

Відгук офіційного опонента

д.т.н., проф. Доненко Василя Івановича

на дисертаційну роботу Дружиніна Максима Андрійовича
«Система функціонально-цифрового супроводу організації збірного
будівництва», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.23.08 – технологія та організація промислового та
цивільного будівництва

1. Оцінка актуальності теми дисертаційної роботи та обґрунтованості предмету дослідження. У низці країн Європи, зокрема у Фінляндії, збірні залізобетонні конструкції вже тривалий час утримують провідні позиції на ринку житлового будівництва – передусім у сфері багатоквартирного житла. Тамешні технології є результатом еволюції систем, започаткованих ще у 1960-х роках (наприклад, система BES), які завдяки високій продуктивності та економічній доцільності не лише збереглися, а й зазнали значного розвитку. Частка збірного бетону в загальному обсязі будівельного виробництва країни становить приблизно третину, при цьому майже все фасадне оздоблення багатопверхових житлових будівель виконане саме з системного бетону. Таке домінування пояснюється як оптимальним співвідношенням витрат і результату, так і тривалою ефективністю експлуатації. Подібні підходи використовуються й в інших країнах. Наприклад, у Швеції задля розв'язання житлової проблеми акцент зроблено на стандартизації будівельних процесів. У Великій Британії, відповідно до даних Федерації виробників збірного залізобетону (BPCF), протягом лише одного року (2013) викиди CO₂ в процесі виробництва збірного бетону було скорочено на 10%, що становить 0,5% загального вуглецевого сліду всієї будівельної галузі. Це є результатом поєднання екологічних ініціатив виробників та глобальної орієнтації на стале будівництво. Інтерес до збірного будівництва зростає й серед науковців, які відзначають такі переваги як зменшення негативного впливу на довкілля, скорочення термінів будівництва та підвищення якості виконання робіт. Водночас галузь стикається з певними викликами: нестача досвіду у плануванні, труднощі з координацією учасників проєкту, відсутність високотехнологічного обладнання, логістичні проблеми при транспортуванні елементів, а також кадровий дефіцит кваліфікованих фахівців.

Цей міжнародний контекст розвитку збірного будівництва підкреслює надзвичайну актуальність теми дисертаційного дослідження Дружиніна М.А., яке спрямоване на створення функціонально-цифрової системи супроводу організації проєктів збірного будівництва. Упровадження подібних систем в

Україні є необхідною умовою для досягнення сучасного рівня ефективності, стійкості й технологічності в умовах повоєнного відновлення. Тому актуальність теми дисертації Дружиніна М.А. не викликає сумнівів. Дослідження присвячене створенню системи функціонально-цифрового супроводу організації збірного будівництва, що є надзвичайно важливим у контексті воєнного та повоєнного відновлення України. У роботі автор переконливо обґрунтовує потребу у цифровій трансформації процесів постачання в будівельних проектах, акцентуючи на актуальності інтеграції BIM-технологій, нечіткої логіки та мережевого моделювання. Предмет дослідження – теоретико-методичні основи та науково-прикладні моделі функціонально-цифрового супроводу – повністю відповідає сучасним потребам розвитку будівельної галузі і базується на глибокому аналізі існуючих підходів та реальних викликів будівельного ринку.

2. Оцінка відповідності змісту результатів роботи паспорту спеціальності та цільовій спрямованості науково-дослідних робіт, планів і тем. Зміст дисертації Дружиніна М.А. повністю відповідає паспорту спеціальності 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва»: за пунктом 4 щодо проектування організації будівельного виробництва із застосуванням сучасних ІТ – відповідність охоплює всі розділи роботи; щодо пункту 2, присвяченого організаційно-технологічному проектуванню, відповідність забезпечують розділи 1 і 2, за пунктом 5, що стосується автоматизації будівельних процесів, робота відповідає змісту розділів 4 і 5; щодо пункту 3 про організаційні структури та управління МТБ будівельного комплексу – відповідність забезпечено у межах розділу 4. Таким чином, дослідження охоплює пріоритетні напрями наукової спеціальності й має комплексний характер.

Результати дисертації узгоджуються із завданнями науково-дослідних тем, які виконувалися у Київському національному університеті будівництва і архітектури та Академії будівництва України. Зокрема, робота логічно вписується у тематику розвитку аналітичного інструментарію девелоперського управління та впровадження цифрових технологій у будівництво. Зокрема, положення дослідження корелюють із завданнями, окресленими в законодавчих ініціативах, спрямованих на модернізацію та цифровізацію економіки – таких як Закон України «Про стимулювання розвитку цифрової економіки» (№1667-IX), Закон «Про реформування сфери містобудівної діяльності» (№2254-IX), урядова постанова про створення міжгалузевої ради з питань цифровізації (№595), а також із положеннями галузевого документу «Дорожня карта впровадження BIM» від 29.11.2019.

Запропоновані в дисертації підходи відповідають не лише науковим, а й стратегічним пріоритетам у впровадженні цифрових рішень у сферу проєктування, управління та будівництва. Слід окремо зазначити, що результати, представлені в дисертації Дружиніна М.А., були безпосередньо застосовані під час підготовки проєктів і науково-дослідних програм у Київському національному університеті будівництва і архітектури, а також повністю відповідають актуальним напрямам цифрового оновлення практики організації збірного будівництва. Результати, отримані у дисертаційній роботі, органічно вписуються в загальнонаціональний курс на цифрову трансформацію будівельної галузі, що визначений сучасною нормативно-правовою базою України.

3. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових результатів та висновків дослідження. Наукові результати, викладені у дисертації, мають високий ступінь обґрунтованості та достовірності. Автор застосував широкий спектр сучасних методів дослідження – системний, процесний підходи, BIM-моделювання, методи нечіткої логіки, машинного навчання та мережевого аналізу. Таке міждисциплінарне поєднання дозволило отримати комплексні й перевірені результати. У межах дослідження здійснено суттєве оновлення підходів до організації процесів у проєктах збірного будівництва та вдосконалення середовища девелоперської діяльності. *Автор запропонував нову методологію використання BIM-технологій для цифрової формалізації будівельних проєктів і супроводу їх реалізації.* У цій системі інформаційне моделювання (BIM) розглядається як ключова основа для створення комплексної цифрової репрезентації проєкту збірного будівництва, що охоплює всі фази життєвого циклу об'єкта – від проєктування до експлуатації. Такий підхід забезпечує об'єднання всіх учасників процесу – девелоперів, проєктувальників, виробників, логістичних компаній та будівельних підрядників – у єдиному цифровому середовищі для підвищення ефективності управління, раннього виявлення потенційних критичних точок і оптимізації логістичних потоків. Окремо варто відзначити розробку автором методичних основ застосування нечіткої логіки для оптимізації рішень в умовах високої невизначеності у проєктах збірного будівництва. Інтегровані моделі, створені на цій основі, дають змогу підвищити адаптивність і гнучкість систем постачання в змінних умовах. Розроблені алгоритми кластеризації сприяють ефективному перерозподілу ресурсів і вдосконаленню координації між учасниками проєктів, тоді як мережевий аналіз дозволяє зміцнити стійкість логістичних мереж та забезпечити проактивне управління ризиками. Крім того, запропоновані гібридні

алгоритми машинного навчання для аналізу спільнот у мережах постачання, що поєднують методи глибокого навчання з графовими підходами, значно підвищують точність і швидкість ідентифікації критичних учасників у ланцюгах постачання. Це, у свою чергу, сприяє оптимізації взаємодії постачальників, зниженню ризиків перебоїв у постачанні та підвищенню стійкості проектних ланцюгів у складних і нестабільних умовах. Підсумовуючи, слід наголосити, що фундаментом високого рівня достовірності отриманих результатів є міждисциплінарний, комплексний науково-методологічний базис дослідження. Узгодженість теоретичних моделей із практичними результатами застосування розроблених інновацій, підтверджена досвідом апробації авторських науково-прикладних розробок, забезпечила переконливу верифікацію отриманих висновків і рішень.

4. Оцінка наукової новизни окремих результатів та висновків дисертаційної роботи. Наукова новизна окремих результатів дисертації є беззаперечною. Мою власну оцінку новизни поданої на розгляд роботи за рубриками «вперше», «удосконалено» та «набуло подальшого розвитку» подаю нижче. В роботі *вперше обґрунтовано* концепцію функціонального супроводу ПЗБ з акцентом на цифровізацію управлінських процесів усіх етапів життєвого циклу об'єкта. Запропоновано використання ВІМ-моделювання, прогностичної аналітики, кластеризації ланцюгів постачання й авторську класифікацію цифрових технологій для інтеграції інновацій в єдину цифрову екосистему збірного будівництва. Суто інноваційним є запропонований вперше в цій роботі загально-методичний базис моделювання та оптимізації ПЗБ, що поєднує будівельний девелопмент, ВІМ, імітаційне моделювання, мережевий аналіз і теорію управління відносинами. Базис доповнено системним, процесним і ситуаційним підходами, з використанням ВІМ як головної платформи для створення цифрової організаційно-технологічної моделі проекту. Автором *вперше створено аналітико-прикладний інструментарій для оптимізації постачання в ПЗБ*, що включає моделі оптимізації мереж, оцінку успішності постачання за допомогою Fuzzy Logic, інструменти мережевого аналізу для моделювання взаємодії учасників і аналітичні модулі впливу інтелектуальних систем на управління ресурсами, інтегровані у прикладні програмні комплекси.

На мою думку як опонента, під рубрику *удосконалено* підпадають наступні результати даної дисертаційної роботи:

- дорожня карта цифровізації будівельної галузі, адаптована до потреб збірного будівництва в Україні. Карта включає ВІМ-інтеграцію, стандартизацію даних, розвиток цифрових платформ, застосування AI для прогнозування ризиків і створення сприятливого правового поля для цифрової трансформації;

- методичні рішення щодо використання нечіткої логіки в ПЗБ, які реалізуються через створення моделей, здатних адаптувати логістичні

процеси до змінних умов. Розроблені алгоритми кластеризації та мережевого аналізу підвищують стійкість та ефективність управління ризиками у ланцюгах постачання;

- підхід до застосування BIM-технологій у формалізації будівельних проєктів, де BIM використано як цифрову платформу для інтеграції всіх учасників будівництва в єдине середовище, що забезпечує оцінку ефективності, виявлення вузьких місць і оптимізацію логістики на всіх етапах життєвого циклу об'єкта;

- методико-прикладні засади інтеграції штучного інтелекту в процеси організації збірного будівництва. Використання інтелектуальних технологій підвищує точність планування, автоматизує управління та знижує рівень невизначеності, що особливо важливо для проєктів відновлення інфраструктури.

- алгоритми машинного навчання для аналізу мереж постачання, які базуються на гібридному поєднанні глибокого навчання і графового аналізу. Це забезпечує високу точність виявлення ключових учасників та оптимізацію взаємодії у змінних умовах, мінімізуючи логістичні ризики.

За ознакою новизни *«набуло подальшого розвитку»*, на мою думку, слід виокремити наступні результати здобувача:

- теоретико-методичні засади застосування концепції ланцюга постачання в збірному будівництві. Акцент зроблено на розробці підходів до цифрового управління матеріальними потоками, що дозволяє зменшити витрати, мінімізувати затримки й покращити взаємодію між учасниками проєкту;

- діджитал-адаптований підхід до збірного будівництва, орієнтований на потреби відновлення житла та інфраструктури України. Обґрунтовано, що цифровізація управління й логістики прискорює реалізацію проєктів, знижує витрати та забезпечує оперативну відповідь на виклики повоєнної відбудови.

- зміст поняття «функціонально-цифровий супровід», що у контексті ПЗБ розглядається як комплексна система поєднання організаційних методів і цифрових технологій. Такий підхід підвищує координацію, оптимізує постачання та сприяє адаптації будівельних процесів до динамічних умов.

- аналітичні підходи до оцінки та оптимізації будівельного циклу у проєктах ПЗБ. Запропоновано використання сучасних цифрових моделей, що деталізують етапи будівництва, дозволяють гнучко коригувати параметри проєктів та забезпечують відповідність очікуванням замовників і громад.

5. Висновок щодо наукової новизни дисертаційної роботи в цілому. В цілому дисертаційна робота Дружиніна М.А. демонструє значну наукову новизну. Вона розширює існуючі уявлення про організацію збірного будівництва, інтегруючи передові цифрові технології в управління постачанням. Результати дослідження істотно підвищують рівень теоретико-методичного забезпечення в галузі будівельного девелопменту і є вагомим внеском у розвиток науки про організацію будівництва в умовах цифрової

трансформації. Суто інноваційними в науково-теоретичному та аналітичному аспектах є такі інструменти прийняття рішень: по-перше, це *ВІМ-адаптована, організаційно-технологічна багаторівнева модель формалізованого опису змісту робіт та середовища виконавців в циклі ПЗБ*. Модель подана як функціонально-агрегований графа, що поєднує принципи ВІМ, «робіт-матриць», скінченно-елементного методу та Fuzzy-технологій. Описує номенклатуру і зміст робіт у рамках циклу підготовки та зведення збірних конструкцій. Структурує систему постачання за видами продукції, логістичними організаціями, тарифами, графіками й бюджетами. Такий підхід забезпечує комплексне управління усіма етапами логістичного супроводу. По-друге – *це інноваційна систему оцінки ефективності процесів управління постачанням*, що включає дві групи індикаторів: 15 натуральних показників (час реагування, витрати, тривалість логістичних операцій) та нечітко-логічні оцінки стану надійності, узгодженості дій учасників, безпеки маршрутів і відповідності стандартам постачання. В-третє – *це методико-прикладний комплекс оптимізації стану постачання ПЗБ у нечітко-логічній постановці*, за наступними критеріями: своєчасність постачань, надійність стейкхолдерів, економічність бюджету, узгодженість із організаційно-технологічною моделлю та рівень цифрової прозорості. Кожен із показників визначається за бальною шкалою від 1 (незадовільно) до 14 (максимальна надійність) із застосуванням нечіткої логіки. Показники прагнуть до максимальних значень, а їхня важливість враховується за допомогою вектора пріоритетів.

Отже, підсумково оцінюючи наукову новизну та інноваційний характер даного дослідження, слід вказати, що ця дисертаційна робота розширює наукову базу напряму «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва». Робота закладають основу для цифрової трансформації збірного будівництва як складової будівельної галузі, а також для впровадженню інтегрованих інтелектуальних рішень в проекти організації збірного будівництва.

6. Практична цінність поданих в дисертації результатів та висновків полягає в наступному. Практична цінність роботи полягає у створенні готового до впровадження комплексу цифрових інструментів супроводу збірного будівництва. Зокрема, запропоновано систему аналітичного моделювання, яка дозволяє оперативно оцінювати стійкість постачання і виявляти критичні вузли в ланцюгу постачання. Запропоновані рішення дозволяють оптимізувати логістику, підвищити її надійність, обґрунтованість та узгодження з організаційно-технологічною моделлю об'єкта.

Результати сприяють оновленню практик девелопменту, логістики та управління взаємодією стейкхолдерів, забезпечуючи гнучкість і сталість процесів. Особливо актуальним є застосування підходів для відновлення інфраструктури у воєнний та повоєнний періоди. Ефективність розробок підтверджено використанням у підготовці та впровадженні ряду проєктів, про що надано довідки від: керівних ланок на рівні міських та обласних адміністрацій (м. Вінниця, м. Хмельницький); будівельних компаній (Альфа-сервіс, Архітектурно-будівельні новації); наукових та освітніх установ (Інститут місцевого розвитку та КНУБА). Апробація результатів у реальних проєктах та в освітньому процесі свідчить про високий рівень застосовності наукових напрацювань у сфері організації збірного будівництва та управління будівельними проєктами.

7. Оцінка змісту і структури дисертаційної роботи. Зміст та структура дисертації є логічно вибудованими, чітко структурованими та повністю відповідають вимогам до таких наукових праць. Робота повним обсягом 541 сторінок, включає: з них 422 сторінки основного тексту, включаючи складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Виклад матеріалу є послідовним, із належним обґрунтуванням кожного етапу дослідження. Значну увагу приділено візуалізації результатів досліджень – в основному тексті розміщено 127 рисунків та 43 таблиці, що підвищує зрозумілість та наочність викладу.

8. Висновок щодо відсутності (наявності) порушення академічної доброчесності. На основі аналізу змісту дисертаційної роботи та наданих результатів перевірки змісту роботи системами «антиплагіат» – порушень академічної доброчесності не виявлено. Максимальний рівень співпадінь складає 0,43 %. До тексту даної роботи не було залучено жодних ідей, матеріалів та текстів із кандидатської дисертації здобувача «Організація будівельного девелопменту в проєктах рекреаційно-продуктивного відновлення територій» (захищена в 2018 р.). Робота є результатом особистого наукового пошуку здобувача, використання чужих результатів без належного посилання відсутнє. Автор чітко позначає власний внесок у співавторських публікаціях. Самостійність дослідження підтверджується широкою апробацією результатів на міжнародних конференціях і в реальних практичних проєктах.

9. Відповідність дисертації встановленим вимогам. Дисертація відповідає всім чинним вимогам до кваліфікаційних наукових робіт на

здобуття ступеня доктора наук. Робота характеризується науковою новизною, практичною цінністю, належною повнотою викладення матеріалу і відповідним рівнем наукового обґрунтування отриманих результатів. Оформлення роботи відповідає чинним нормативним вимогам.

10. Зауваження та дискусійні положення щодо змісту роботи, рекомендації щодо подальших досліджень здобувача:

Зауваження змістовного характеру:

1) У межах викладу змісту адаптації для потреб організації ПЗБ інструментів та методів комунікаційного аналізу (SNA, CRM, динамічні дашборди) варто було б глибше обґрунтувати доцільність вибору саме цих інструментів для умов ПЗБ. Було б корисно подати порівняльний аналіз альтернативних методів та чітко обґрунтувати переваги обраного загально-методичного базису і саме для логістичних завдань у збірному будівництві.

2) У роботі надано ретельне обґрунтування нагальної потреби створення функціонально-цифрової системи супроводу ПЗБ, однак недостатньо деталізовано особливості взаємодії між запропонованими цифровими технологіями (BIM, Fuzzy-технології, мережеві моделі). Доцільно було на підставі інтеграції схем 2.3.1., 2.4.1 та 2.4.2. б окремо подати узагальнену структурну схему інтеграції цих технологій у рамках єдиної системи супроводу, щоб підкреслити їхню роль і функціональне навантаження.

3) Щодо аналітичного базису зауваження наступне. Попри очевидні значні науково-методичні та прикладні переваги створеної автором цифрової BIM-моделі відображення циклу проєкту збірного будівництва, у висновках до третього розділу недостатньо розкрито суттєві переваги цієї моделі щодо забезпечення адресності, точності та візуалізованості прийнятих рішень. Доцільним було б чіткіше висвітлити, в якій мірі ця модель спирається на запропонована автором модель формалізованого опису циклу ПЗБ використовує можливості як «алгоритмів потоку даних (DFM) для концептуальної стадії проєктування» та імітаційні можливості (на базі структурної проєктної матриці – SMP) – для опрацювання питань динамічного моніторингу розвитку проєкту, зокрема підсистеми постачання.

4) Оцінка індикаторів продуктивності постачання представлена на високому рівні деталізації, однак методика практичного використання шкали оцінювання (натуральних та нечітко-логічних показників) потребує розширення. Було б доречно додати приклад використання такої шкали в умовах реального проєкту, щоб продемонструвати її прикладну ефективність.

Зауваження редакційного характеру наступні:

5) У роботі зустрічаються повторення окремих понять і описів функціональності цифрових модулів (зокрема, функції аналізу ризиків і адаптивного реагування описані в кількох місцях). Для підвищення логічної цілісності викладу доцільно було б уникати дублювань через інтеграцію таких описів у спеціально виділений підрозділ або розділ узагальнення.

6) У роботі активно використовується специфічна термінологія (наприклад, «функціонали ПЗБ», «цифровий функціонал-маршрут»), проте не у всіх випадках подано її чітке визначення при першій згадці. З метою забезпечення термінологічної однозначності варто включити окремий термінологічний словник або пояснення ключових понять у вступній або додатковій частині роботи.

Рекомендації щодо напрямів подальших досліджень.

7) Серед дискусійних положень можна відзначити доцільність глибшого опрацювання питань адаптації запропонованих рішень до малих і середніх будівельних підприємств, які мають обмежені ресурси для впровадження цифрових технологій.

8) Також рекомендую у подальших дослідженнях розвинути тему інтеграції запропонованої системи супроводу в національні цифрові платформи для відновлення інфраструктури, з урахуванням специфіки міжнародних проєктів допомоги Україні.

Висловлені зауваження жодним чином не змінюють загальної оцінки офіційного опонента щодо повної відповідності змісту й інновацій дисертаційної роботи вимогам, встановленим для докторських дисертацій за спеціальністю 05.23.08."

11. Загальний висновок. Дисертаційна робота Дружиніна М.А. на тему «Система функціонально-цифрового супроводу організації збірного будівництва» є завершеною самостійною науковою працею, що має істотне теоретичне і практичне значення та вирішує теоретико-прикладну проблему сучасного будівництва – розроблено та обґрунтовано системи функціонально-цифрового супроводу процесів постачання в організації девелоперських проєктів збірного будівництва. У роботі запропоновано цілісну систему управління логістикою проєкту, яка комплексно враховує специфіку збірного будівництва, виклики цифрової трансформації та сучасні вимоги до організації будівельного виробництва.

Структура дослідження логічна й послідовна, а результати мають як наукову новизну, так і високу практичну значущість для подальшого розвитку технологій організації будівельного виробництва. Зміст дисертаційної роботи повністю відповідає профілю спеціальності 05.23.08 – «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва», що засвідчує високий рівень теоретичної і практичної підготовки здобувача.

За рівнем наукової новизни, ступенем обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, практичною цінністю результатів, методологічною зрілістю, а також за відповідністю формальним вимогам, подана дисертація повністю відповідає критеріям, визначеним пунктами 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197, а також положенням Наказу МОН України від 23.09.2019 р. № 1220 (із змінами).

Враховуючи викладене, вважаю, що дисертаційна робота Дружиніна Максима Андрійовича заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.08 – «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва», а спеціалізована вчена рада Д26.056.03 при Київському національному університеті будівництва і архітектури має всі підстави для ухвалення відповідного рішення.

Офіційний опонент

доктор технічних наук,
професор,
професор кафедри будівництва,
урбаністики та просторового
планування Східноукраїнського
національного університету
імені Володимира Даля



Василь ДОНЕНКО

Від імені Доненко в завіданні
Загальним



Дурова О.В.