

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

д.т.н., професора Шумакова Ігоря Валентиновича на дисертаційну роботу Ваховича Дмитра Юрійовича на тему «Удосконалення організації проектування об'єктів в умовах цифровізації», подану до разової спеціалізованої вченої ради PhD 83.192 КНУБА на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 19 Архітектура та будівництво за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія

1. Актуальність теми дослідження. Актуальність роботи визначається необхідністю вирішення безпрецедентних за масштабами та інженерною складністю завдань щодо швидкої відбудови, реконструкції житлової, соціальної, промислової та лінійної інфраструктури, що зазнали пошкоджень або руйнувань у результаті агресії РФ проти України. Реалізація таких проєктів відбувається в умовах жорстких обмежень матеріально-технічних ресурсів та вкрай стислих термінів, що висуває підвищені вимоги до організації проєктної діяльності.

Особливо гострою проблемою сьогодення є критична нестача висококваліфікованих інженерів-проєктувальників, архітекторів та експертів, викликана інтенсивними міграційними процесами, кадровою нестабільністю та розривом у наступництві поколінь у вітчизняному проєктному середовищі. За умов дефіциту фахівців, здатних розробляти нестандартні технічні рішення для унікальних об'єктів відновлення в обмежені терміни, традиційні організаційні моделі вичерпують свій потенціал. Сучасний етап розвитку будівельної галузі вимагає переходу від традиційних, персоналозалежних підходів до інтелектуальних систем, здатних формалізувати, накопичувати та відтворювати професійний досвід провідних інженерів-проєктувальників, архітекторів та експертів. Брак механізмів трансформації прихованого, неформалізованого досвіду (неявних знань) у відчутні цифрові активи призводить до системної втрати інтелектуального капіталу галузі та циклічного повторення проєктних помилок.

Головним інструментом вирішення цього протиріччя запропоновано цифрову трансформацію, що базується на технологіях будівельного інформаційного моделювання (BIM) та концепції цифрових двійників. У такому контексті концептуальні засади організації проєктування об'єктів будівництва набувають нового змісту через створення цифрового двійника проєктного досвіду як інтелектуалізованого, персоніфікованого цифрового активу проєктувальника, який забезпечує автоматизовану формалізацію, систематизацію та відтворення імпліцитного інженерного досвіду прийняття рішень. Його інтеграція у BIM-середовище через індивідуальний інструмент підтримки – плагін проєктного рішення – дозволяє здійснювати системний багатокритеріальний аналіз технічних, організаційних і технологічних факторів та приймати обґрунтовані оптимізаційні рішення в умовах обмеженості ресурсів.

Подана дисертація демонструє системне поєднання теоретичних і прикладних підходів до вирішення складних організаційно-технологічних задач у проєктуванні на основі методології системного аналізу та багатокритеріальної оптимізації. Отримані результати відображають сучасні тенденції розвитку інтелектуальних систем управління, а також відповідають базовим стратегічним документам у сфері інноваційного розвитку, цифрової економіки та розбудови інформаційного суспільства. Виконані дослідження забезпечують зниження рівня суб'єктивності при прийнятті обґрунтованих рішень в умовах обмеженості ресурсів, а тема дисертації є своєчасною та повністю відповідає реальним потребам розвитку будівельної галузі в умовах її цифрової трансформації.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами і темами. Дисертаційне дослідження узгоджується зі стратегічними документами України у сфері інноваційного розвитку та цифрової трансформації будівельної галузі. Робота виконувалася в межах наукових напрямів діяльності кафедри організації та управління будівництвом Київського національного університету будівництва і архітектури, зокрема за темами «Розробка інжинірингового інструментарію для інвестиційно-будівельних проєктів» (реєстр. номер 0124U005197). Крім того

тема дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, визначеними Законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (напрямок №2 щодо фундаментальних наукових досліджень для забезпечення конкурентоспроможності та сталого розвитку суспільства і держави). У межах зазначених напрямів сформовано теоретико-методичне підґрунтя для оптимізації організації проєктування об'єктів та інтеграції цифрових активів. Отримані результати відповідають сучасним тенденціям цифровізації будівельного виробництва.

3. Обґрунтованість і достовірність наукових положень та результатів.

Наукові положення та результати дисертації базуються на чітко сформульованій науковій гіпотезі щодо того, що вдосконалення організації проєктування об'єктів шляхом трансформації традиційних лінійних процесів у превентивно-керовані цифрові системи управління, що ґрунтуються на формалізації та інтелектуалізації експертного досвіду, забезпечить скорочення тривалості розробки проєктної документації при необхідному рівні якості.

Логіка дослідження є послідовною та методологічно вивіреною: від концептуально-теоретичного аналізу стану цифровізації галузі та проблем збереження імпліцитного досвіду в першому розділі до формування теоретико-методичних засад і математичного обґрунтування моделі якості в другому, розробки архітектури інтелектуального інструментарію (Цифрового двійника проєктного досвіду та плагінів проєктного рішення) у третьому і комплексної апробації впроваджених рішень у четвертому розділі.

Достовірність наукових положень і висновків забезпечується застосуванням комплексного методологічного апарату, що поєднує загальнонаукові та спеціальні методи: застосування загальнонаукових методів забезпечило всебічне опрацювання теоретичних засад організації проєктування в умовах цифрової трансформації; використання методу аналізу ієрархій Т. Сааті дозволило математично обґрунтувати систему диференційованих вагових коефіцієнтів для інтегральної моделі оцінювання якості проєктної документації

за чотирма блоками критеріїв (нормативно-регламентної валідності, техніко-операційної досконалості, споживчо-ціннісної придатності та інформаційно-цифрової зрілості); впровадження імітаційного моделювання, методів нечіткої логіки, сценарного та ймовірнісного аналізу дало змогу формалізувати складні процеси конвергенції етапів проектування та наскрізної когнітивної валідації інженерних даних; використання цифрових платформ (BIM-середовища) та реалізація дворівневої алгоритмічної моделі взаємодії локальних AI-агентів і загального інтелектуального адміністратора додатково підтверджують практичну відтворюваність і надійність одержаних результатів.

Додатково слід відзначити, що методологічна база дослідження має комплексний і міждисциплінарний характер. Поєднання формалізованих когнітивних стратегій із методами цифрового моделювання забезпечило побудову адекватної архітектури управління знаннями, а метод експертних оцінок і реалізація розробок у практичній діяльності профільних організацій (ПП «ВД-Будінжинірінг», ВУГП, ТОВ НДВТА «Стратегія регіонального розвитку») здійснили успішну верифікацію висновків.

У сукупності це свідчить про належний рівень методологічної обґрунтованості дослідження та високу достовірність його результатів, що повністю відповідає вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

4. Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна результатів дослідження характеризується такими ознаками:

вперше обґрунтовано концептуальні засади організації проектування об'єктів будівництва, що базуються на застосуванні цифрового двійника проєктного досвіду – персоніфікованого цифрового активу проєктувальника, який акумулює оцифрований та систематизований імпліцитний досвід прийняття проєктного рішення та відтворюється в індивідуальному інструменті підтримки процесу проектування – плагіні проєктного рішення з метою автоматизованої підтримки прийняття рішень, предиктивного контролю якості

проектної документації та попередження проектних колізій на ранніх стадіях проектування об'єкта;

удосконалено:

систематизацію організаційних факторів впливу цифровізації на якість і тривалість проектного процесу, які включають технологічні, нормативно-правові та інституційні, економічні, кадрові та освітні, організаційно-управлінські, соціально-комунікаційні та культурні, безпекові та інфраструктурні фактори;

процес організації проектування об'єктів будівництва на основі цифрових активів накопичення знань, проектного досвіду та інструментів інтелектуальної підтримки прийняття рішень, що забезпечує безперервне використання накопиченого досвіду та підвищення якості проектних рішень, інтегруючи прихований досвід фахівця, алгоритми, граничні умови та аналіз негативних прецедентів у плагін проектного рішення над BIM-середовищем за допомогою дворівневої алгоритмічної моделі взаємодії локальних AI-агентів і загального інтелектуального адміністратора системи конструктиву, що забезпечило безперервну когнітивну валідацію та предиктивний зворотний зв'язок у режимі реального часу;

модель оцінювання якості проектної документації через перехід від стадійного аналізу до моделі динамічного аудиту рішень у цифровому середовищі на основі чотирьох блоків критеріїв (нормативно-регламентної валідності, техніко-операційної досконалості, споживчо-ціннісної придатності та інформаційно-цифрової зрілості), впровадження показника «дельти якості» та диференційованих вагових коефіцієнтів, адаптованих до функціональних типів об'єктів;

набули подальшого розвитку методи проектування через концептуальний перехід від традиційних паперових процедур до моделей цифрової верифікації передпроектної стадії шляхом інституціоналізації цифрових регламентів формування вихідних даних для автоматизованого аудиту повноти та логічної

несуперечливості вимог до об'єкта ще до початку розроблення проєктної документації.

5. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Теоретичне значення отриманих результатів полягає у розробленні теоретико-методичного підґрунтя цифрової трансформації процесів проєктування шляхом обґрунтування концепції Цифрового двійника проєктного досвіду та удосконалення науково-методичного підходу до оцінювання якості проєктної документації, що дозволяє науковцям і дослідникам формалізувати неявний інженерний досвід, проєктувальникам вибудовувати нові моделі управління якістю, а будівельним організаціям переходити від традиційних персоналозалежних підходів до інтелектуальних систем прийняття рішень. Застосування розроблених теоретичних положень дозволить забезпечити наскрізну когнітивну валідацію інженерних даних, що зі свого боку підвищить надійність та ефективність предиктивного управління в будівельній галузі.

Практичне значення отриманих результатів полягає у підвищенні ефективності та продуктивності діяльності проєктних організацій шляхом обґрунтування та розроблення прикладного організаційно-технологічного інструментарію, зокрема плагіну проєктного рішення та моделі динамічного аудиту якості, що дозволяє інженерам і архітекторам завчасно ідентифікувати системні колізії на ранніх стадіях, експертам та замовникам здійснювати предиктивне управління даними і валідацію вимог, а будівельним компаніям мінімізувати ризики інженерного браку та оптимізувати розподіл робочого часу. Застосування даного інструментарію дозволить контролювати якість проєктної документації на етапі її розроблення, що підвищить ефективність зведення об'єктів в умовах цифровізації. Запропонований підхід дозволяє скоротити терміни розробки проєктної документації та зменшити кількість ітераційних помилок і колізій на етапі ескізного проєктування.

6. Повнота викладу наукових результатів у опублікованих працях та апробація результатів дослідження

Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковано у 10 наукових працях, з яких 5 статей у наукових фахових виданнях України (усі індексуються у міжнародних наукометричних базах даних) та 5 тез наукових доповідей у збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

Кількість та обсяг опублікованих праць дозволяють зробити висновок щодо повноти висвітлення результатів дисертаційного дослідження як у публікаціях, так і при апробації на конференціях.

7. Оцінка структури дисертації, мови та стилю викладення

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного з розділів та загальних висновків, списку використаних джерел зі 160 найменувань та додатків на 10 сторінках. У дисертації розміщено 17 таблиць і 22 рисунки. Повний обсяг дисертації становить 199 сторінок. Основна частина в складі чотирьох розділів і загальних висновків містить 142 сторінки, список використаних джерел 21 сторінку.

Назва дисертаційної роботи повною мірою відповідає змісту та отриманим результатам, представленим до захисту за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія.

Дисертаційна робота структурована і відповідає послідовності виконання поставлених завдань дослідження та досягненню поставленої мети.

У *вступі* обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, її зв'язок із науковими програмами, визначено об'єкт та предмет дослідження. Сформульовано мету та вказано завдання для її досягнення. Наведено та розкрито наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, а також методи дослідження. Зазначено особистий внесок здобувача та наведено дані про апробацію результатів дисертації і публікації.

У *першому розділі* представлено результати концептуально-теоретичного аналізу організації проєктування об'єктів будівництва в контексті викликів цифровізації та потреб повоєнної відбудови України. Проведено системний аналіз сучасного стану цифрової трансформації галузі, виявлено організаційні

фактори, що стримують підвищення якості та продуктивності проєктного процесу, зокрема фрагментарність взаємодії учасників та дефіцит інтелектуального капіталу. Обґрунтовано необхідність переходу від застарілих лінійних моделей проєктування до інтегрованих систем управління життєвим циклом об'єктів, що базуються на синергії сучасного цифрового інструментарію та методів штучного інтелекту.

У *другому розділі* виконано формування теоретико-методичних засад організації проєктування об'єктів в умовах цифровізації, спрямованих на створення алгоритмізованої системи управління якістю. Доведено доцільність застосування методу аналізу ієрархій Т. Сааті як базового інструментарію для формалізації експертних суджень, що дає змогу структурувати складні багаторівневі проблеми. Установлено, що розробка інтегральної моделі якості проєктної документації з математичним обґрунтуванням вагових коефіцієнтів для кожної складової (блоку) якості є ключовою умовою підвищення результативності проєктування.

У *третьому розділі* розроблено концептуальні засади та архітектуру інтелектуального інструментарію проєктування, що базується на трансформації неформалізованого експертного досвіду у масштабований цифровий актив. Обґрунтовано перехід до концепції цифрового двійника проєктного досвіду, розроблено багаторівневу архітектуру плагіну проєктного рішення, а також запроваджено показник зрілості конструктиву проєктного рішення. Доведено, що інтеграція гібридних моделей штучного інтелекту через механізми плагіну нівелює ефект «чорної скрині», забезпечуючи технічну точність і логічну прозорість висновків.

У *четвертому розділі* здійснено удосконалення організаційного інструментарію проєктування, спрямованого на забезпечення високої якості документації у цифровому середовищі. Розроблено комплексну інтегральну модель, яка об'єднує нормативно-регламентну валідність, техніко-операційну досконалість, споживчо-ціннісну придатність та інформаційно-цифрову зрілість.

За допомогою методу аналізу ієрархій математично обґрунтовано систему диференційованих вагових коефіцієнтів для різних типів споруд, а також розроблено науково-практичні рекомендації щодо модернізації нормативної бази.

Загальні висновки в повній мірі відображають зміст наукових та практичних результатів та відповідають поставленим завданням.

8. Зауваження за текстом дисертації

1. У першому розділі доцільно було б глибше розкрити питання переходу від теоретичних положень цифрової трансформації проєктних процесів до алгоритмічної реалізації прийняття рішень на рівнях взаємодії «проектувальник – середовище моделювання», що потребує додаткового уточненого методичного забезпечення.

2. При визначенні меж застосування та умов обмеження запропонованих підходів бажано було б більш чітко навести набір вихідних критеріїв і граничних умов, за яких запропоновані організаційно-технологічні рішення зберігають свою ефективність у динамічному середовищі проєктно-вишукувальних робіт.

3. При дослідженні методики оцінювання ефективності у розділах дисертації раціонально було б глибше представити критеріальну базу для кількісного вимірювання ефекту від впровадження розроблених організаційних рішень на стадії проєктування, із врахуванням фактору ризиків та ймовірнісних відхилень часових параметрів.

4. У третьому розділі доцільно було б навести додаткове обґрунтування вибору методів нейтралізації інформаційних та організаційних ризиків на етапі розробки проєктної документації, оскільки запропоновані сценарії не повністю охоплюють усю повноту сучасних виробничих викликів.

5. В опрацьованих матеріалах щодо інтеграції з існуючими цифровими платформами бажано було б приділити більше уваги питанням сумісності та синергетичного ефекту від інтеграції запропонованих моделей з чинними

корпоративними середовищами (BIM/CDE-платформами), які використовують вітчизняні проєктні організації.

6. У тексті окремі авторські дефініції та поняття потребують жорсткішої систематизації та гармонізації з чинними нормативними документами у сфері будівництва й управління проєктами задля уникнення двозначності під час їх практичного застосування.

Рекомендації щодо подальших досліджень. Отримані Д. Ю. Ваховичем науково-практичні результати відкривають широкі перспективи для подальшого розвитку теоретичних і прикладних засад організації та управління проєктним виробництвом у будівельній галузі. Офіційний опонент вважає за доцільне рекомендувати здобувачу спрямувати подальші науково-прикладні пошуки за такими основними напрямками:

1. *Поглиблення методичного забезпечення алгоритмічної трансформації проєктних процесів:* доцільно розширити дослідження у напрямі побудови деталізованих моделей прямого зв'язку між концептуальними положеннями цифрової трансформації та програмними алгоритмами прийняття рішень на рівнях взаємодії «проєктувальник – середовище моделювання», що дозволить сформувати стандартизовані протоколи для розробки прикладних інструментів автоматизації.

2. *Універсалізація критеріїв оцінки ефективності в динамічному середовищі вишукувальних і проєктних робіт:* перспективним є подальший розвиток наукових положень щодо визначення граничних умов та вихідних параметрів, за яких запропоновані організаційно-технологічні рішення зберігають максимальну ефективність в умовах динамічних змін ринкового середовища та параметрів проєктування.

3. *Розробка комплексної стохастичної моделі кількісного вимірювання ефекту з урахуванням ризиків:* рекомендовано поглибити критеріальну базу оцінювання результативності впровадження організаційних рішень на стадії

проектування шляхом інтеграції апарату імовірнісного моделювання для урахування ризиків і часових відхилень.

У цілому дисертаційне дослідження є завершеним, методологічно обґрунтованим і таким, що відповідає сучасним вимогам до наукових робіт рівня доктора філософії, а висловлені зауваження мають рекомендаційний і дискусійний характер та спрямовані на подальше удосконалення та розширення науково-прикладного потенціалу результатів.

Жодне із зауважень не стосується принципових питань, які блокували б позитивне рішення ради; всі вони відкриті для конструктивного обговорення під час захисту.

9. Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...» Дисертаційна робота за актуальністю, обсягом, стилем та мовою викладення відповідає вимогам МОН України та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р., а саме пунктам 5, 6, 7, 8, 9.

10. Загальний висновок

Кваліфікаційна наукова праця Ваховича Дмитра Юрійовича на тему «Удосконалення організації проектування об'єктів в умовах цифровізації», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, є завершеною, самостійно виконаною, яка має важливе теоретичне та практичне значення для будівельної галузі.

Виконане дослідження характеризується внутрішньою єдністю, новизною та обґрунтованістю наукових положень. Автором успішно розроблено науково-методичні підходи до удосконалення організації проектування об'єктів будівництва на основі інтеграції інформаційних технологій, систем підтримки прийняття рішень та механізмів управління знаннями в умовах цифрової трансформації галузі.

Основні положення, висновки та рекомендації дисертації достатньо повно апробовані в наукових публікаціях та апробаційних заходах, а також пройшли перевірку практичною реалізацією у проєктній діяльності. Зауваження та дискусійні положення, зазначені у відгуці, мають переважно порадний характер, спрямовані на визначення векторів майбутньої наукової роботи автора та не применшують високого рівня наукової новизни й практичної цінності виконаного дослідження.

За своєю актуальністю, науковою новизною, теоретичним рівнем і практичним значенням дисертаційна робота Ваховича Дмитра Юрійовича «Удосконалення організації проєктування об'єктів в умовах цифровізації» повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України, а її автор, Вахович Дмитро Юрійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія (галузь знань 19 Архітектура та будівництво).

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри технології та
організації будівельного виробництва
Харківського національного університету
міського господарства
імені О.М. Бекетова

Ігор ШУМАКОВ