

**Руслан ЖАЛДАК<sup>1</sup>,**

доктор філософії, старш. викладач  
ORCID: 0000-0002-6139-1506

**Дмитро ПРУСОВ<sup>1</sup>,**

д-р техн. наук, професор  
ORCID: 0000-0002-1720-2798

**Олег ПРИХОДЬКО<sup>2</sup>,**

директор  
ORCID: 0000-0002-3092-6782

<sup>1</sup>Інститут інноваційної освіти Київського національного університету  
будівництва і архітектури, м. Київ  
<sup>2</sup>ТОВ "МКСБУДТРАНС", м. Вишневе

## **ШЛЯХИ ІНТЕГРАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО НАГЛЯДУ В СЕРЕДОВИЩЕ ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВНИЦТВА ДЛЯ ПЕРЕХОДУ ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО СУПРОВОДУ**

*Інтеграція технічного нагляду в середовище інформаційного моделювання будівництва (ВІМ) виступає ключовим напрямом трансформації систем управління будівельними проєктами в умовах цифровізації галузі. Сучасні підходи до організації будівельного виробництва потребують підвищення рівня прозорості, оперативності та достовірності контролю якості виконання робіт, що обумовлює необхідність переходу до автоматизованих форм науково-технічного супроводу. У цьому контексті ВІМ-технології створюють передумови для інтеграції технічного нагляду в єдине цифрове інформаційне середовище, забезпечуючи безперервний обмін даними між усіма учасниками будівельного процесу.*

*Розглядається сутність технічного нагляду як складової системи контролю та управління якістю будівництва, що спрямована на забезпечення відповідності виконуваних робіт проєктним рішенням, нормативним вимогам і стандартам. Визначено, що традиційні методи здійснення технічного нагляду мають обмежену ефективність через фрагментарність інформації, затримки в її обробці та відсутність інтегрованих цифрових інструментів. Завпровадження ВІМ дозволяє подолати зазначені обмеження шляхом створення єдиного інформаційного простору, у якому дані про стан об'єкта будівництва оновлюються в режимі реального часу.*

*Обґрунтовано напрями інтеграції технічного нагляду в ВІМ-середовище, зокрема: використання цифрових моделей для контролю відповідності виконаних робіт проєктним параметрам; застосування автоматизованих інструментів моніторингу та аналізу відхилень; впровадження систем збору та обробки даних на основі сенсорних технологій; інтеграція інформаційно-аналітичних платформ для підтримки прийняття управлінських рішень. Особлива увага приділяється можливостям використання алгоритмів автоматизованої перевірки, цифрових двійників та хмарних сервісів для забезпечення безперервного контролю будівельних процесів.*

ISSN друкованої версії: 2707-501X

ISSN електронної версії: 2707-9376



© Жалдак Р.Ю., Прусов Д.Е., Приходько О.О., 2026

*Значення набуває також можливість інтеграції BIM із системами автоматизованого моніторингу, інтернету речей (IoT) та аналітичними інструментами обробки великих даних, що дозволяє забезпечити безперервне відстеження параметрів будівельного процесу в режимі реального часу. Це створює передумови для впровадження превентивного контролю, який базується на прогнозуванні можливих відхилень і своєчасному реагуванні на них.*

**Ключові слова:** *технічний нагляд, BIM, інформаційне моделювання будівництва, автоматизація, цифровізація будівництва, контроль якості, будівельні проекти, науково-технічний супровід.*

**Вступ.** Сучасний розвиток будівельної галузі відбувається в умовах активної цифрової трансформації, що охоплює всі етапи життєвого циклу об'єктів будівництва – від проектування до експлуатації. Одним із ключових напрямів цієї трансформації є впровадження технологій інформаційного моделювання будівництва (BIM), які забезпечують інтеграцію даних, підвищення прозорості процесів та ефективність управління проектами. У таких умовах особливого значення набуває вдосконалення систем технічного нагляду, що виступають важливим елементом контролю якості та безпеки будівництва.

Технічний нагляд традиційно виконує функцію перевірки відповідності будівельних робіт проєктній документації, будівельним нормам і стандартам. Однак застосування традиційних підходів до його здійснення часто супроводжується низкою проблем, зокрема обмеженістю доступу до актуальної інформації, недостатньою оперативністю реагування на відхилення та складністю координації між учасниками будівельного процесу. Це обумовлює необхідність переходу до нових підходів, що базуються на використанні цифрових технологій та інтегрованих інформаційних систем.

Інтеграція технічного нагляду в BIM-середовище відкриває нові можливості для підвищення ефективності контролю та управління будівельними процесами. BIM-технології дозволяють створити єдину цифрову модель об'єкта, яка містить актуальну інформацію про всі його характеристики та забезпечує доступ до неї в режимі реального часу. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню точності контролю, своєчасному виявленню відхилень і прийняттю обґрунтованих управлінських рішень.

**Актуальність дослідження** інтеграції технічного нагляду в середовище інформаційного моделювання будівництва зумовлена сучасними викликами розвитку будівельної галузі, які пов'язані з необхідністю підвищення ефективності управління проектами, забезпечення якості та безпеки будівництва, а також оптимізації витрат і ресурсів. Умови цифрової економіки вимагають впровадження інноваційних підходів до організації контролю, що базуються на використанні сучасних інформаційних технологій.

Традиційні методи здійснення технічного нагляду не відповідають повною мірою вимогам сучасного будівництва, оскільки не забезпечують достатнього рівня інтеграції інформації, оперативності її обробки та ефективності взаємодії між учасниками проєкту. Це призводить до зростання ризиків помилок, перевищення термінів виконання робіт і збільшення вартості будівництва. Впровадження BIM-технологій створює можливості для формування єдиного інформаційного середовища, у якому технічний нагляд може здійснюватися на основі актуальних і достовірних даних. Це дозволяє забезпечити безперервний контроль за виконанням робіт, автоматизувати процеси перевірки та підвищити ефективність прийняття управлінських рішень.

У зв'язку з цим інтеграція технічного нагляду в BIM-середовище набуває стратегічного значення, оскільки сприяє переходу до якісно нового рівня управління будівельними проєктами, що відповідає сучасним вимогам цифровізації та інноваційного розвитку галузі.

**Постановка проблеми.** Сучасний розвиток будівельної галузі характеризується активним впровадженням цифрових технологій, що змінюють підходи до управління проєктами, контролю якості та організації будівельного виробництва. Водночас традиційні механізми здійснення технічного нагляду залишаються значною мірою фрагментованими, недостатньо інтегрованими в цифрові середовища та орієнтованими переважно на постфактум контроль, що обмежує їх ефективність. Це призводить до затримок у виявленні відхилень, зниження оперативності прийняття рішень і підвищення ризиків невідповідності виконаних робіт проєктній документації та нормативним вимогам. Особливої гостроти проблема набуває в умовах реалізації складних будівельних проєктів, де необхідна постійна координація великої кількості учасників, процесів та інформаційних потоків. Відсутність єдиного інформаційного середовища ускладнює взаємодію між суб'єктами будівництва та знижує рівень прозорості контролю. У цьому контексті інтеграція технічного нагляду в середовище BIM виступає як перспективний напрям підвищення ефективності контролю та управління якістю будівництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Питання цифровізації будівельної галузі, впровадження технологій інформаційного моделювання будівництва та удосконалення систем управління проєктами широко досліджуються у сучасній науковій літературі. Значна увага приділяється розвитку BIM як інструменту інтеграції інформаційних потоків, підвищення ефективності управління та забезпечення прозорості будівельних процесів. Дослідники акцентують на можливостях використання BIM для оптимізації проєктування, планування та контролю виконання робіт.

Окремі наукові праці присвячені питанням автоматизації технічного нагляду, використанню цифрових технологій для моніторингу стану об'єктів будівництва, а також впровадженню інформаційно-аналітичних систем у процеси контролю якості. Водночас існують дослідження, що розглядають інтеграцію BIM із сучасними технологіями, такими як інтернет речей, цифрові двійники та аналітика великих даних. Разом із тим, незважаючи на значний обсяг наукових напрацювань, недостатньо дослідженими залишаються питання комплексної інтеграції технічного нагляду в BIM-середовище з урахуванням переходу до автоматизованого науково-технічного супроводу. Потребують подальшого опрацювання методичні підходи до формалізації процесів технічного контролю, їх цифрової інтеграції та забезпечення ефективної взаємодії між усіма учасниками будівельного процесу.

**Метою цієї статті є** теоретичне обґрунтування та розробка науково-методичних підходів до інтеграції технічного нагляду в середовище інформаційного моделювання будівництва з метою забезпечення переходу до автоматизованого науково-технічного супроводу будівельних проєктів. Досягнення поставленої мети передбачає вирішення таких завдань: визначення ролі та функцій технічного нагляду в умовах цифровізації; аналіз можливостей BIM-технологій щодо забезпечення інтеграції контрольних процесів; обґрунтування напрямів автоматизації моніторингу та оцінки якості будівельних робіт; формування концептуальних положень щодо створення єдиного інформаційного середовища технічного контролю. Особлива увага приділяється розробці підходів, що забезпечують підвищення ефективності управління, зниження ризиків та оптимізацію використання ресурсів у будівництві.

**Виклад основної інформації.** Інтенсивна цифровізація будівельної галузі зумовлює перехід від дискретного інспекційного контролю до безперервного керування якістю та технічним станом конструкцій у єдиному інформаційному контурі проєкту. У цьому контурі BIM-модель виступає ядром узгодження проєктних вимог, фактичних параметрів виконання робіт, результатів інструментального моніторингу та актів технічного нагляду, забезпечуючи трасованість «вимога → елемент → перевірка → доказ → рішення» [1]. Технічний нагляд у BIM-середовищі доцільно розглядати як керований процес оновлення станів елементів моделі на підставі вимірювань і спостережень, де кожний контрольний факт має бути прив'язаний до конкретної сутності моделі (об'єкт/зона/вузол), часу та джерела даних.

У формалізованому представленні для кожного елемента BIM  $E_j$  задається вектор стану, який агрегує геометричні, технологічні та експлуатаційно-діагностичні параметри:

$$x_j(t) = [g_j(t), q_j(t), s_j(t), \theta_j(t)]^T, \quad (1)$$

де  $g(t)$  – геометричні параметри (відхилення розмірів чи положення),  $q_j(t)$  – показники якості виконання робіт (щільність, міцність, адгезія тощо),  $s_j(t)$  – показники напружено-деформованого стану або індикатори деградації,  $\theta_j(t)$  – контекстні параметри виконання (партія матеріалу, підрядник, технологічний режим, умови твердіння тощо). Динаміка стану при переході від проєктних значень до фактичних у процесі будівництва/контролю може бути подана у вигляді стохастичної моделі стану (простір станів):

$$\begin{aligned} x_j(t + \Delta t) &= A_j x_j(t) + B_j u_j(t) + w_j(t), \\ y_j(t) &= H_j x_j(t) + v_j(t), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $u_j(t)$  – керувальні/технологічні впливи (зміна технології, коригувальні дії, додаткові випробування),  $y_j(t)$  – вектор спостережень (лазерне сканування, фотограмметрія, результати випробувань, показники сенсорів),  $w_j(t)$  – процесний та вимірювальний шум. Таке подання є придатним для автоматизованого узгодження вимірювань із BIM-атрибутами та подальшого прогнозування стану елементів за умов неповноти й шумності даних.

У межах BIM-орієнтованої платформи автоматизованого технічного нагляду ключовим є встановлення формального ланцюга перетворення даних: від джерела вимірювань до керованого рішення, що змінює статус елемента та ініціює коригувальні дії [1]. Логіка такого контуру подана на рис. 1, де BIM виступає не «сховищем», а активним вузлом синхронізації даних і правил контролю.

Автоматизоване виявлення відхилень доцільно формалізувати не лише як різницю «факт–проєкт», а як задачу оцінювання узгодженості спостережень із проєктними обмеженнями та допусками. Для контрольованого параметра і елемента  $j$  вводиться нормоване відхилення з урахуванням допуску  $\tau_{ij}$  та масштабного коефіцієнта  $\sigma_{ij}$ :

$$z_{ij}(t) = \frac{x_{ij}^{fact}(t) - x_{ij}^{proj}}{\sigma_{ij}}, \quad \phi_{ij}(t) = \max \left( 0, \frac{|x_{ij}^{fact}(t) - x_{ij}^{proj}| - \tau_{ij}}{\sigma_{ij}} \right), \quad (3)$$

Тоді інтегральна оцінка ризику елемента може бути задана у вигляді складеної агрегувальної моделі, що враховує ваги, кореляції та нелінійне «штрафування» критичних порушень:

$$R_j(t) = \omega^T \phi_j(t) + \lambda \phi_j^T(t) C_j \phi_j(t) + \mu \sum_{i=1}^m \ln(1 + \exp(\kappa(\phi_{ij}(t) - \eta_i))), \quad (4)$$

*зважена сума*
*кореляційний внесок*
*ytksyqybq inhfa*

де  $\phi_j(t)=[\phi_{1j}(t), \dots, \phi_{mj}(t)]^T$ ,  $\omega$  – ваги значущості параметрів,  $C_j$  – матриця взаємозв'язків між параметрами (узгоджує спільний вплив відхилень),  $\lambda, \mu, \kappa$  – коефіцієнти налаштування,  $\eta_i$  – порогові значення, після яких відхилення вважається критичним. Така модель придатна для ранжування дефектів, пріоритизації інспекцій та обґрунтування управлінських рішень у цифровому журналі нагляду [2].



Рис. 1. Функціональний контур інтегрованого технічного нагляду в BIM-середовищі (розроблено авторами на основі [1])

Для переходу до автоматизованого науково-технічного супроводу важливо, щоб система не лише фіксувала відхилення, а й оновлювала знання про стан конструкцій при надходженні нових вимірювань. Це доцільно реалізувати через байєсівське оновлення ймовірності настання небажаного стану  $F_j$  (наприклад, неприйнятна невідповідність або дефект):

$$P(F_j | y_{1:t}) = \frac{P(y_t | F_j, y_{1:t-1}) P(F_j | y_{1:t-1})}{P(y_t | y_{1:t-1})}, \quad (5)$$

а для оцінювання прихованого стану  $x_j(t)$  – через рекурсивну процедуру типу фільтра Калмана (у загальному вигляді):

$$K_t = P_{t|t-1} H^T (H P_{t|t-1} H^T + R)^{-1}, \quad \hat{x}_{t|t} = \hat{x}_{t|t-1} + K_t (y_t - H \hat{x}_{t|t-1}),$$

$$P_{t|t} = (I - K_t H) P_{t|t-1}, \quad (6)$$

У BIM-контексті це означає, що кожен новий пакет даних (скан/випробування/інспекція) коригує оцінку стану елементів і пов'язаний із ним ризик, а результати автоматично відображаються в атрибутах моделі та звітних артефактах нагляду.

Оскільки будівля є взаємопов'язаною системою, доцільно моделювати поширення впливу відхилень між елементами через граф залежностей. Нехай  $G=(V,E)$  – граф, де вершини  $V$  відповідають BIM-елементам, а ребра  $E$  –

конструктивним/технологічним залежностям; тоді поширення ризику можна задати як:

$$r(t + 1) = \alpha Wr(t) + (1 - \alpha) b(t), \quad (7)$$

де  $r(t)$  – вектор ризиків елементів,  $W$  – нормована матриця суміжності (інтенсивність впливу),  $b(t)$  – «власний» ризик від локальних відхилень  $\phi(t)$ ,  $\alpha \in (0,1)$  – коефіцієнт зв'язності. Це забезпечує автоматизоване виявлення «критичних ланцюгів» (вузлів/ділянок), де локальний дефект може призвести до системного зростання ризику.

Узагальнене відображення даних і статусів у ВІМ доцільно реалізувати як узгоджену семантичну модель «Елемент–Вимога–Перевірка–Доказ–Рішення». Її приклад у вигляді логічної ВІМ-схеми наведено на рис. 2, де показано прив'язку контрольної події до атрибутів елемента і до керованого рішення.

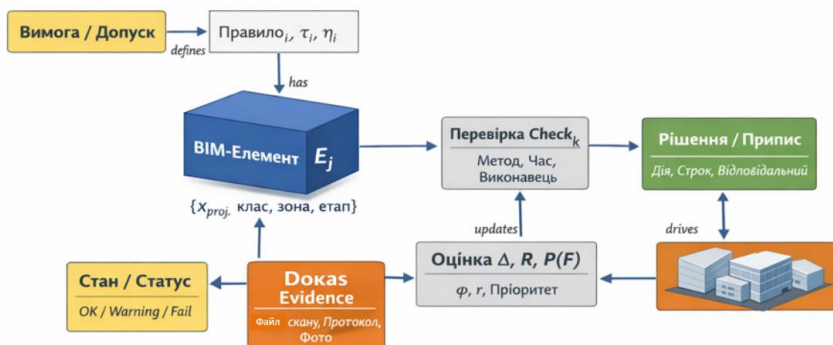


Рис. 2. ВІМ-схема зв'язування елемента з вимогами, перевітками та журналом доказів технічного нагляду (розроблено авторами на основі [3])

У підсумку, відповідаючи на першу дослідницьку задачу, інтеграція технічного нагляду в ВІМ-середовище має спиратися на (i) формалізоване подання станів і вимірювань елементів, (ii) аналітичні моделі відхилень і ризику з урахуванням допусків та взаємозв'язків, (iii) цифрову трасованість доказової бази й рішень, що забезпечує керованість та відтворюваність контролю. Саме така логіка перетворює ВІМ із пасивного інформаційного ресурсу на операційне середовище, придатне для автоматизованого науково-технічного супроводу [3].

Подальший розвиток інтеграції технічного нагляду в середовище будівельного інформаційного моделювання безпосередньо пов'язаний із формалізацією інформаційних потоків та параметрів контролю технічного стану об'єкта будівництва у структурі ВІМ-моделі. У цифровому середовищі управління будівельним проєктом кожний конструктивний елемент повинен бути представлений не лише геометричною моделлю, але й системою атрибутів, що характеризують його технічний стан, технологічні параметри виконання робіт та результати контрольних перевірок. Такий підхід забезпечує перехід від документального контролю до формалізованої інформаційної системи, у якій результати технічного нагляду стають частиною інформаційної моделі об'єкта та можуть використовуватися для подальшого аналізу і прогнозування стану будівлі [4].

У загальному вигляді інформаційна модель об'єкта будівництва може бути представлена як багаторівнева структура даних:

$$BIM = \{G, A, P, T, R\}, \quad (8)$$

де  $G$  – геометрична модель конструктивних елементів;  $A$  – атрибутивні характеристики елементів;  $P$  – параметри технологічних процесів будівництва;  $T$  – часові параметри виконання робіт;  $R$  – результати технічного нагляду та контролю.

У цій структурі параметри технічного нагляду формують окремий інформаційний підпростір, що пов'язаний з елементами геометричної моделі через систему ідентифікаторів. Для кожного елемента  $E_j$  формується набір контрольованих характеристик:

$$C_j = \{c_{j1}, c_{j2}, c_{j3}, \dots, c_{jn}\}, \quad (9)$$

де  $c_{ji}$  – параметри контролю якості та технічного стану елемента, що включають показники точності геометричних розмірів, фізико-механічні властивості матеріалів, параметри монтажу та результати інструментального моніторингу.

Важливою особливістю формалізації таких параметрів у BIM є їх зв'язок із часовими характеристиками виконання будівельних робіт. Тому стан конструктивного елемента доцільно описувати функцією:

$$S_j(t) = f(x_{1j}(t), x_{2j}(t), \dots, x_{mj}(t)), \quad (10)$$

де  $x_{ij}(t)$  – значення параметра  $i$  для елемента  $j$  у момент часу  $t$ . Така функціональна залежність дозволяє аналізувати зміну технічного стану елемента у процесі будівництва та визначати критичні моменти відхилення від проектних характеристик.

У цифрових системах технічного нагляду особливу роль відіграє узгодження інформаційних потоків, що надходять із різних джерел – результатів лабораторних випробувань, даних геодезичного контролю, лазерного сканування, сенсорних систем моніторингу та звітів інспекторів. Для інтеграції таких даних у BIM-модель використовується процедура нормалізації та семантичного зіставлення, яка забезпечує узгодження вимірювань з відповідними об'єктами моделі [5]. Формально цей процес може бути описаний як відображення:

$$F: D \rightarrow E, \quad (11)$$

де  $D$  – множина вимірюваних даних;  $E$  – множина елементів BIM-моделі.

Функція  $F$  визначає відповідність між конкретним вимірюванням та елементом інформаційної моделі, до якого воно відноситься. У разі складних конструктивних систем така відповідність може бути багаторівневою, що передбачає використання ієрархічної структури моделі:

$$E = \{E^{(1)}, E^{(2)}, \dots, E^{(k)}\}, \quad (12)$$

де  $E^{(1)}$  відповідає рівню будівлі в цілому,  $E^{(2)}$  – рівню конструктивних систем, а  $E^{(k)}$  – рівню окремих елементів або вузлів.

Використання ієрархічної структури даних дозволяє здійснювати агрегування результатів технічного нагляду та формувати інтегральні показники якості виконання будівельних робіт. Наприклад, загальний індекс відповідності конструктивної системи може визначатися як:

$$Q = \sum_{j=1}^n w_j q_j, \quad (13)$$

де  $q_j$  – показник відповідності окремого елемента проектним параметрам;  $w_j$  – ваговий коефіцієнт, що характеризує значущість елемента у структурі будівлі.

Для більш точного аналізу доцільно використовувати нормовану форму цього показника:

$$Q^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_j q_j}{\sum_{j=1}^n w_j}, \quad (14)$$

що дозволяє порівнювати результати контролю різних конструктивних систем у межах одного об'єкта будівництва [5].

З точки зору інформаційної організації BIM-середовища формалізація параметрів технічного нагляду передбачає створення інтегрованого інформаційного контуру, у якому всі дані про технічний стан елементів зберігаються у структурованому вигляді та можуть використовуватися для автоматизованого аналізу. Узагальнена схема формування інформаційного потоку контролю у BIM-моделі представлена на рис. 3 [6].



Рис. 3. Формування інформаційних потоків технічного нагляду у BIM-середовищі (розроблено авторами на основі [5])

Подальший розвиток інтеграції технічного нагляду у середовище будівельного інформаційного моделювання пов'язаний із формуванням архітектури інформаційно-програмної системи автоматизованого контролю, яка забезпечує узгоджену взаємодію BIM-моделі з модулями збору, обробки та аналізу даних. У сучасних цифрових середовищах управління будівництвом інформаційна модель об'єкта виконує роль центрального елемента, що інтегрує геометричні параметри конструкцій, атрибутивні характеристики елементів, результати моніторингу будівельних процесів та інформацію про технічний стан конструкцій [11]. Відповідно, архітектура автоматизованої системи технічного нагляду повинна забезпечувати безперервний обмін інформацією між польовими джерелами даних, аналітичними модулями та інформаційною моделлю об'єкта.

У загальному вигляді цифрова платформа технічного нагляду може бути представлена як багаторівнева система:

$$S = \{L_a, L_p, L_a, L_m\}, \quad (15)$$

де  $L_d$  – рівень збору даних (сенсори, геодезичні вимірювання, лазерне сканування, результати інспекцій);  $L_p$  – рівень попередньої обробки та інтеграції даних;  $L_a$  – аналітичний рівень оцінювання технічного стану;  $L_m$  – рівень підтримки прийняття управлінських рішень.

На рівні збору даних формується потік первинної інформації:

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}, \quad (16)$$

де  $d_i$  – окремі вимірювання або результати контролю, що надходять з різних джерел моніторингу. Ці дані проходять процедуру нормалізації та узгодження з елементами BIM-моделі [7]. Формально процес інтеграції може бути описаний функцією відображення:

$$I(d_i) = (E_j, t_i, p_i), \quad (17)$$

де  $E_j$  – елемент BIM-моделі, до якого відноситься вимірювання;  $t_i$  – момент часу отримання даних;  $p_i$  – параметр технічного стану.

Таким чином формується інформаційний масив спостережень:

$$O = \{(E_j, t_i, p_i)\}, \quad (18)$$

Аналіз функціональних компонентів системи автоматизованого технічного нагляду дозволяє виділити основні модулі цифрової платформи. Їх структурні характеристики наведені у таблиці 1.

*Таблиця 1*

**Архітектура функціональних модулів системи автоматизованого технічного нагляду**

Модуль системи	Основні функції	Типи оброблених даних	Результат
Модуль збору даних	Інтеграція сенсорних систем, геодезичних вимірювань, сканування	координати, фізичні параметри, фотограмметричні дані	первинні вимірювання
Модуль інтеграції BIM	зіставлення даних з елементами BIM-моделі	геометрія, атрибути, ідентифікатори елементів	структуровані дані контролю
Аналітичний модуль	аналіз відхилень та індексів якості	статистичні показники, параметри відхилень	оцінка технічного стану
Модуль підтримки рішень	формування рекомендацій щодо коригувальних дій	інтегральні показники ризику	управлінські рішення

*Джерело: розроблено авторами на основі [7]*

У межах аналітичного рівня системи виконується порівняльний аналіз проектних та фактичних параметрів конструкцій. Для цього формується вектор відхилень:

$$\Delta_j = (x_{1j}^{fact} - x_{1j}^{proj}, \dots, x_{mj}^{fact} - x_{mj}^{proj}), \quad (19)$$

де  $x_{ij}^{fact}$  – фактичне значення параметра, а  $x_{ij}^{proj}$  – його проектне значення.

Загальний показник відповідності конструктивного елемента проектним вимогам може визначатися за допомогою інтегральної функції:

$$C_j = \exp - \left( \sum_{i=1}^m w_i \left( \frac{\Delta_{ij}}{\sigma_i} \right)^2 \right), \quad (20)$$

де  $w_i$  – вагові коефіцієнти параметрів;  $\sigma_i$  – допустиме відхилення параметра.

Величина  $C_j$  характеризує рівень відповідності елемента проектним характеристикам: при  $C_j \rightarrow 1$  елемент повністю відповідає проекту, тоді як зменшення значення показника свідчить про наявність відхилень.

Для наочного аналізу результатів контролю у цифрових системах використовується графічна візуалізація зміни інтегрального показника відповідності. Приклад такої залежності представлено на рис. 4 [8].

Подальший розвиток системи автоматизованого технічного нагляду пов'язаний із розробленням алгоритмів оцінювання ризиків технічного стану конструкцій. У ВІМ-середовищі ризик технічного стану може визначатися як функція відхилень параметрів, значущості елементів конструктивної системи та імовірності виникнення дефектів [10]:

$$R_j = \sum_{i=1}^m w_i f(\Delta_{ij}) P_i, \quad (21)$$

де  $f(\Delta_{ij})$  – функція впливу відхилення параметра;  $P_i$  – імовірність виникнення дефекту.

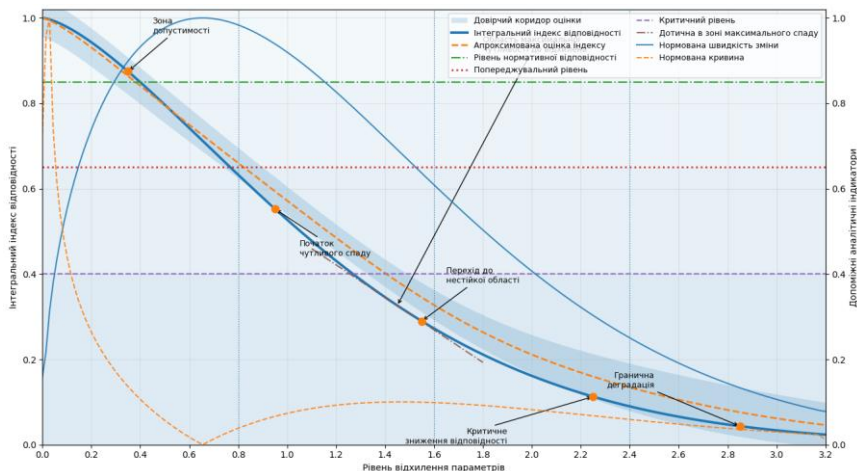


Рис. 4. Залежність інтегрального індексу відповідності конструктивного елемента від рівня відхилення параметрів (розроблено авторами на основі [8])

Для складних конструктивних систем доцільно враховувати взаємозалежність параметрів. Тоді модель ризику може бути подана у матричному вигляді:

$$R = W^T CZ, \quad (22)$$

де  $Z$  – вектор нормованих відхилень;  $C$  – матриця кореляцій між параметрами;  $W$  – вектор вагових коефіцієнтів.

Застосування таких моделей дозволяє визначати критичні елементи конструктивної системи та прогнозувати розвиток дефектів. Для комплексного аналізу результатів контролю формується матриця показників ризику, приклад якої наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

**Матриця оцінювання ризику технічного стану конструктивних елементів**

Елемент конструкції	Відхилення геометрії	Відхилення матеріальних параметрів	Імовірність дефекту	Інтегральний ризик
Колона	0.8	0.6	0.35	0.59
Балка	0.5	0.7	0.30	0.47
Плита перекриття	0.4	0.5	0.25	0.33
Стіна	0.6	0.4	0.20	0.31

Джерело: розроблено авторами на основі [8]

Аналіз результатів оцінювання ризику дозволяє формувати пріоритетність інспекцій та визначати необхідність коригувальних заходів у процесі будівництва. Динаміка зміни ризику технічного стану у часі може бути представлена у вигляді графічної залежності, що дозволяє оцінювати ефективність управлінських рішень щодо усунення відхилень [9].

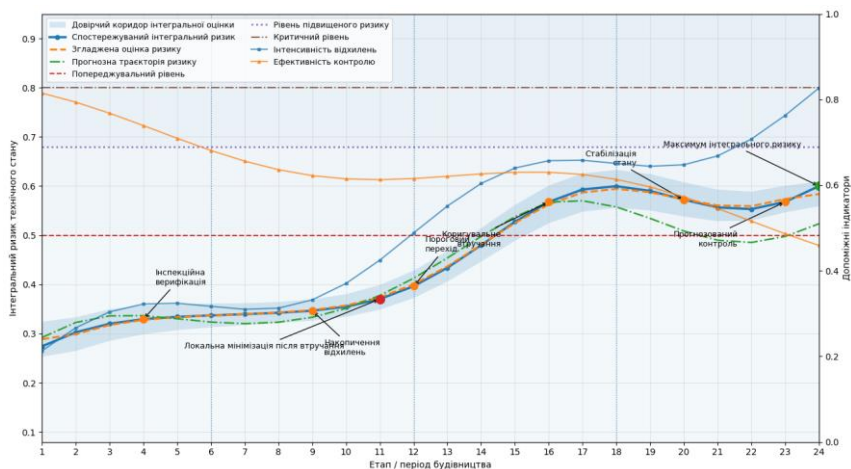


Рис. 5. Динаміка зміни інтегрального ризику технічного стану конструкції у процесі будівництва (розроблено авторами на основі [9])

Таким, формування архітектури інформаційно-програмної системи автоматизованого технічного нагляду на основі BIM-платформи створює передумови для переходу до цифрового управління якістю будівництва. Використання математичних моделей аналізу відхилень та оцінювання ризиків дозволяє автоматизувати процес контролю технічного стану конструкцій, підвищити оперативність прийняття управлінських рішень та забезпечити підвищення рівня безпеки і надійності будівельних об'єктів.

**Висновки.** Узагальнення результатів проведеного дослідження дозволяє констатувати, що інтеграція технічного нагляду в середовище інформаційного моделювання будівництва (BIM) є одним із ключових напрямів підвищення ефективності управління будівельними проєктами в умовах цифрової трансформації

галузі. Встановлено, що традиційні підходи до здійснення технічного нагляду не забезпечують належного рівня оперативності, повноти та достовірності контролю, що зумовлює необхідність їх модернізації на основі сучасних цифрових технологій.

Доведено, що використання BIM як інтегрованого інформаційного середовища створює передумови для переходу від фрагментарного контролю до системного, безперервного моніторингу будівельних процесів. Завдяки застосуванню цифрових моделей забезпечується можливість оперативного зіставлення фактичних параметрів виконаних робіт із проектними рішеннями, що підвищує точність контролю та сприяє своєчасному виявленню відхилень. Це, у свою чергу, дозволяє мінімізувати ризики виникнення дефектів, порушень технологічних процесів і перевищення кошторисних показників.

Обґрунтовано, що інтеграція технічного нагляду в BIM-середовище повинна базуватися на використанні комплексного підходу, який передбачає поєднання інформаційних, аналітичних та організаційних інструментів. Важливим елементом такої інтеграції є застосування автоматизованих систем збору та обробки даних, використання сенсорних технологій, алгоритмів аналізу та прогнозування, а також цифрових платформ для координації діяльності учасників будівельного процесу. Це забезпечує формування єдиного інформаційного простору, у межах якого здійснюється ефективна взаємодія всіх зацікавлених сторін.

Встановлено, що перехід до автоматизованого науково-технічного супроводу дозволяє суттєво підвищити рівень управління якістю будівництва, скоротити терміни реалізації проектів, оптимізувати витрати та підвищити загальну результативність діяльності підприємств. Особливу роль у цьому процесі відіграють цифрові двійники, аналітичні інструменти обробки даних та інтеграція BIM із сучасними технологіями, такими як інтернет речей.

#### **Список літератури:**

1. Sacks, R., Eastman, C., Lee, G. and Teicholz, P. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., 2018. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
2. Hardin B., McCool D. *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Indianapolis, 2015. 404 p.
3. Succar B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*. 2009. Vol. 18. P. 357–375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
4. Fischer M., Ashcraft H. W., Reed D., Khanzode A. *Integrating Project Delivery*. John Wiley & Sons, 2017. 480 p.
5. Гончаренко Т. А. BIM-технології як інструментарій для створення інформаційної моделі життєвого циклу об'єкта будівництва. *Управління розвитком складних систем*, 2021, 47, 83–88. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.47.83-88>
6. Сорокіна Л., Гойко А. Модель формування інвестиційної програми будівельного підприємства. *Управління розвитком складних систем*, 2023, 53, 100–110. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.53.100-110>
7. Зельцер Р.Я., Погорельцев В.М., Зельцер Є.Р., Тугай О.А. *Організація будівельної діяльності*. К.: МП «Леся», 2019. 316 с.
8. Тугай А.А., Поколенко В.О., Єсипенко А.Д., Дубінка А.В. Передумови та шляхи впровадження концепції BIM у будівельній галузі. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2020, 45, 166–184. <https://doi.org/10.32347/2707-501x.2020.45.166-184>

9. Ding L., Zhou Y., Akinci B. Building Information Modeling (BIM) Application Framework: The Process of Expanding from 3D to Computable nD. *Automation in Construction*, 2014, 46, 82-93. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.009>

10. Ivanchenko H.M., Chupryna Iu.A., Malykhin M.O., Maksymiuk O.V., Myroshnyk O.M. Research of nonstationary vibrations of an elastic space with two circular cylindrical holes. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 2025, 115, 69-75. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2025.115.69-75>

11. Чуприна Ю. Концептуальні засади управління знаннями в інтегрованих системах реалізації будівельних проєктів. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2025, 56(2), 105–117. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(2\).105-117](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(2).105-117)

**Ruslan ZHALDAK, Dmitry PRUSOV, Oleg PRYKHODKO**

***Ways of integrating technical supervision into the building information modeling environment for the transition to automated scientific and technical support***

*The integration of technical supervision into the Building Information Modeling (BIM) environment represents a key direction in transforming construction project management systems under conditions of industry digitalization. Modern approaches to organizing construction production require increased transparency, efficiency, and reliability of quality control, which necessitates the transition to automated forms of scientific and technical support. In this context, BIM technologies create the prerequisites for integrating technical supervision into a unified digital information environment, ensuring continuous data exchange among all participants in the construction process.*

*The essence of technical supervision is considered as a component of the system of quality control and management in construction, aimed at ensuring compliance of executed works with design solutions, regulatory requirements, and standards. It is determined that traditional methods of technical supervision have limited effectiveness due to fragmented information, delays in data processing, and the lack of integrated digital tools. The implementation of BIM makes it possible to overcome these limitations by creating a unified information space in which data on the condition of the construction object is updated in real time.*

*The directions of integrating technical supervision into the BIM environment are substantiated, including: the use of digital models to verify the compliance of completed works with design parameters; the application of automated monitoring and deviation analysis tools; the implementation of data collection and processing systems based on sensor technologies; and the integration of information and analytical platforms to support managerial decision-making. Particular attention is paid to the use of automated verification algorithms, digital twins, and cloud services to ensure continuous control of construction processes.*

*The potential for integrating BIM with automated monitoring systems, the Internet of Things (IoT), and big data analytics tools is also of significant importance, enabling continuous tracking of construction process parameters in real time. This creates the basis for implementing preventive control, which relies on forecasting potential deviations and timely response to them.*

**Keywords: technical supervision, BIM, building information modeling, automation, construction digitalization, quality control, construction projects, scientific and technical support.**

Дата надходження статті: 12.01.2026

Дата прийняття статті: 23.02.2026