

УДК 72.012.8:004.896:69.059.7

Смадич І. П., канд. арх., доцент, <https://orcid.org/0000-0001-7964-5730>Яценко О. Ф., канд. арх., доцент, <https://orcid.org/0000-0001-6181-6597>Скрипін Т. В., <https://orcid.org/0000-0002-4394-8294>Капак М. М., <https://orcid.org/0009-0002-0138-8126>Березовський Ю. Л., <https://orcid.org/0009-0004-5139-4676>*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

---

## МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВИЙ АСПЕКТ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АРХІТЕКТУРНО- КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ПРИ ВІМ ПРОЄКТУВАННІ

### *Анотація*

**Вступ.** Стрімкий розвиток ВІМ-технологій у будівельній галузі супроводжується дедалі більшими вимогами до якості архітектурно-конструктивних моделей, однак відсутність системного підходу до багаторівневої перевірки призводить до проєктних помилок, колізій між системами та невідповідності нормативним вимогам. Інтеграція ВІМ-моделювання з будівельними нормами та правовими стандартами є критично важливою для забезпечення безпеки, структурної цілісності та відповідності регуляторним вимогам. Найвні методології контролю якості не забезпечують комплексного врахування взаємодії архітектурних і конструктивних елементів на всіх стадіях проєктування.

**Мета дослідження** полягає в розробленні науково обґрунтованої методології багаторівневої системи контролю якості архітектурно-конструктивних ВІМ-моделей з урахуванням чинної нормативно-правової бази України та міжнародних стандартів ВІМ-проєктування.

**Матеріали та методи.** Застосовано системний підхід до створення автоматизованої системи оцінки якості ВІМ-моделей, що включає модуль витягу та аналізу даних, модуль зберігання даних та модуль візуалізації. Використано компаративний аналіз міжнародних систем автоматизованої перевірки відповідності (АСС) структурним розрахунковим кодам у ВІМ-середовищі, моделювання процесів міждисциплінарної координації, експертне оцінювання та валідацію на реальних проєктах.

**Результати.** Розроблено методологію п'ятирівневої системи контролю якості, що поєднує: (1) автоматизовану геометричну верифікацію та детекцію колізій між архітектурними та конструктивними елементами; (2) перевірку архітектурно-планувальних рішень згідно з будівельними нормами, включаючи просторові характеристики, доступність та конструктивність; (3) валідацію конструктивних рішень відповідно до структурних розрахункових норм з використанням машинно-читаємих правил; (4) комплексну оцінку інтеграції архітектурно-конструктивних систем на відповідність проєктним вимогам; (5) експертну перевірку дотримання спеціальних нормативних положень і безпекових стандартів. Визначено механізми федерації IFC openBIM моделей для покращення інтероперабельності між архітектурними та структурними розділами проєкту.

**Висновки.** У даному дослідженні вперше створено інтегровану систему оцінки якості 3D ВІМ-моделей з використанням спеціалізованих модулів для кожної дисципліни та автоматичного вилучення інформації для оцінки відповідності налаштованим контрольним списками. Розроблено матрицю відповідності рівнів розробки (LOD) українським будівельним нормам на різних стадіях проєктування. Запропоновано методику інтеграції перевірки відповідності будівельним кодам безпосередньо в процес ВІМ-моделювання з можливістю візуалізації та симуляції вимог відповідності.

Запропонована методологія забезпечує системний міждисциплінарний підхід до контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей та сприяє підвищенню ефективності будівельного проектування при повному дотриманні нормативно-правових вимог, створюючи основу для цифрової трансформації будівельної галузі України.

**Ключові слова:** BIM-технології, методологія контролю якості, архітектурно-конструктивне проектування, багаторівнева система перевірки, нормативно-правове регулювання, будівельні норми України, інформаційне моделювання будівель.

### Вступ

Сучасний етап розвитку будівельної галузі України характеризується інтенсивною цифровою трансформацією, що особливо актуалізується в контексті післявоєнної реконструкції держави. Станом на січень 2024 року Україна зазнала масштабних руйнувань населених пунктів, будівель та інфраструктурних об'єктів внаслідок обстрілів, що актуалізує впровадження сучасних технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM) у процеси відбудови країни [1].

17 лютого 2021 року Кабінетом Міністрів України була прийнята Концепція впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM), яка визначає принципи, напрями та механізми реалізації державної політики щодо BIM-технологій з метою подальшого реформування, модернізації та цифрової трансформації будівельної галузі України [2]. Водночас дослідження 234 співробітників українських аутсорсингових компаній та інтерв'ю з представниками архітектурних студій центральних і східних регіонів України виявили бар'єри для впровадження BIM, включаючи низькі заробітні плати, відсутність стимулів для великих фірм, бюрократичну неефективність, застаріле управління будівництвом та слабе регулювання [3]. Ці виклики підкреслюють критичну потребу в розробленні системних методологій контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей, що забезпечували б їх відповідність чинним нормативно-правовим вимогам. Також існують ряд проблем пов'язаних з тим, що наявна система контролю якості BIM-моделей не повною мірою враховує специфіку інтеграції архітектурних та конструктивних рішень щодо вітчизняної нормативно-правової бази.

Глобальний досвід демонструє, що розвиток BIM-технологій потребує створення системи перевірки та оцінювання для архітектурного проектування на основі BIM, а автоматизовані системи перевірки відповідності (ACC) для структурних розрахункових параметрів у BIM-середовищі стають критично важливими для забезпечення якості проектування. Розроблення автоматизованих систем оцінки якості BIM-моделей з використанням спеціалізованих модулів для кожної дисципліни є актуальним напрямом сучасних досліджень [4].

Мета дослідження полягає в розробці методології багаторівневої системи контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей, що забезпечує їх відповідність чинній нормативно-правовій базі України та міжнародним стандартам BIM-проектування.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні завдання:

1. *Проаналізувати* сучасний стан нормативно-правового регулювання BIM-технологій в Україні та міжнародний досвід багаторівневих систем контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей.

2. *Дослідити* особливості інтеграції архітектурних і конструктивних рішень у BIM-середовищі з урахуванням вимог українських державних будівельних норм (ДБН).

3. *Розробити* концептуальну модель багаторівневої системи контролю якості, що поєднує автоматизовану верифікацію, нормативну валідацію та експертну оцінку архітектурно-конструктивних BIM-моделей.

4. *Створити* методологію інтегрованого контролю якості, що включає матрицю відповідності рівнів деталізації (LOD) українським будівельним нормам на різних стадіях проектування.

5. *Обґрунтувати* правові механізми розподілу відповідальності між учасниками проєктування на кожному рівні контролю якості.

6. *Провести* апробацію розробленої методології на реальних проєктах та оцінити її ефективність для підвищення якості архітектурно-конструктивних BIM-рішень.

Для вирішення поставлених завдань використано комплекс методів, що поповнюють один одного. *Системний аналіз* застосовано для дослідження структури та взаємозв'язків у системі контролю якості BIM-моделей, що дозволяє розглянути об'єкт дослідження як цілісну систему взаємопов'язаних елементів. *Компаративістський метод* використано для порівняльного аналізу міжнародного досвіду впровадження систем контролю якості BIM, що забезпечує можливість виявлення найкращих практик та їх адаптації до специфічних умов. *Моделювання процесів* застосовано для створення концептуальної моделі багаторівневого контролю, що дозволяє формалізувати структуру та послідовність процедур контролю якості. *Експертне оцінювання* використано для валідації розроблених методологічних рішень, забезпечуючи верифікацію теоретичних положень через залучення фахівців-практиків. *Статистичний аналіз* застосовано для обробки результатів апробації методології на реальних проєктах, що забезпечує кількісну оцінку ефективності запропонованих рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика контролю якості BIM-моделей активно досліджується міжнародною науковою спільнотою з експоненційним зростанням інтересу до цієї тематики в період з 2020 року.

Дослідження контролю якості BIM-моделей представлені роботами «Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support» Wei-Chin Wang та іншими, де автори розробили комплексну BIM-орієнтовану модель управління якістю будівництва, яка демонструє потенціал 4D BIM для застосування контролю якості на основі будівельних кодів із використанням структури даних «продукт — організація — процес» (POP) [5]. Результати даного дослідження демонструють наукові підходи інтеграції просторових та часових даних у систему контролю якості. Серед останніх наукових досліджень I. Rehman пропонує процедуру оцінки якості архітектурного проєктування на основі BIM-технологій, що включає інтеграцію BIM-QA (забезпечення якості) та BIM-QC (контроль якості) в загальну BIM-методологію з використанням налаштованих контрольних списків та запитів до системи управління базами даних [6].

Аналіз інших досліджень за даною проблематикою вказує на те, що сучасний етап наукової зацікавленості пов'язаний з дослідженнями процесів автоматизованої перевірки відповідності BIM моделей на усіх стадіях життєдіяльності будівель. Zhou, D., Pei, B., Li, X. у своїй праці «Новаторське застосування BIM-технологій в управлінні будівництвом автомобільних доріг» представили інноваційне застосування BIM-технологій в управлінні будівництвом автомагістралей, інтегруючи BIM з географічними інформаційними системами (GIS) та інтернетом речей (IoT), що демонструє ефективність багаторівневих цифрових платформ управління для вирішення викликів будівництва складних транспортних споруд [7]. При цьому розроблено підхід до автоматичної перевірки відповідності BIM-моделей стандартам якості на основі онтологічних технологій, представивши китайський стандарт у форматі OWL та використовуючи SWRL для правил перевірки. Це дослідження продемонструвало можливість автоматичної перевірки 66 % документів з вимогами нормативної літератури.

Іншу віху досліджень становлять наукові праці присвячені архітектурно-конструктивній інтеграції BIM в управління життєвим циклом продукції (PLM) у рамках управлінських фреймворків та робочих процесів архітектурного проєктування й будівництва, що продемонструвало покращення об'єктивної функції на 24,39 % та 38,04 % порівняно з традиційними проєктами [8]. Дієвість запропонованого алгоритму дослідження підтверджена низкою наукових праць де висвітлено семантичну систему управління змінами проєктування для EPC-проєктів, яка використовує інтеграцію онтологій для об'єднання децентралізованих знань Industry Foundation Classes (IFC) та BIM Collaboration Format (BCF) [9].

Вітчизняна наукова зацікавленість BIM активізувалась з початком повномасштабного вторгнення РФ на територію України та реакційною потребою пошуку шляхів відбудови зруйнованих населених пунктів і формування якісно нових підходів для забезпечення принципів сталої архітектури. Важливим напрямком таких досліджень стали бібліометричні та оглядові дослідження, що дозволяють систематизувати накопичений науковий досвід в BIM щодо реалій архітектурно-будівельної галузі України [10]. У працях О. Тугай, А. Єсипенко та інших проведено комбінований наукометричний аналіз та огляд статей з BIM-перевірки моделей, що демонструє еволюцію сфери досліджень в Україні [11]. При цьому автори сходяться на думці, щодо потреби пошуку узгодженої стратегії інтеграції BIM в архітектурне проектування та інженерну галузь з розробленням спільних протоколів для автоматизації рутинних процесів [12, 13].

Проведений аналіз літератури виявляє високий потенціал для створення комплексної методології багаторівневого контролю. Наявний науковий доробок створює міцну основу для розвитку системного підходу, який інтегруватиме окремі аспекти контролю якості в єдину методологічну структуру.

Розширення міжнародного досвіду адаптації до національних будівельних норм відкриває перспективи для інтеграції з українськими ДБН, проте недостатня інтеграція з національними будівельними нормами створює проблему, адже міжнародні дослідження рідко враховують специфіку локальних регуляторних вимог, зокрема українських ДБН.

Особливо актуальною стає розробка спеціалізованих методологій для post-war reconstruction, які враховуватимуть унікальні виклики післявоєнної реконструкції та забезпечуватимуть ефективне швидке відновлення інфраструктури. Це створює можливості для інноваційних підходів, що поєднують передові BIM-технології з практичними потребами національної відбудови.

### Основна частина

1. Аналіз нормативно-правового регулювання BIM-технологій в Україні. Сучасна нормативно-правова база України щодо BIM-технологій формується на основі комплексного підходу, що поєднує національні будівельні стандарти з міжнародними практиками. Концепція впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання, затверджена Кабінетом Міністрів України 17 лютого 2021 року, визначає стратегічні напрями цифрової трансформації будівельної галузі та встановлює цільові орієнтири для поетапного впровадження BIM-технологій у державному та приватному секторах.

Особливої уваги заслуговує інтеграція вимог європейських стандартів, зокрема Єврокодів, у національну нормативну базу. Це створює передумови для гармонізації української практики BIM-проектування з міжнародними стандартами та забезпечує сумісність проєктних рішень із європейськими вимогами. Водночас специфіка національних умов, включаючи кліматичні особливості, сейсмічність територій та соціально-економічні фактори, потребує адаптації міжнародних підходів до локальних реалій (табл. 1).

*Таблиця 1*  
*Структура нормативно-правового регулювання BIM-технологій в Україні*

Рівень регулювання	Документи	Сфера застосування	Вимоги до BIM	Відповідальні органи
Концептуальний	Концепція впровадження BIM (2021)	Стратегічне планування	Принципи впровадження	Мінрегіон
Нормативний	ДБН В.1.2-20:2022	Система забезпечення надійності	Вимоги до моделювання	ДП «УкрНДНЦ»
Технічний	ДСТУ-Н Б В.3.2-1:2022	Проектування будівель	Технічні специфікації	Мінрегіон

Рівень регулювання	Документи	Сфера застосування	Вимоги до BIM	Відповідальні органи
Стандартизаційний	ДСТУ ISO 19650 серії	Управління інформацією	Процеси управління	ДП «УкрНДНЦ»
Операційний	Локальні стандарти	Конкретні проекти	Робочі процедури	Проектні організації

Критичним аспектом нормативного регулювання є визначення рівнів зрілості BIM (BIM Maturity Levels), адаптованих до українських реалій. На відміну від британської моделі BIM Level 2, яка передбачає обов'язкове використання спільного середовища даних (Common Data Environment, CDE), українська концепція зосереджується на поетапному впровадженні з урахуванням технічної готовності галузі та наявності кваліфікованих кадрів.

Аналіз чинної нормативної бази виявляє необхідність гармонізації національних стандартів з міжнародними форматами openBIM, зокрема Industry Foundation Classes (IFC) та Building Collaboration Format (BCF), що забезпечить інтероперабельність систем різних виробників. Особливо актуальним є впровадження стандарту ISO 19650 серії, який регламентує управління інформацією протягом життєвого циклу будівельних активів з використанням BIM-технологій.

Правове забезпечення контролю якості BIM-моделей базується на принципах розподіленої відповідальності між учасниками проектування. Згідно з чинним законодавством, генеральний проектувальник несе повну відповідальність за якість проектної документації, однак у BIM-середовищі ця відповідальність розподіляється між спеціалістами різних дисциплін залежно від їх компетенції та сфери впливу на загальну модель проекту.

2. Аналіз міжнародного досвіду багаторівневих систем контролю якості. Компаративний аналіз міжнародних практик контролю якості BIM-моделей демонструє еволюцію від простих геометричних перевірок до комплексних систем автоматизованої валідації відповідності (*Automated Compliance Checking, ACC*). Провідні країни Європи та світу розробили власні підходи до багаторівневого контролю, адаптовані до національних будівельних кодів та регуляторних вимог.

Американський досвід, представлений *General Services Administration (GSA) BIM Guide*, зосереджується на стандартизації процесів моделювання та контролю якості для федеральних проектів. GSA розробила детальні вимоги до рівнів деталізації (LOD) та процедур перевірки моделей, що включають автоматизовану детекцію колізій, валідацію просторових вимог та перевірку відповідної доступності для маломобільних груп населення (ADA compliance). Ключовою особливістю американського підходу є інтеграція BIM-контролю з наявними системами управління проектами та забезпечення повної трасованості змін у моделі.

Британська модель *BIM Level 2*, запроваджена для державних проектів у 2016 році, базується на концепції федерованих моделей та спільного середовища даних. Система контролю якості включає три основні компоненти: перевірку якості моделі на рівні дисципліни, федерацію моделей для міждисциплінарної координації та доставляння інформації замовнику у стандартизованому форматі. Особливістю британського підходу є використання стандарту PAS 1192, який детально регламентує процеси управління інформацією та контролю якості на всіх етапах проекту.

Сінгапурська система CORENET e-PlanCheck представляє найбільш розвинений приклад повністю автоматизованої перевірки відповідності будівельним нормам. Система здатна автоматично перевіряти понад 80 % вимог будівельного кодексу Сінгапуру, включаючи складні просторові відносини, вимоги до евакуації та інженерні системи. Ключовими інноваціями сінгапурського підходу є використання семантичного моделювання для інтерпретації будівельних норм та застосування штучного інтелекту для розпізнавання нестандартних архітектурних рішень.

Німецький досвід *Model View Definition (MVD)* та голландська система *Open BIM* демонструють важливість стандартизації обміну даними між дисциплінами. Німецька модель

зосереджується на детальному описі інформаційних вимог на кожній стадії проєкту та забезпеченні точної передачі даних між різними програмними платформами. Голландський підхід підкреслює важливість відкритих стандартів та незалежності від конкретних програмних рішень.

Скандинавські країни (Норвегія, Фінляндія, Швеція) розробили інтегровані платформи, що поєднують BIM з геоінформаційними системами (GIS) для комплексного планування територій. Норвезька система *Statsbygg BIM Manual* встановлює детальні вимоги до моделювання з урахуванням суворих кліматичних умов та вимог енергоефективності. Фінська модель COBIM (Common BIM Requirements) зосереджується на стандартизації процесів та забезпеченні якості на всіх етапах проєкту.

Австралійський досвід *Digital Engineering Framework* демонструє інтеграцію BIM-технологій з цифровими двійниками інфраструктурних об'єктів. Особливістю австралійського підходу є акцент на життєвому циклі активів та використанні BIM-даних для оптимізації експлуатації та обслуговування.

Проведений порівняльний аналіз міжнародного досвіду виявив, що найбільш розвинені системи контролю якості BIM-моделей характеризуються різними підходами до автоматизації та адаптації до національних норм. Сінгапурська система CORENET демонструє найвищий рівень автоматизації, однак має обмежену адаптивність до інших нормативних баз, що робить її практично непридатною для прямого впровадження в українських умовах. Американський та британський досвід показує середній рівень автоматизації з акцентом на стандартизації процесів, проте ці системи також слабо адаптовані до континентально європейських будівельних традицій. Скандинавські моделі демонструють найкращу практику інтеграції BIM з геоінформаційними системами, що є перспективним для українського містобудівного планування. Загалом, аналіз свідчить про відсутність універсальної системи контролю якості, яка б одночасно забезпечувала високий рівень автоматизації та адаптивність до різних нормативних середовищ, що обґрунтовує необхідність розробки власної методології для українських умов (табл. 2).

**Таблиця 2**

**Порівняльний аналіз міжнародних систем контролю якості**

Країна	Основний стандарт	Рівень автоматизації	Охоплення норм	Особливості
США	GSA BIM Guide	Високий	Федеральні проєкти	Акцент на доступності
Великобританія	PAS 1192 / ISO 19650	Середній	Державні проєкти	Федеровані моделі
Сінгапур	CORENET	Високий	Повне покриття	Штучний інтелект
Німеччина	VDI 2552	Середній	Промислові об'єкти	Стандартизація обміну
Нідерланди	NLCS/Open BIM	Середній	Інфраструктура	Відкриті стандарти
Норвегія	Statsbygg Manual	Середній	Державні будівлі	Енергоефективність

**3. Концептуальна модель багаторівневої системи контролю якості.** Провівши комплексний аналіз світового досвіду архітектурного-конструктивного контролю BIM орієнтованого проєктування сформовано основи моделі контролю якості BIM адаптованої для вітчизняних умов, що базується на принципах системного підходу та включає п'ять взаємопов'язаних рівнів контролю, кожен з яких має специфічні цілі, методи та критерії оцінки. Теоретичною основою моделі є теорія надійності складних систем та концепція багатобар'єрного захисту, адаптована до специфіки BIM-проєктування.

Фундаментальним принципом розробленої системи є послідовна деталізація контролю від загальних геометричних характеристик до специфічних нормативних вимог. Кожен рівень функціонує як незалежний фільтр, що виявляє та усуває специфічний тип помилок або невідповідностей, водночас передаючи перевірену інформацію на наступний рівень для більш детального аналізу (рис. 1).



**Рисунок 1** — Структурна модель п'ятирівневої системи контролю якості BIM

Перший рівень — геометрична верифікація — забезпечує базову цілісність моделі та виявлення фізичних конфліктів між елементами. Цей рівень використовує алгоритми просторового аналізу для детекції фізичних колізій, перевірки геометричної точності елементів та валідації топологічних зв'язків. Автоматизована система здійснює перевірку відповідності геометричних параметрів заданим толерансам, виявляє дублювання елементів та контролює правильність просторового позиціонування компонентів моделі.

Другий рівень — архітектурно-планувальна перевірка — фокусується на функціональних аспектах проектного рішення та його відповідності основним положенням ДБН. Система автоматично перевіряє дотримання мінімальних площ приміщень, висот стель, ширини коридорів та інших параметрів, регламентованих будівельними нормами. Особлива увага приділяється перевірці доступності для людей з інвалідністю, включаючи ширину проходів, ухили пандусів та розташування спеціального обладнання.

Третій рівень — конструктивна валідація — забезпечує перевірку структурної цілісності та відповідності конструктивних рішень розрахунковим схемам. Система автоматично екстрагує геометричні та матеріальні характеристики конструктивних елементів, формує розрахункові схеми та виконує попередню оцінку несної здатності. Інтеграція з розрахунковими комплексами дозволяє автоматично передавати дані для детального структурного аналізу та верифікації результатів розрахунків.

Четвертий рівень — інтеграційна оцінка систем — здійснює комплексний аналіз взаємодії архітектурних, конструктивних та інженерних систем. Система перевіряє сумісність різних дисциплін, виявляє потенційні конфлікти між системами та оцінює ефективність загального проектного рішення. Особлива увага приділяється координації інженерних мереж з конструктивними елементами та архітектурними рішеннями.

П'ятий рівень — експертна перевірка безпеки — передбачає професійну оцінку дотримання спеціальних нормативних вимог та стандартів безпеки. Цей рівень включає перевіряння пожежної безпеки, сейсмостійкості, енергоефективності та інших аспектів, що потребують професійної експертизи та не можуть бути повністю автоматизовані.

4. Методологія інтегрованого контролю якості. На основі сформованої моделі запропонована методологія, що базується на інтеграції автоматизованих алгоритмів перевірки з експертною оцінкою, забезпечуючи комплексний підхід до контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей. Ключовим елементом методології є матриця відповідності рівнів деталізації (Level of Development, LOD) українським будівельним нормам, що забезпечує поетапний контроль якості відповідно до стадій проектування (табл. 3).

*Таблиця 3*

*Матриця відповідності LOD українським ДБН*

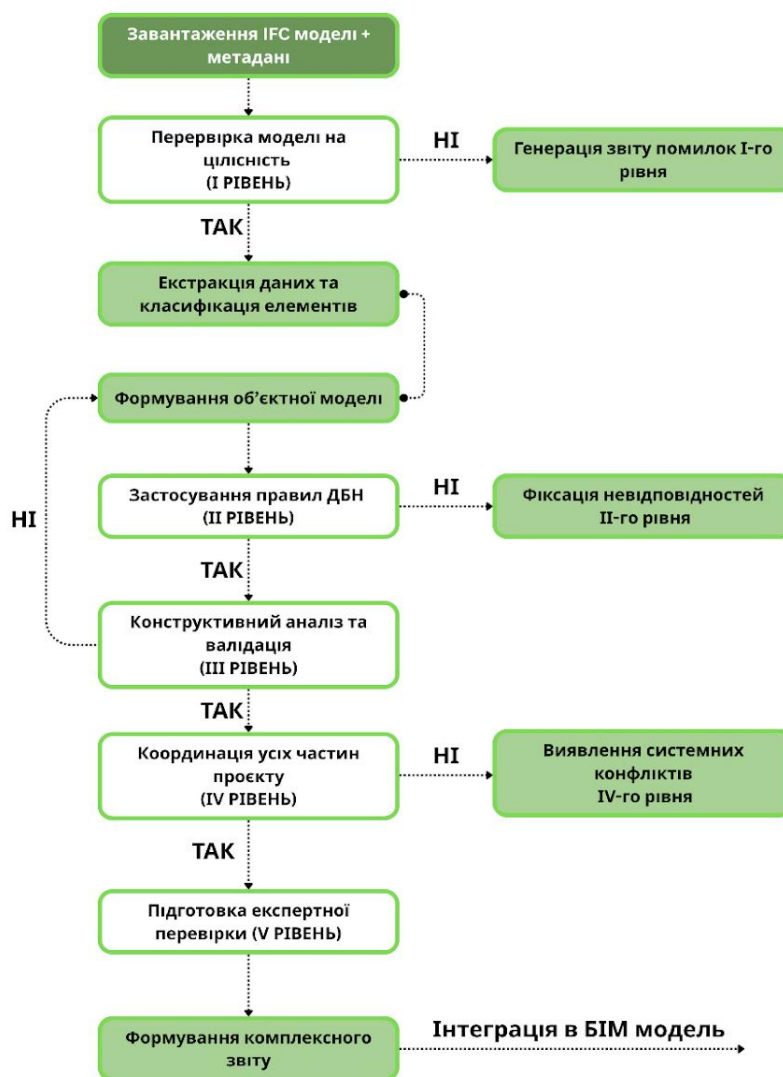
Стадія проектування	LOD	Архітектурні елементи	Конструктивні елементи	Інженерні системи	Контрольні процедури
Техніко-економічне обґрунтування	LOD 100	Об'ємно-просторові рішення	Концептуальна схема	Загальна схема	Загальна відповідність
Ескізний проект	LOD 150	Функціональне планування	Конструктивна система	Принципові рішення	Функціональна перевірка
Проект	LOD 200	Архітектурні рішення	Конструктивна схема	Схематичні рішення	Нормативна валідація
Проект (уточнений)	LOD 250	Деталізовані рішення	Попередні розрахунки	Розрахункові схеми	Розрахункова перевірка
Робочий проект	LOD 300	Робочі креслення	Розрахункові схеми	Робочі креслення	Детальна валідація
Виконавчі креслення	LOD 400	Виробничі деталі	Монтажні схеми	Монтажні схеми	Виробнича перевірка
Експлуатаційна модель	LOD 500	Фактичні параметри	Реальні характеристики	Налаштування систем	Експлуатаційний контроль

Теоретичною основою методології є концепція інформаційної зрілості моделі, що передбачає поступове накопичення та уточнення проектної інформації від концептуального етапу до детального проектування. Кожна стадія характеризується специфічними вимогами до повноти, точності та достовірності інформації, що відображається у відповідних процедурах контролю якості (рис. 2). При цьому автоматизована система контролю якості повинна інтегруватись з основними BIM-платформами через стандартизовані API та формати обміну даними та провідних BIM-платформ (Revit, ArchiCAD, Tekla, Bentley).

Дана система автоматизованої перевірки базується на гібридному підході, що поєднує правило-орієнтовані алгоритми з елементами машинного навчання. Для повноцінної перевірки моделі в процесі проектування база бібліотека правил повинна включати понад 2000 елементів перевірки, структурованих відповідно до розділів ДБН та згрупованих за типами об'єктів і функціональним призначенням.

Застосування алгоритму машинного навчання та AI дозволяє розпізнавати складні просторові конфігурації, класифікації нестандартних архітектурних елементів та прогнозувати потенційні проблеми на основі аналізу попередніх проектів. Саме система самонавчання дозволяє адаптувати алгоритми перевірки до специфіки конкретних типів об'єктів і проектних організацій. Інтеграція з

зовнішніми системами повинна забезпечуватись через RESTful API та веб-сервіси, що дозволяє включити контроль якості у наявні робочі процеси проектних організацій, а також підтримку інтеграції з популярними платформами управління проектами (Autodesk Construction Cloud, Bentley ProjectWise, Trimble Connect) та системами документообігу.



**Рисунок 2** — Алгоритм автоматизованої перевірки відповідності

5. Правові механізми розподілу відповідальності. Система багаторівневого контролю якості потребує чіткого визначення правових механізмів розподілу відповідальності між учасниками проектування, що особливо актуально в контексті BIM-проектуювання з його розподіленою моделлю співробітництва. Розроблено матрицю відповідальності, що враховує специфіку BIM-проектуювання та вимоги чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про архітектурну діяльність» та «Про регулювання містобудівної діяльності».

Правова модель базується на принципі розподіленої відповідальності з чітким визначенням сфер компетенції кожного учасника проектного процесу. Ключовим елементом є введення нової ролі — BIM-координатора, який несе відповідальність за цілісність загальної моделі проекту та координацію між різними дисциплінами.

Згідно з розробленою правовою схемою, відповідальність розподіляється на три рівні: індивідуальну (відповідальність спеціаліста за власну частину моделі), колективну (відповідальність команди за інтегровану модель дисципліни) та системну (відповідальність за загальну координацію та відповідність проєкту). Кожен рівень має власні механізми контролю, звітності та юридичного захисту (табл. 4).

*Таблиця 4*

*Матриця розподілу відповідальності*

Рівень контролю	ВІМ-менеджер	Архітектор	Конструктор	Інженер	Експерт	Замовник
Геометрична верифікація	Координація процесу	Архітектурна геометрія	Конструктивна геометрія	Інженерна геометрія	Консультації	Затвердження
Архітектурно-планувальна	Контроль процедур	Відповідальність за рішення	Узгодження з архітектурою	Інженерні обмеження	Перевірка норм	Функціональні вимоги
Конструктивна валідація	Забезпечення даних	Архітектурні обмеження	Розрахункова відповідальність	Навантаження від систем	Валідація розрахунків	Технічні вимоги
Інтеграційна оцінка	Загальна координація	Архітектурна інтеграція	Конструктивна інтеграція	Системна інтеграція	Системна оцінка	Загальне узгодження
Експертна перевірка	Документування	Архітектурна експертиза	Конструктивна експертиза	Інженерна експертиза	Повна відповідальність	Остаточне затвердження

Іншою важливою віхою в розробці правових механізмів розподілу відповідальності при комплексній багаторівневій системі контролю якості архітектурно-конструктивних рішень в ВІМ орієнтованому проєктуванні є проблеми розв'язання конфліктів між учасниками при виявленні невідповідностей або помилок у моделі.

Запропоновано процедури ескалації проблем, починаючи від безпосереднього врегулювання між спеціалістами до залучення незалежної експертизи та арбітражу, де опираючись на світову практику нормативної бази в проєктуванні із застосування комплексних ВІМ моделей слід сформувати структуру типових договорів ВІМ-проєктування, що регламентують права та обов'язки сторін щодо якості моделей, термінів виконання перевірок та процедур внесення змін. Договори повинні містити детальні положення щодо інтелектуальної власності на елементи ВІМ-моделі, конфіденційності проєктної інформації та розподілу комерційних ризиків.

Система правового захисту учасників повинна включати механізми страхування професійної відповідальності, адаптовані до специфіки ВІМ-проєктування з відповідними рекомендаціями щодо мінімальних лімітів страхового покриття залежно від масштабу та складності проєктів.

6. Шляхи розвитку багаторівневої системи контролю якості архітектурно-конструктивних рішень. Подальший розвиток багаторівневої системи контролю якості можливий шляхом інтеграції з технологіями штучного інтелекту та машинного навчання для підвищення точності автоматизованої перевірки шляхом розроблення спеціалізованого програмного забезпечення, адаптованого до специфіки українських ДБН та створення національної бази знань для систем автоматизованої перевірки відповідності.

Опираючись на результати аналізу впровадження аналогічних систем у світову практику АЕС галузі стратегічні напрями розвитку включають: розширення бібліотеки правил перевірки, впровадження алгоритмів глибокого навчання для розпізнавання складних архітектурних конфігурацій, інтеграцію з геоінформаційними системами для містобудівного аналізу, розробку мобільних додатків для польової верифікації проєктних рішень, створення системи цифрових двійників для експлуатаційного контролю (рис. 3).



**Рисунок 3** — Перспективи розвитку системи контролю якості архітектурно-конструктивних рішень

Технічний розвиток системи зосереджується на підвищенні продуктивності обробки великих моделей через використання графічних процесорів (GPU) для паралельних обчислень і квантових алгоритмів для оптимізації складних просторових запитів.

Стратегічним напрямом є формування єдиної цифрової платформи контролю якості BIM-моделей на усіх рівнях процесу спорудження та функціонування будівлі, що забезпечить стандартизацію процедур та підвищить загальний рівень якості проектування в будівельній галузі України.

Обговорення та результати дослідження. Розроблена методологія багаторівневої системи контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей демонструє значні переваги порівняно з наявними підходами. Ключовою новизною є інтеграція п'яти взаємодоповнюючих рівнів контролю з адаптацією до специфіки українських будівельних норм і правових реалій.

Принципова відмінність від міжнародних аналогів полягає у врахуванні специфічних умов реалій розвитку будівельної галузі України, включаючи особливості нормативної бази, технічної культури проектування та організаційних структур. Важливим досягненням є розроблення концепції «нормативного плюралізму» у BIM-середовищі для одночасного врахування національних норм, міжнародних стандартів і локальних специфікацій.

Порівняльний аналіз з провідними міжнародними системами (CORENET, GSA BIM Guide, Solibri Model Checker) показав, що розроблена методологія демонструє оптимальний баланс між рівнем автоматизації та адаптивністю до національних норм. Хоча деякі системи показують вищий рівень автоматизації, вони практично не адаптовані до українських ДБН.

Також виявлено певні обмеження запропонованої методології: залежність від якості вхідних даних, складність впровадження для малих організацій та потребу у кваліфікованих експертах. Водночас ці обмеження не критичні та можуть бути подолані через поетапне впровадження та розвиток освітніх програм як для діючих спеціалістів так і в системі підготовки кадрів.

Перспективи розвитку включають інтеграцію з технологіями штучного інтелекту, розширення бібліотеки правил перевірки, створення мобільних додатків для польової верифікації та розроблення системи цифрових двійників для експлуатаційного контролю.

### Висновки

Проведене дослідження методичних підходів та нормативно-правових аспектів впровадження системи контролю якості архітектурно-конструктивних рішень при BIM-проектуванні дозволило досягти поставленої мети та отримати комплекс науково-теоретичних і практичних результатів, що мають важливе значення для цифрової трансформації будівельної галузі України.

Розроблено концептуальну модель п'ятирівневої системи контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей, що базується на принципах системного підходу та теорії надійності складних систем. Модель інтегрує геометричну верифікацію, архітектурно-планувальну перевірку, конструктивну валідацію, інтеграційну оцінку систем та експертну перевірку безпеки, забезпечуючи послідовну деталізацію контролю від загальних геометричних характеристик до специфічних нормативних вимог. Кожен рівень функціонує як незалежний фільтр, що виявляє та усуває специфічний тип помилок або невідповідностей, водночас передаючи перевірену інформацію на наступний рівень для більш детального аналізу.

Науковою новизною дослідження є обґрунтування теоретичних засад концепції «нормативного плюралізму» у BIM-середовищі, що дозволяє одночасно враховувати національні будівельні норми, міжнародні стандарти та локальні специфікації при контролі якості проєктних рішень. Це принципово відрізняється від існуючих міжнародних підходів, орієнтованих на високо стандартизовані середовища з розвинутою BIM-культурою, та враховує специфіку перехідного стану української будівельної галузі.

Створено методологію інтегрованого контролю якості, що поєднує автоматизовані алгоритми перевірки з експертною оцінкою та включає матрицю відповідності рівнів деталізації (LOD) українським державним будівельним нормам на різних стадіях проєктування. Розроблено алгоритм автоматизованої перевірки відповідності, що поєднує правило-орієнтовані методи з елементами машинного навчання та включає низку елементів перевірки, структурованих відповідно до розділів ДБН.

Визначено правові механізми розподілу відповідальності між учасниками BIM-проектування з урахуванням специфіки багаторівневого контролю. Розроблено матрицю відповідальності, що розподіляє компетенції між BIM-менеджером, архітектором, конструктором, інженером та експертом на кожному рівні контролю якості, базуючись на принципі розподіленої відповідальності з чітким визначенням сфер компетенції кожного учасника проєктного процесу. Обґрунтовано введення нової ролі BIM-координатора, який несе відповідальність за цілісність загальної моделі проєкту та координацію між різними дисциплінами.

Проведений компаративний аналіз міжнародного досвіду виявив відсутність universal системи контролю якості, яка б одночасно забезпечувала високий рівень автоматизації та адаптивність до різних нормативних середовищ. Сінгапурська система CORENET демонструє найвищий рівень автоматизації, однак має обмежену адаптивність до інших нормативних баз, що робить її практично непридатною для прямого впровадження в українських умовах. Американський і британський досвід показує середній рівень автоматизації з акцентом на стандартизації процесів, проте ці системи також слабко адаптовані до європейських будівельних практик. Розроблена методологія забезпечує оптимальний баланс між рівнем автоматизації та адаптивністю до національних норм, що обґрунтовує необхідність створення власної системи для українських умов.

Практичне значення дослідження полягає у створенні основи для системної цифрової трансформації будівельної галузі України з урахуванням національних особливостей та

нормативно-правових вимог. Розроблена методологія особливо актуальна в контексті післявоєнної реконструкції держави, коли потреба у швидкому та якісному проектуванні є критично важливою для відновлення зруйнованої інфраструктури. Впровадження багаторівневої системи контролю якості сприятиме підвищенню безпеки будівель, покращенню якості проектних рішень і зміцненню конкурентоспроможності українських проектних організацій на міжнародному ринку.

Перспективи подальших досліджень включають інтеграцію з технологіями штучного інтелекту для підвищення точності автоматизованої перевірки, розширення бібліотеки правил перевірки, створення мобільних додатків для польової верифікації та розроблення системи цифрових двійників для експлуатаційного контролю. Стратегічним напрямом є формування єдиної цифрової платформи контролю якості BIM-моделей, що забезпечить стандартизацію процедур і підвищить загальний рівень якості проектування в будівельній галузі України.

### Список літератури

1. Про затвердження Методики проведення обстеження та оформлення його результатів : наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 06.08.2022 № 144. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22#Text> (дата звернення: 18.09.2025).
2. Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації : розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 № 152-р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-p> (дата звернення: 18.09.2025).
3. Demian, P. BIM Implementation in Post-War Reconstruction of Ukraine / P. Demian, T. M. Hassan, O. Kalmykov, I. Demianenko, R. Makarov. *Buildings*. 2024. Vol. 14, No. 11. Article 3495. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14113495>.
4. Solihin, W. BIM-based automated rule-checking in the AECO industry: Learning from semiconductor manufacturing / W. Solihin, Z. Liu, Y. Lu, L. Wei. *Automation in Construction*. 2024. Vol. 162. Article 105406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105406>.
5. Wang, W.-C. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support / W.-C. Wang, S.-W. Weng, S.-H. Wang, C.-Y. Chen. *Automation in Construction*. 2014. Vol. 37. P. 68–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.009>.
6. Rehman, I. U. Systematic review of 4D BIM benefits in construction projects / I. U. Rehman, K. M. Mazher, I. Y. Wuni. *Results in Engineering*. 2025. Vol. 28. Article 107091. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107091>.
7. Zhou, D. Innovative BIM technology application in the construction management of highway / D. Zhou, B. Pei, X. Li [et al.]. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Article 15298. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66232-5>.
8. Vahidi, J. Optimizing construction scheduling using the sine cosine algorithm (SCA) with building information modeling (BIM) / J. Vahidi, S. M. Golmaei. *Results in Engineering*. 2025. Vol. 28. Article 107100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107100>.
9. Yilmaz, M. Multi-objective time–cost trade-off optimization for the construction scheduling with Rao algorithms / M. Yilmaz, T. Dede. *Structures*. 2023. Vol. 48. P. 798–808. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.006>.
10. Hryhorovskiy P., Osadcha I., Jurelionis A., Basanskyi V., Hryhorovskiy A. A BIM-Based Method for Structural Stability Assessment and Emergency Repairs of Large-Panel Buildings Damaged by Military Actions and Explosions: Evidence from Ukraine. *Buildings*. 2022. Vol. 12, No 1817. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12111817>.
11. Тугай, О. Загальний план і фази впровадження BIM-концепції у будівельній галузі / О. Тугай, В. Поколенко, А. Єсипенко, О. Дубинка. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2021. Т. 1, № 47. С. 3–14. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47\(1\).3-14](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47(1).3-14).
12. Кушнір, С. І. Застосування BIM-технологій для моделювання циклу будівельного проекту та адміністрування його середовищем / С. І. Кушнір, О. А. Бондар, В. О. Поколенко, І. М.

Якимчук, О. М. Хоменко. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2019. № 15. С. 26–33. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2019/172376>.

13. Левченко, Н. М. Реконструкція будівель з використанням BIM технологій при відновленні міст в Україні / Н. М. Левченко, П. С. Бейнер, Н. В. Бейнер. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2022. № 4 (99). С. 64–70. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.PMHTM.2413.271222.64.912>.

### References

1. Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine (2022). Order No. 144 «On approval of the Methodology for conducting surveys and documenting their results» dated August 6, 2022. Available at: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22#Text> (accessed September 18, 2025) [in Ukrainian].

2. Cabinet of Ministers of Ukraine (2021). Ordinance No. 152-r «On approval of the Concept for implementation of Building Information Modeling (BIM) technologies in Ukraine and approval of the action plan for its implementation» dated February 17, 2021. Available at: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-p> (accessed September 18, 2025) [in Ukrainian].

3. Demian, P., Hassan, T. M., Kalmykov, O., Demianenko, I., & Makarov, R. (2024). BIM Implementation in Post-War Reconstruction of Ukraine. *Buildings*, 14(11), 3495. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14113495> [in English].

4. Solihin, W., Liu, Z., Lu, Y., & Wei, L. (2024). BIM-based automated rule-checking in the AECO industry: Learning from semiconductor manufacturing. *Automation in Construction*, 162, 105406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105406> [in English].

5. Wang, W.-C., Weng, S.-W., Wang, S.-H., & Chen, C.-Y. (2014). Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. *Automation in Construction*, 37, 68-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.009> [in English].

6. Rehman, I.U., Mazher, K.M., & Wuni, I.Y. (2025). Systematic review of 4D BIM benefits in construction projects. *Results in Engineering*, 28, 107091. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107091> [in English].

7. Zhou, D., Pei, B., Li, X., et al. (2024). Innovative BIM technology application in the construction management of highway. *Scientific Reports*, 14, 15298. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66232-5> [in English].

8. Vahidi, J., & Golmaei, S.M. (2025). Optimizing construction scheduling using the sine cosine algorithm (SCA) with building information modeling (BIM). *Results in Engineering*, 28, 107100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107100> [in English].

9. Yılmaz, M., & Dede, T. (2023). Multi-objective time–cost trade-off optimization for the construction scheduling with Rao algorithms. *Structures*, 48, 798–808. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.006> [in English].

10. Hryhorovskiy, P., Osadcha, I., Jurelionis, A., Basanskyi, V., & Hryhorovskiy, A. (2022). A BIM-Based Method for Structural Stability Assessment and Emergency Repairs of Large-Panel Buildings Damaged by Military Actions and Explosions: Evidence from Ukraine. *Buildings*, 12(11), 1817. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12111817> [in English].

11. Tugay, O., Pokolenko, V., Yesypenko, A., & Dubynka, O. (2021). General plan and phases of BIM concept implementation in the construction industry. *Ways to Improve Construction Efficiency*, 1(47), 3–14. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47\(1\).3-14](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47(1).3-14) [in Ukrainian].

12. Kushnir, S. I., Bondar, O. A., Pokolenko, V. O., Yakymchuk, I. M., & Khomenko, O. M. (2019). Application of BIM technologies for modeling the construction project cycle and administration by its environment. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 15, 26–33. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2019/172376> [in Ukrainian].

13. Levchenko, N. M., Beiner, P. S., & Beiner, N. V. (2022). Building reconstruction using BIM technologies in urban restoration in Ukraine. *Metallurgy and Heat Treatment of Metals*, 4(99), 64–70. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.PMHTM.2413.271222.64.912> [in Ukrainian].

Ivan Smadych, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-7964-5730>

Oleksii Yaschenko, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-6181-6597>

Tetiana Skrypyn, <https://orcid.org/0000-0002-4394-8294>

Mykola Kapak, <https://orcid.org/0009-0002-0138-8126>

Yuriy Berezovskyi, <https://orcid.org/0009-0004-5139-4676>

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine*

### METHODOLOGICAL APPROACHES AND REGULATORY-LEGAL ASPECTS OF IMPLEMENTING A QUALITY CONTROL SYSTEM FOR ARCHITECTURAL-STRUCTURAL SOLUTIONS IN BIM DESIGN

#### **Abstract**

**Introduction.** The rapid development of BIM technologies in the construction industry is accompanied by growing requirements for the quality of architectural-structural models, however, the lack of a systematic approach to multi-level verification leads to design errors, conflicts between systems, and non-compliance with regulatory requirements. Integration of BIM modeling with building codes and legal standards is critically important for ensuring safety, structural integrity, and compliance with regulatory requirements.

**The research objective** is to develop a scientifically grounded methodology for a multi-level quality control system for architectural-structural BIM models, taking into account the current regulatory-legal framework of Ukraine and international BIM design standards.

**Materials and methods.** A systematic approach was applied to create an automated BIM model quality assessment system, including a data extraction and analysis module, data storage module, and visualization module. Comparative analysis of international automated compliance checking (ACC) systems for structural calculation codes in BIM environment, interdisciplinary coordination process modeling, expert assessment, and validation on real projects were used. Results. A five-level quality control system methodology was developed, combining: (1) automated geometric verification and collision detection between architectural and structural elements; (2) verification of architectural-planning solutions according to DBN, including spatial characteristics, accessibility, and constructability; (3) validation of structural solutions in accordance with structural calculation codes using machine-readable rules; (4) comprehensive assessment of architectural-structural systems integration for compliance with design requirements; (5) expert verification of compliance with special regulatory provisions and safety standards. Mechanisms for IFC openBIM model federation were defined to improve interoperability between architectural and structural project sections.

**Conclusions.** This research created for the first time an integrated 3D BIM model quality assessment system using specialized modules for each discipline and automatic information extraction for compliance assessment with configured checklists. A matrix of correspondence between levels of development (LOD) and Ukrainian building codes at different design stages was developed. A methodology for integrating building code compliance checking directly into the BIM modeling process with visualization and simulation capabilities for compliance requirements was proposed.

The proposed methodology provides a systematic interdisciplinary approach to quality control of architectural-structural BIM models and contributes to improving construction design efficiency while fully complying with regulatory-legal requirements, creating a foundation for digital transformation of Ukraine's construction industry.

**Keywords:** BIM technologies, quality control methodology, architectural-structural design, multi-level verification system, regulatory-legal regulation, Ukrainian building codes, building information modeling.