

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Арзу Халілова**

на тему «Менеджмент будівельних проєктів з застосуванням ВІМ технологій та штучного інтелекту на цифровій платформі»

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 07 – Управління та адміністрування

за спеціальністю 073 – Менеджмент

За результатами детального вивчення дисертаційного дослідження Арзу Халілова на тему «Менеджмент будівельних проєктів з застосуванням ВІМ технологій та штучного інтелекту на цифровій платформі» та аналізу його наукових публікацій можна сформулювати наступні висновки та надати оцінку виконаного дослідження.

**Актуальність теми дисертації.** Дисертаційне дослідження Арзу Халілова присвячене розробці моделей, методів та інструментів для менеджменту будівельних проєктів на основі застосування цифрових технологій (включаючи ВІМ) та систем штучного інтелекту, що дозволяє підвищити точність прогнозування успіху будівельного проєкту; покращити прийняття рішень та знизити вплив негативних факторів на проєкт.

Тема дисертації відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки України та переліку пріоритетних тематичних напрямків наукових досліджень та наукових розробок.

Інформаційні технології мають вплив на усі галузі господарства, включаючи й будівельну. Впровадження технологій ВІМ стає необхідною умовою для розвитку та виживання галузі в епоху цифровізації, розвитку та застосування систем штучного інтелекту. Такі технології підвищують результати людської діяльності, зменшуючи помилки та надаючи більш широкі можливості за рахунок розширення горизонтів можливостей.

**Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.** Автор чітко ставить мету дослідження, яка полягає в розробці моделей, методів та інструментів для менеджменту будівельних проєктів на основі цифрових технологій (включаючи BIM) та ШІ та логічною відповідністю методів дослідження стосовно сформульованої мети та задач дослідження.

**Достовірність основних положень роботи забезпечена:**

- обґрунтованим формулюванням гіпотези дослідження "Створення BIM технологій з їх інтеграцією зі штучним інтелектом на цифровій платформі дозволить покращити ефективність менеджменту будівельних проєктів та забезпечить зменшення витрат, ризиків та термінів виконання робіт та підвищення якості реалізації проєктів." Така гіпотеза відповідає постановці наукових задач;
- використанням BIM технологій у плануванні, виконанні та управлінні будівельними проєктами, а також штучного інтелекту у вирішенні завдань автоматизації та оптимізації процесів будівництва;
- застосуванням систем штучного інтелекту з наступним кроком бенчмаркінгу, який забезпечить перенос кращих рішень щодо наступного проєктування;
- застосуванням моделей, які працюють на цифровій платформі, забезпечують необхідну бізнес аналітику будівельної організації щодо впровадження проєктів для прийняття ефективних рішень;
- поєднанням теоретичних досліджень із експериментальним дослідженням.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у створенні концептуальної моделі та інструментарію (моделей та методів) на основі BIM технологій інтегрованих зі штучним інтелектом щодо менеджменту будівельних проєктів в цифровому середовищі.

*Вперше*

- Створено концептуальну модель менеджменту будівельних проєктів у

цифровому середовищі в межах застосування BIM технологій інтегрованих з системами штучного інтелекту. Модель дає змогу автоматизувати різні методології управління, в основі яких лежить планування і контроль вимірних показників та прийняття коригуючих рішень з менеджменту задля досягнення успіху.

- Запропоновано модель та метод конвергенції сучасних BIM технологій з системами штучного інтелекту на цифрових платформах. Метод визначає покрокове наближення функціоналу BIM технології до застосувань штучного інтелекту в межах цифрових платформ бізнес аналітики будівельних проєктів.

#### Удосконалено

- Систему індикаторів інноваційних цифрових технологій у інформаційно-аналітичних моделях будівельного проєкту, яка на відміну від існуючих враховує застосування ШІ в системі моделювання.
- BIM-моделювання модернізації організаційно-технологічної моделі життєвого циклу будівельного проєкту з застосування штучного інтелекту на цифровій платформі.

#### Отримало подальшого розвитку

- Принципи формалізованих цифрових описів моделювання циклу та організації будівництва на підставі яких формалізовано визначаються порівняльні переваги кожної з альтернатив організації будівництва щодо іншої.
- Компоненти та приклади BIM-моделювання інтегрованого зі штучним інтелектом для аналізу альтернативних рішень будівельного проєкту.

**Особистий внесок здобувача.** Отримані в дисертаційному дослідженні наукові та прикладні результати належать особисто автору, які опубліковані в роботах автора, що відображено у списку літератури.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у спрямуванні простору цифрового менеджменту будівельних проєктів на успішну реалізацію будівельних проєктів. Впроваджений у запропонованих моделях та методах багатокритеріальний підхід у формуванні та виборі варіантів реалізації проєкту будівництва через використання BIM-технологій та систем штучного інтелекту забезпечує зростання можливостей коригування ходу виконання проєкту (з врахуванням очікуваного впливу факторів зовнішнього та внутрішнього середовища будівельного проєкту) та, як результат, зростання ступеня достовірності при прийнятті управлінських рішень у будівельних проєктах.

**Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях.** Результати та висновки дослідження доповідались і одержали схвалення на 7 міжнародних науково-практичних конференціях та семінарах, інформація щодо яких наведена у списку опублікованих праць. Таким чином, наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

#### **Оцінка змісту, стилю та мови дисертації, її завершеності, оформлення**

Представлена на рецензію дисертаційна робота написана українською мовою та оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Дисертаційне дослідження складається з анотації українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 175 сторінок, з них основного тексту – 153 сторінки. Список використаних джерел налічує 165 найменувань і займає 12 сторінок. Робота включає додатки, у кількості 2 сторінок та містить 50 рисунків і 9 таблиць.

**У вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертаційного дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначена мета, об'єкт і предмет дослідження, окреслені завдання, які необхідно виконати для досягнення мети, описані методи дослідження, а також наукова та практична

новизна отриманих результатів. Описано особистий внесок здобувача та представлена інформація щодо публікацій та апробації результатів дисертаційного дослідження.

**У першому розділі «Розвиток цифрового простору, застосувань BIM та штучного інтелекту у будівельній галузі України»** проаналізовані проблеми застосування BIM технологій та штучного інтелекту на цифрових платформах менеджменту будівельних проєктів. Надано визначення основних понять, таких як «цифровий простір», «штучний інтелект», «BIM технології», «індустрія 5.0» та «індустрія 4.0». Акцентовано увагу на проблемах спільного застосування двох революційних технологій, які мають значний потенціал для покращення менеджменту будівельних проєктів - BIM технологій та штучного інтелекту. Описані ключові напрямки (тренди) створення цифрового простору та застосування штучного інтелекту в будівельних проєктах. Показано, що майбутнє цифрової взаємодії лежить у площині цифрових платформ. У розділі визначені ключові завдання України на шляху до розвитку цифрових платформ, зокрема у частині розвитку електронної взаємодії бізнесу. Приділена особлива увага аналізу тенденцій нової концепції, яка виникає в контексті швидкого розвитку технологій та штучного інтелекту - Індустрії 5.0. На основі цієї концепції проаналізовано впровадження штучного інтелекту у менеджменті будівельних проєктів та описано потенціал цифровізації менеджменту будівельної галузі.

**Другий розділ «Моделі та методи формування цифрового простору менеджменту будівельних проєктів»** присвячено опису формування концептуальної моделі цифровізації та штучного інтелекту у менеджменті будівельних проєктів, розробці моделі та методу конвергенції сучасних BIM-технологій з системами штучного інтелекту на цифрових платформах, опису моделі функціонування і розвитку конкурентоздатного цифрового середовища будівельних проєктів. Звернута увага на той факт, що цифровізація торкається і такої «класичної» галузі як будівництво. Сьогодення не можливе без широкого застосування інформаційних технологій, а отже, їх використання у будівельній

галузі стає необхідним та затребуваним кроком в контексті сучасних трендів та вимог. Сам процес будівництва має певні обмеження щодо широкого заміщення людської праці автоматизацією. Проте напрямок менеджменту будівельних проєктів можна розглядати як такий, який буде і повинен бути автоматизований у певних напрямках. І засоби штучного інтелекту можуть суттєво допомогти у цьому. Розділ детально описує як саме це повинно бути зроблено і за допомогою яких моделей та методів. Акцент робиться на створенні концептуальної моделі застосування BIM технологій та штучного інтелекту на цифровій платформі, описі її основних компонентів. Автор говорить про те, що ці компоненти взаємодіють через механізм конвергенції (взаємо проникнення), який працює на рівні окремих функцій BIM технологій та систем штучного інтелекту. Після застосування кожної із систем штучного інтелекту виконується операція бенчмаркінгу для переносу кращих практик до моделі проєкту. У розділі описано побудову математичної моделі конвергенції управління будівельними проєктами на основі цінностей на базі методології аналізу багатокритеріальних задач. У розділі описано покрокове формування математичної моделі взаємодії штучного інтелекту та BIM технологій. Визначено чотири групи запитів, що забезпечують системну модель взаємодії штучного інтелекту та BIM технологій. Розділ презентує схему компонентів стратегії цифровізації будівельного підприємства.

**Третій розділ «Застосування штучного інтелекту та BIM-технологій у цифровому просторі будівельних проєктів»** присвячено формуванню загального підходу інтеграції штучного інтелекту, BIM-технологій до цифрового простору будівельних проєктів, опису ключових принципів застосування штучного інтелекту у цифровому просторі будівельних проєктів, опису BIM-орієнтованої моделі інформаційного простору організаційно-технологічних особливостей виконання будівельних проєктів. У розділі надано ключові визначення в галузі BIM-технологій та штучного інтелекту в цифровому контексті будівельних проєктів: «Будівельний об'єкт», «Життєвий цикл об'єкта», «Штучний Інтелект», «САПР/CAD», «Будівельне Інформаційне Моделювання», «Будівельна Інформаційна Модель», «BIM-менеджмент», «BIM Виконавчий План», «BIM Рівні» та інші. Описана робота з інформаційною моделлю будівлі,

яка складається із двох етапів. Описано етапи еволюції BIM технологій, де ідеальний сценарій передбачає, що BIM-модель розвивається паралельно з будівельним проектом і, в решті решт, стає віртуальним відображенням будівлі («цифровим» близнюком), в якому зберігається вся інформація про реальний об'єкт. Розглянуто ключові принципи штучного інтелекту, які описують ідеї та підходи до розробки та використання систем штучного інтелекту. Розглянуто способи, які використовуються в управлінні будівельними проектами, та описано способи інтеграції технологій інформаційного моделювання будівництва та штучного інтелекту. Особлива увага приділена опису можливостей, переваг та недоліків систем штучного інтелекту, що належать до класу моделей, відомих як мовні моделі, і призначений для обробки природної мови, для застосування в будівельних проектах, особливо разом з BIM. Розглянуто BIM-орієнтовану модель інформаційного простору організаційно-технологічних особливостей виконання будівельних проектів з позицій перешкоди та сприяння упровадженню. Проведено аналіз програмного забезпечення для BIM проектування, визначені його переваги, можливості та недоліки. Описані процеси, що відбуваються на етапах проектування життєвого циклу BIM. Подано детальний опис команди експерти BIM, які відіграють ключову роль у правильному та ефективному управлінні інформацією та даними у процесі побудови інформаційної моделі. Подано детальний опис роботи інструментів BIM на етапі будівництва. Описано та проілюстровано застосування різних інформаційних технологій, які дозволяють покращити процеси проектування та упровадження будівельних проектів: лазерне сканування, 3D-друк, хмарні мобільні додатки тощо. Наведено приклади застосування систем штучного інтелекту для допомоги у прийнятті рішень щодо розробки проектної документації.

**Четвертий розділ «Рекомендації щодо формування цифрового простору будівельних проектів»** подає інформацію щодо цифровізації діяльності будівельних організацій та проектів та описує прикладні аспекти формування цифрового простору будівельних проектів на основі застосування штучного інтелекту та BIM моделей. Розглянуто основні аспекти цифровізації

діяльності будівельних організацій та проєктів. Зазначено, що одним з ключових аспектів адаптації будівельної галузі до викликів сучасності є цифрова трансформація підприємств до рівня SMART, що є не лише впровадженням новітніх технологій та інструментів у виробництво та управління, а й вдосконалення всіх процесів і підвищення конкурентоспроможності. Описана цифрова стратегія, яка повинна включати в себе інвестування в технології, оптимізацію виробничих процесів та підвищення продуктивності праці. Зазначено, що оптимізація кадрової політики для успішного впровадження цифрової стратегії зумовлює перехід від звичайної ієрархічної організаційної структури до впровадження персоналу різних рівнів, залежно від їх готовності до цифрової трансформації будівельної компанії. Серед прикладних аспектів технологій та методів, що застосовуються для оптимізації та підвищення ефективності будівництва зазначені: інформаційне моделювання будівель, віртуальна реальність, розширена реальність, впровадження IoT, штучний інтелект, аналітика даних та цифрові технології управління проєктами. Ці аспекти спільно використовуються для створення цифрового простору будівельних проєктів, що допомагає покращити ефективність та результативність будівництва. Описані основні компоненти цифрової платформи будівельних проєктів. На основі аналізу основних вимог до сучасних інформаційних систем у будівельній галузі, розроблена модель єдиного інформаційного простору для будівельного підприємства, яка відповідає матриці цифрової економіки. Модель розроблена для автоматизації всіх етапів циклу управління, таких як формування мети, планування, облік, контроль і аналіз. Це дозволяє в єдиній управлінській базі за єдиною методологією ставити цілі та завдання, планувати ресурси для їх досягнення, контролювати витрати та оцінювати відхилення. Запропонована організаційно-технологічна структура управління будівельними підприємствами у цифровому середовищі

**Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи.** У процесі аналізу змісту й структури дисертаційного дослідження виникли наступні зауваження змістовного характеру:



1. На стр. 60 Розділу 2 «Моделі та методи формування цифрового простору менеджменту будівельних проєктів» зазначено, що система штучного інтелекту «...може використовувати дані з інших джерел, таких як датчики на будівельному майданчику або погодні дані, для генерування вхідних даних для BIM-моделі. Ці дані можуть допомогти покращити моніторинг проєкту та управління ризиками». Бажано було б додати більше інформації, яким чином ці датчики можуть покращити управління ризиками і якими саме ризиками: при будівництві, чи під час управління будівництвом.
2. На рис. 2.5 Розділу 2 «Моделі та методи формування цифрового простору менеджменту будівельних проєктів» (стр. 63) зазначені скорочення, які за текстом ніде не пояснюються. Бажано було б додати розшифровку скорочень. Крім того, бажано було б більш детально пояснити модель, зазначену на рис. За текстом, вона має поверхневий опис.
3. Рис. 2.7. Розділу 2 «Моделі та методи формування цифрового простору менеджменту будівельних проєктів» (стр. 66) потребує більш детального опису, оскільки зазначені на ньому переходи викликають запитання.
4. У таблиці 3.1 Розділу 3 «» серед можливості системи штучного інтелекту ChatGPT для застосування в будівельних проєктах, особливо разом з BIM зазначено, що ChatGPT «...може ... виконувати розрахунки...». ChatGPT не призначений для проведення розрахунків, оскільки належить до класу моделей, відомих як мовні моделі, і призначений для обробки природної мови.
5. У роботі присутні деякі стилістичні та граматичні помилки.
6. Робота би виграла, якщо б автор звернув більше уваги на більш сучасні статистичні дані, які подаються у загальних розділах, що описують основні напрямки розвитку галузей, наприклад, інформаційних технологій (наприклад, стр. 27, 41 Розділу 1).

Зазначені зауваження не знижують позитивної оцінки роботи, і можуть розглядатись як рекомендації для подальшої роботи в даному напрямку досліджень. Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Оцінка відповідності освітньо-науковій програмі підготовки.**

Протягом виконання дисертаційних досліджень Арзу Халілов провів власне наукове дослідження, оформлене у вигляді дисертації, та опублікував основні його наукові результати.

Аналіз змісту дисертації та підсумків впровадження її результатів показав, що дисертаційна робота здобувача Арзу Халілова повністю відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми Київського національного університету будівництва і архітектури для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня підготовки фахівців за спеціальністю 073 «Менеджмент».

**Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...».** Дисертація Арзу Халілова на тему «Менеджмент будівельних проєктів з застосуванням BIM технологій та штучного інтелекту на цифровій платформі» відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп. 5 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

**Дотримання принципів академічної доброчесності.** Дисертаційна робота Арзу Халілова є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

## Загальний висновок про дисертаційну роботу

У підсумку до викладеного вище можна стверджувати про високий рівень виконання здобувачем поставленого наукового завдання та глибоке оволодіння методологією наукової діяльності.

Вважаю, що кваліфікаційна наукова праця «Менеджмент будівельних проєктів з застосуванням BIM технологій та штучного інтелекту на цифровій платформі», подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 073 – «Менеджмент» є завершеною і самостійно виконаною науковою працею, містить нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати та відповідає вимогам пп. 5-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор, Арзу Халілов, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 073 – Менеджмент.

### Рецензент:

Професор кафедри управління проектами  
Київського національного університету  
будівництва і архітектури  
доктор технічних наук, професор

  
Олена ВЕРЕНИЧ

Проректор з наукової роботи  
та інноваційного розвитку  
к.т.н., доцент



  
Олександр КОВАЛЬЧУК