2024: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists*. Kyiv. DOI: <https://doi.org/10.59647/978-617-520-936-3/1>. [in Ukrainian].
2. Pakhomov M. V., Zaiats Ye. I. (2025) Analiz orhanizatsii kontroliu yakosti budivelnnykh robot u karkasno-monolitnomu budivnytstvi. [Analysis of the organization of quality control of construction works in frame-monolithic construction]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury*. No. 4(028). 127–135. DOI: <https://doi.org/10.30838/UJCEA.2312.270425.127.1183>. [in Ukrainian].
3. Love P. E. D., Teo P., Morrison J., Grove M. (2016) Quality and safety in construction: creating a “no harm environment”. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 142(8). DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001133](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001133).
4. Bilal M., Oyedele L. O., Qadir J., Munir K. (2016) Big data in the construction industry: a review of present status, opportunities, and future trends. *Advanced Engineering Informatics*. Vol. 30(3). 500–521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.07.001>.
5. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. (2011) *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons. 648 p.
6. Succar B., Kassem M. (2015) Macro-BIM adoption: conceptual structures. *Automation in Construction*. Vol. 57. 64–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.018>.
7. Zhang J. P., Hu Z. Z. (2011) BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: principles and methodologies. *Automation in Construction*. Vol. 20(2). 155–166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.013>.
8. Derkach S. I. (2023) Innovatsiynyi pidkhid do modernizatsii zhytlovoi zabudovy na zasadakh staloho rozvytku. [Innovative approach to modernization of residential development based on sustainable development principles]. *Novi tekhnolohii v budivnytstvi*. No. 43. 3–11. DOI: <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2023.43.1>. [in Ukrainian].
9. Boje C., Guerriero A., Kubicki S., Rezgui Y. (2020) Towards a semantic construction digital twin: directions for future research. *Automation in Construction*. Vol. 114. Article 103179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>.
10. Novak Ye. V. (2024) Efektyvnist tsyfrovoho instrumentariu upravlinnia yakistiu budivnytstva: ekonomichni ta orhanizatsiyni pidkhody. [Efficiency of digital tools for construction quality management: economic and organizational approaches]. *Novi tekhnolohii v budivnytstvi*. No. 45. 69–77. DOI: <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.45.10>. [in Ukrainian].