

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

по дисертаційній роботі Дружиніна М.А. «Система функціонально-цифрового супроводу організації збірного будівництва». Робота подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.08 – технологія та організація промислового та цивільного будівництва

1. Аналіз ступеня актуальності обраної тематики дисертації та обґрунтування вибору предмета дослідження. На сьогодні через триваючу військову агресію Росії проти України неможливо надати точні дані щодо загальної площі зруйнованих будівель і об'єктів інфраструктури. Бойові дії не припиняються, а обмежений доступ до тимчасово окупованих територій ускладнює проведення повноцінних оцінок. Крім того, відсутність єдиної системи обліку руйнувань та відмінність у методах збору інформації різними організаціями призводять до варіативності у даних. Втім, деякі організації намагаються оцінити масштаби руйнувань. Згідно з інформацією Офісу Генерального прокурора України, станом на 1 грудня 2023 року пошкоджено або знищено понад 114 тисяч житлових будинків загальною площею близько 30 млн м². За підрахунками KSE Institute, станом на 14 листопада 2023 року втрачено або пошкоджено 120 тисяч житлових будівель, 28 тисяч навчальних закладів, 2,8 тисячі лікарень, 300 мостів і 10 тисяч км автомобільних доріг, а сумарна площа зруйнованих житлових будинків становить орієнтовно 35 млн м². Незважаючи на орієнтовний характер цих даних, вони свідчать про безпрецедентний масштаб руйнувань, за якими стоять долі мільйонів українців, що втратили свої домівки, рідних і звичне мирне життя. У цих умовах питання відновлення зруйнованих будівель та інфраструктури набуває першочергового значення. Одним із перспективних напрямів вирішення цього завдання є використання збірного будівництва, яке має низку переваг перед традиційними методами. По-перше, збірні об'єкти споруджуються значно швидше, що дозволяє оперативно відновлювати житловий фонд і об'єкти інфраструктури. За оцінками, час будівництва може скорочуватися вдвічі. По-друге, виробництво збірних елементів на заводах із дотриманням високих стандартів якості забезпечує довговічність і надійність будівель. По-третє, завдяки оптимізації виробничих процесів збірне будівництво є економічно вигіднішим, що дозволяє знизити витрати на робочу силу та матеріали на 10–20%. Крім того, цей метод є більш екологічним, адже сприяє зменшенню кількості будівельних відходів.

Відтак, дослідження проблематики впровадження збірного будівництва у процесах воєнного та повоєнного відновлення України є

надзвичайно актуальним. У дисертаційній роботі акцент зроблено на розробці функціонально-цифрової системи супроводу організації постачання у збірному будівництві. Такий підхід відповідає сучасним викликам, пов'язаним із необхідністю швидкої, ефективної й стійкої реалізації будівельних девелоперських проєктів.

Дослідження спрямоване на розширення наукових уявлень про трансформацію управління ланцюгами постачання шляхом інтеграції цифрових технологій, елементів нечіткої логіки та нових методологічних принципів. Удосконалення організаційно-технологічних форматів функціонального супроводу будівельних проєктів забезпечить їх адаптацію до сучасних умов управління, мінімізацію ризиків і невизначеностей, оптимізацію витрат і термінів реалізації.

Практична актуальність дослідження полягає у можливості застосування його результатів у реальній діяльності будівельних компаній при реалізації державних і приватних програм відновлення житлової забудови та об'єктів інфраструктури. Крім того, запропоновані методичні підходи створюють підґрунтя для розвитку автоматизованих цифрових платформ управління будівельними процесами, що особливо важливо в умовах динамічних змін і кризових ситуацій.

Офіційний опонент відзначає високу актуальність теми дослідження, обумовлену нагальними потребами України у швидкому та ефективному відновленні житлової та інфраструктурної забудови в умовах війни та післявоєнного періоду. Предмет дослідження – система функціонально-цифрового супроводу організації збірного будівництва – обраний цілком обґрунтовано та відповідає сучасним науково-практичним викликам галузі. Робота має вагомий рівень науково-теоретичної та прикладної актуальності для розвитку будівельної сфери та впровадження інноваційних технологій у девелоперські проєкти.

2. Оцінювання відповідності здобутих результатів цілям і завданням, визначеним науково-дослідними програмами та планами. Дисертаційна робота Дружиніна М.А. органічно пов'язана з виконанням низки науково-дослідних і пошукових тем, що реалізувалися у Київському національному університеті будівництва і архітектури (КНУБА) та в Академії будівництва України. Результати дослідження повністю відповідають поставленим цілям і завданням згаданих наукових проєктів та програм. Зокрема, у межах науково-дослідної теми «Розбудова сучасного аналітичного інструментарію девелоперського управління підрядним будівництвом» (№0115U000860) дисертанткою розроблено та впроваджено аналітико-прикладну систему для

оцінки ефективності постачання у проєктах збірного будівництва, що базується на цифрових технологіях та методах нечіткої логіки (Fuzzy Logic). Це безпосередньо відповідає завданню теми щодо розвитку сучасного інструментарію аналітики в управлінні будівельними процесами.

У рамках дослідження «Розвиток управлінської взаємодії інституційних учасників девелоперських проєктів» (№0121U111793) автор обґрунтував доцільність інтеграції технологій інформаційного моделювання будівель (BIM) у цифрові платформи для управління девелоперськими проєктами. Використання BIM-технологій як інструменту інтеграції управлінських процесів сприяє досягненню цілей зазначеної теми, що передбачає вдосконалення взаємодії між учасниками будівельного девелопменту.

Крім того, в межах теми «Вдосконалення аналітичного апарату обґрунтування формату девелопменту для проєктів будівництва» (№W4-14-b, Академія будівництва України) використано авторську розробку системи цифрового адміністрування партнерських відносин у будівництві із застосуванням методів мережевого аналізу. Це відповідає завданням теми щодо удосконалення механізмів обґрунтування стратегій девелоперського управління.

Важливо підкреслити, що тематика, завдання та зміст дисертаційної роботи узгоджуються з цільовими орієнтирами нормативно-правових актів України у сфері містобудування. Зокрема, вони відповідають завданням, викладеним у Законі України «Про регулювання містобудівної діяльності» (від 17.02.2011 № 3038-VI, із змінами в чинній редакції), а також положенням «Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні», затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 лютого 2021 р. № 152-р. Таким чином, результати дисертаційної роботи Дружиніна М.А. є цілком релевантними цілям і завданням наукових досліджень, у межах яких вони були здійснені. Робота не лише демонструє високу відповідність програмним вимогам, але й вносить вагомий внесок у розвиток теоретичних і практичних основ девелоперського управління у сфері збірного будівництва з використанням цифрових технологій.

3. Рівень аргументованості та достовірності отриманих наукових результатів і сформульованих висновків. Оцінюючи обґрунтованість і достовірність результатів, отриманих у дисертації, слід відзначити доцільність використання міждисциплінарного підходу та мультикомпонентного методичного базису дослідження. Комплексне поєднання системного, процесного, мережевого аналізу, методів

структуризації ієрархій, теорії стейкхолдерів із сучасними технологіями - BIM-моделюванням, імітаційно-стохастичними методами, Fuzzy Logic — забезпечило всебічне охоплення проблематики та високу обґрунтованість запропонованих рішень. Це дозволило розробити формалізовану цифрову систему супроводу організації збірного будівництва, здатну адаптуватися до вимог сучасних девелоперських проєктів. Достовірність результатів підтверджується збіжністю теоретичних моделей із результатами практичної апробації прикладних компонент дослідження. Узагальнені висновки дисертаційної роботи ґрунтуються на достовірних даних та демонструють практичну ефективність запропонованих підходів у реальних умовах управління проєктами збірного будівництва.

Додатково слід підкреслити, що вперше запропонована автором мережева організаційно-технологічна модель циклу проєкту збірного будівництва забезпечує цілісне та зручно формалізоване відображення процесів реалізації проєкту. Використання цієї моделі дозволяє системно інтегрувати дані про планування, постачання та збірку конструкцій, що істотно підвищує обґрунтованість управлінських рішень. Завдяки формалізованій структурі моделі значно поліпшується якість координації, прогнозування та контролю в проєктах ПЗБ.

4. Характеристика наукової новизни окремих положень і висновків дослідження. Рівень новизни результатів дослідження відповідає вимогам докторських дисертацій за спеціальністю 05.23.08.- технологія та організація промислового та цивільного будівництва. На думку опонента, характеристики наукової новизни за рубрикаторм «вперше», відповідають такі результати здобувача:

4.1) Теоретичний концепт функціонального супроводу ПЗБ із використанням цифрових технологій. Цим результатом вперше обґрунтовано концепт інтегрованого девелоперського управління життєвим циклом об'єкта збірного будівництва. Концепція базується на цифровізації рішень через BIM, прогнозну аналітику, кластеризацію та авторську класифікацію цифрових технологій. Це забезпечує систематизацію інноваційних процесів у ПЗБ. Запропоновано створення єдиної цифрової екосистеми. Сформовано базові підходи до цифрового супроводу процесів ПЗБ.

4.2) Загально-методичний базис моделювання та оптимізації проєктів ПЗБ, що поєднує будівельний девелопмент, BIM-моделювання, імітаційні методи та управління ланцюгами постачання. Інтегровано системний, процесний і ситуаційний підходи до організації ПЗБ. Застосовано графоаналітичні методи та реінжиніринг управлінських структур.

Сформовано основи для комплексного цифрового планування будівництва. Виділено BIM як ядро цифрової організації проєктів.

4.3) Аналітико-прикладний інструментарій для оптимізації постачання у ПЗБ - вперше створено комплексний інструментарій оптимізації управління постачанням у збірному будівництві. Він включає мережеві моделі постачання, індикатори ефективності з використанням Fuzzy Logic, методи аналізу комунікацій і партнерств. Запропоновано модулі оцінки впливу інтелектуальних систем на постачання. Інструменти інтегровані у програмні засоби цифрової оптимізації. Забезпечено практичне застосування інновацій для управління ресурсами ПЗБ.

На думку опонента, результати, які складають новизну дослідження за рубрикатором «удосконалено», слід вважати наступні:

у дисертаційній роботі **удосконалено**;

- *систему оцінки ефективності процесів та управління постачанням в рамках девелоперського будівельного проєкту* в складі двох груп індикаторів. Перша група містить 15 показників, які оцінюють тривалість операцій, час реакції на запити, витрати на «логістично-транспортний» комплект та інші аспекти. Друга група включає нечітко-логічні індикатори, що оцінюються за шкалою надійності та бальною системою (від 1 до 14). Ці показники дозволяють оцінити рівень узгодженості між учасниками, надійність постачальників, обґрунтованість цін на матеріали та їх відповідність технічним стандартам, а також забезпечення безпеки та надійності транспортних маршрутів;

- *дорожню карту цифровізації будівельної галузі України* шляхом формування концептуальної моделі інтеграції BIM-технологій, інструментів нечіткої логіки, штучного інтелекту, машинного навчання та методів мережевого аналізу в систему організації девелоперських проєктів збірного будівництва. Запропоновані підходи забезпечують основу для створення гнучких цифрових платформ управління, що відповідають вимогам функціональної стійкості, адаптивності та стратегічної надійності в умовах динамічного середовища та викликів повоєнного відновлення. Зокрема, мережева модель циклу ПЗБ, яка налаштовує вимоги цифровізації та BIM-технологій до завдань формалізованого відображення змісту підсистем і стейкхолдерів в девелоперському проєкті збірного будівництва. Постачання у моделі визначено як окрему підсистему, інтегровану у багаторівневу структуру, що охоплює організаційні, інформаційні та функціональні аспекти проєктного середовища.

- *науково-методичний підхід до застосування BIM-технологій для формалізації будівельного проєкту та його девелоперського супроводу.* Запропоновано інноваційну багаторівневу модель циклу організації збірного будівництва, в якій BIM-адаптована система використовується для цифрового опису стейкхолдерів, структурування змісту робіт, бюджетно-часового аналізу та формування параметричних моделей управління. Такий підхід забезпечує цілісність, прозорість і гнучкість процесів супроводу проєкту на всіх стадіях життєвого циклу.

- *методичні підходи до застосування нечіткої логіки у процесах організації постачання збірного будівництва (ПЗБ).* У межах дослідження сформовано базис нечітко-логічного оцінювання параметрів постачання з використанням семантичних шкал та балових оцінок, що дозволяє гнучко враховувати невизначеність в оцінці надійності постачальників, узгодженості логістичних рішень та стійкості маршрутів постачання. Це створює підґрунтя для більш адаптивного і стійкого управління ланцюгами постачання.

- *науково-прикладні засади застосування інструментів штучного інтелекту в будівництві,* зокрема через розроблення модулів інтелектуального аналізу ризиків, прогнозування впливу деструктивних факторів та автоматизованого коригування логістичних процесів у ПЗБ. Впровадження технологій штучного інтелекту дозволило підвищити адаптивність та стійкість організаційно-технологічних структур будівельних проєктів.

- *алгоритми машинного навчання для ідентифікації спільнот у мережі ланцюга постачання збірного будівництва.* Розроблено та адаптовано методики застосування алгоритмів напів-синхронного поширення міток (Semi-Synchronous Label Propagation), що дозволяє виявляти ключові вузли взаємодії стейкхолдерів, аналізувати ефективність комунікацій і формувати оптимальні шляхи передачі інформації, що суттєво підвищує стабільність і надійність постачання.

На думку опонента, результатами, які складають новизну дослідження за рубрикаторм «набуло подальшого розвитку», слід вважати наступні:

- а) *критеріальну базу оптимізації стану постачання в девелоперських проєктах* – для потреб ПЗБ застосовано систему нечітко-логічних критеріїв, що включає наступні пункти: f1 – своєчасність постачання, f2 – рівень надійності логістичних процесів серед усіх підприємств-стейкхолдерів, f3 – ефективність використання бюджету, f4 – відповідність організаційно-технологічній моделі циклу підготовки та будівництва об'єкта, f5 – цифрова адаптованість та прозорість постачання. Кожен критерій оцінюється за допомогою нечітко-логічної бальної шкали від 1 до 14, причому орієнтація на

максимальні значення є метою. При цьому критерії мають різний рівень пріоритетності, що враховується через вектор пріоритетів.

б) застосування мережевого аналізу для покращення партнерства та якості комунікацій між учасниками проєктів збірного будівництва. Впровадження підходу SNA (Social Network Analysis) дозволяє не лише визначити ключові точки впливу, але й оцінити рівень взаємодії між стейкхолдерами та виявити потенційні комунікаційні розриви, що є важливим для ефективного управління проєктами. Крім того, у роботі підкреслено доцільність використання сучасних цифрових платформ для інтеграції інформаційних потоків, регулярного оновлення статусів учасників, імітаційного моделювання сценаріїв взаємодії, а також впровадження CRM-систем для ефективного управління взаємними відносинами. Особлива увага приділяється використанню динамічних дашбордів і KPI-комплексів для забезпечення прозорості виконання зобов'язань, що сприяє формуванню довіри, своєчасному реагуванню на зміни та підвищенню загальної ефективності комунікацій у процесах збору та реалізації будівельних проєктів;

в) застосування методів мережевого аналізу, включаючи алгоритм напів-синхронного поширення міток (*Semi-Synchronous Label Propagation Algorithms*) для оптимізації взаємодії і партнерства в проєктах збірного будівництва. Ці методи дозволяють здійснювати детальний аналіз і моделювання взаємодій між стейкхолдерами, виявляючи критичні зв'язки та потоки інформації, що підвищує ефективність комунікацій. Окрім того, методи допомагають автоматизовано класифікувати та визначати найбільш оптимальні шляхи передачі важливої інформації, що знижує ризики та забезпечує стабільність постачання в процесі реалізації будівельних проєктів.

г) зміст категорії «функціонально-цифровий супровід» для організації збірного будівництва. Автор пропонує цю категорію як інтегровану систему управління будівельним проєктом, яка поєднує організаційно-функціональні методи з цифровими технологіями для координації всіх етапів реалізації проєкту. Вона включає застосування BIM-моделювання, вдосконалених мережевих моделей будівництва, аналітичних алгоритмів, Fuzzy Logic та автоматизованих рішень, що сприяють оптимізації постачання, мінімізації ризиків у циклі ПЗБ та адаптації до змінних умов будівництва (авторське тлумачення).

д) теоретико-методичні підходи застосування концепції ланцюга постачання в збірному будівництві – особлива увага приділяється адаптації принципів «ланцюга постачання» до специфіки збірного будівництва. Основний акцент зроблено на розробці ефективних стратегій для інтеграції

цифрових технологій у процес управління матеріальними потоками. Це дозволяє знизити витрати, усунути затримки та покращити взаємодію між усіма учасниками проєкту, що є надзвичайно важливим для таких ініціатив.

5. Узагальнений висновок опонента щодо характеристики наукової новизни дисертаційної роботи в цілому. Дисертаційна робота має значну наукову новизну, оскільки формує інноваційну систему функціонально-цифрового супроводу організації постачання в проєктах збірного будівництва (ПЗБ), що є ключовим елементом для оптимізації управлінських та логістичних процесів у девелоперських проєктах. Запропонована система являє собою інтелектуальне середовище, яке інтегрує цифрові інструменти та управлінські підходи з метою підвищення ефективності координації, стійкості та адаптивності логістичних процесів в рамках реалізації ПЗБ. Створена автором система супроводу ПЗБ об'єднує ВІМ-моделювання, цифрові технології, методи скінченних елементів, нечітку логіку, машинне навчання та мережевий аналіз. Це дозволяє здійснювати більш точне планування, управління та моніторинг логістичних процесів у реальному часі. Запропонована система використовує модернізовану цифрову модель «елементи-роботи», що забезпечує класифікацію та кластеризацію елементів підсистеми постачання ПЗБ. Упровадження ВІМ-планування як основного елемента цієї системи разом із нечітко-логічних критеріями, алгоритмами кластеризації та інструментами прогнозування стійкості зв'язків дозволяє створити єдину інформаційну базу для всіх учасників проєкту, що істотно підвищує точність прогнозування та контролю на всіх етапах будівництва.

6. Визначення практичної значущості результатів і висновків, представлених у дисертації. Практична значущість результатів дисертації Дружиніна М.А. полягає в значному внеску до удосконалення процесів організації збірного будівництва та підвищення ефективності реалізації девелоперських проєктів. Впроваджені наукові та прикладні результати, зокрема інструменти цифрового супроводу, оптимізації логістики, управління постачанням і взаємодії між учасниками інвестиційно-будівельних процесів, дозволили зменшити терміни реалізації проєктів, підвищити рівень координації учасників та забезпечити адаптивні графіки постачання. Це сприяло зниженню витрат, покращенню контролю за виконанням робіт та зменшенню кількості затримок і відмов. Використання розроблених підходів у практиці діяльності компаній та організацій, зокрема під час реалізації соціальних об'єктів у воєнний і повоєнний період, підтвердило їх ефективність у контексті збереження ресурсів і покращення якості будівництва. Крім того, результати дослідження активно інтегруються в навчальний процес, що

посилює підготовку спеціалістів, здатних працювати в умовах цифрової трансформації будівельної галузі та застосовувати інноваційні методи управління проектами збірного будівництва.

7. Оцінка логічності побудови, змістовного наповнення та структури дисертаційної роботи. Структура та зміст дисертаційної роботи відповідають вимогам, установленим для подібних наукових досліджень. Робота має чітко визначену структуру, яка забезпечує логічну послідовність викладу матеріалу та охоплює всі ключові аспекти теми. Вступ і анотації (українською та англійською мовами), а також додатки доповнюють основний текст та дають повне уявлення про цілі та завдання дослідження. У першому розділі автор успішно розкриває теоретичні аспекти досліджуваної теми, надаючи чітке розуміння факторів партнерства в середовищі девелопменту та організації постачання. Другий розділ формує методичний базис дослідження, зокрема показує переваги застосування інформаційного моделювання та автоматизації проектування у сучасних підходах до організації збірного будівництва. У третьому розділі поглиблено аналізується впровадження інформаційних технологій у практику девелоперських проєктів. Четвертий розділ присвячено розробці прикладного інструментарію супроводу процесів організації постачання для ПЗБ, а п'ятий розділ фокусується на практичних аспектах розробки програмних засобів для адміністрування таких проєктів. Загалом, структура роботи є логічною та послідовною, що забезпечує зрозуміле та ефективне донесення результатів дослідження до читача.

8. Думка опонента щодо відповідності змісту результатів дослідження паспорту спеціальності. Зміст дисертації М.А. Дружиніна відповідає вимогам паспорта спеціальності 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва», що підтверджується низкою ключових пунктів. Щодо пункту 4, який стосується «Наукових та методичних основ проектування і організації будівельного виробництва з використанням сучасних інформаційних технологій», то робота охоплює всі відповідні аспекти в усіх розділах. У контексті пункту 2, що включає «Організаційно-технологічне проектування будівельного виробництва, моделі, методи та рішення», відповідність підтверджується змістом розділів 1 і 2, де детально розглянуто інноваційну систему функціонально-цифрового супроводу в збірному будівництві та інтеграцію цифрових технологій у ці процеси. Щодо пункту 5, пов'язаного з «Розробленням наукових основ автоматизації будівельних процесів», відповідність забезпечується розділами 4 і 5, де розглядаються моделювання і симуляція функціонально-цифрового супроводу та практичні інструменти для розвитку цієї системи. Нарешті,

стосовно пункту 3, що стосується «Організаційних структур і методів управління підприємствами будівельного комплексу», робота відповідає вимогам, оскільки в розділі 4 представлені відповідні підходи до організації управлінських структур в проектах збірного будівництва.

9. Висновок щодо дотримання принципів академічної доброчесності при виконанні дослідження. На підставі довідки про антиплагіат опонент прийшов до висновку, що дисертаційна робота Дружиніна М.А. є результатом його власних досліджень та не містить плагіату чи несанкціонованих запозичень. За результатами перевірки системами Anti-Plagiarism виявлено, що рівень максимальної схожості з іншими джерелами низький, що пояснюється використанням здобувачем власного самоцитування з раніше опублікованої одноосібної статті. Всі використані фрагменти результатів чи текстів інших авторів супроводжуються належними посиланнями на джерела. Щодо робіт, опублікованих у співавторстві, особистий внесок докторанта чітко вказано у «списку праць здобувача». Порівняльний аналіз тексту докторської та кандидатської дисертацій Дружиніна М.А. надав підстави для висновку про те, що докторській дисертації не використовувались ідеї, тексти чи наукові результати, що були представлені в кандидатській дисертації Дружиніна М.А. на тему «Організація будівельного девелопменту в проектах рекреаційно-продуктивного відновлення територій», яка була захищена в 2018 році у спеціалізованій вченій раді КНУБА Д.26.056.03.

10. Перевірка відповідності дисертації встановленим нормативним вимогам. На підставі аналізу тексту дисертації та публікацій Дружиніна М.А. опонент вважає, що дослідження «Система функціонально-цифрового супроводу організації збірного будівництва» відповідає вимогам, які висуваються до докторських дисертацій за спеціальністю 05.23.08, які висуваються з боку «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» (схваленого Постановою №1197 Уряду України від 17.11.2021 р.) та Наказу №1220 МОН України «Про опублікування результатів дисертації на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук» (із змінами).

11. Зауваження, дискусійні моменти та пропозиції для подальших наукових пошуків здобувача.

11.1) *Зауваження щодо першого розділу* стосується п.1.3. та необхідності первинного (в межах даного параграфу) уточнення сутності стійкості системи постачання в умовах воєнного та післявоєнного відновлення. У п.1.3. згадується важливість гнучкості та адаптивності системи постачання в умовах воєнного та повоєнного відновлення інфраструктури. Однак важливо детальніше розглянути критерії, за якими оцінюється стійкість системи

постачання саме в таких екстремальних умовах. Наприклад, як зміни в законодавстві, нестабільність ринку чи обмеження в постачаннях можуть впливати на ефективність використання цифрових технологій і управлінських методів для забезпечення стійкості системи постачання в таких умовах. Проте слід вказати, що сутність цієї категорії інструментально опрацьовано автором в 3 та 4 розділах при формуванні системи оцінювання стану постачання в проєктах типу ПЗБ.

11.2) *зауваження щодо 3 розділу* стосується необхідності уточнення етапів розвитку штучного інтелекту та їх практичного застосування для формалізації змісту організації будівельного девелопменту в проєктах організації будівництва. У частині тексту зазначено важливі історичні моменти розвитку штучного інтелекту, зокрема створення першого нейронного алгоритму Perceptron та етапи його використання в розпізнаванні зображень. Однак, важливо більш детально розглянути практичні аспекти застосування ранніх алгоритмів ШІ, зокрема Perceptron, і їх обмеження на сучасних етапах розвитку технологій. Можна було б додати, як ці ранні алгоритми стали основою для подальшого розвитку глибокого навчання та сучасних моделей ШІ, в контексті використання для девелоперського супроводу проєктів типу ПЗБ.

11.3) *зауваження щодо 4 розділу* стосується необхідності посилення акценту на реалізованій в даному дослідженні автору інновації щодо сумісного використання дефазифікації та нечітко-логічного оцінювання стану системи постачання в проєктах ПЗБ. Опис процесу застосування нечіткої логіки та дефазифікації в контексті оцінки стану системи постачання в проєктах ПЗБ є досить детальним, і для формулювання зауважень щодо сумісного використання алгоритмів дефазифікації та нечітко-логічного оцінювання стану системи постачання, можна звернути увагу на кілька важливих аспектів, а саме уточнення ролі нечітких змінних в оцінці стану постачання. Оскільки система постачання в проєктах ПЗБ може включати численні фактори (довіра, рівень комунікації, використання цифрових інструментів, стійкість ланки, тощо), важливо вказати, як кожна з цих змінних взаємодіє одна з одною в рамках нечітко-логічного оцінювання. Зокрема, у процесі дефазифікації ці змінні повинні бути чітко пов'язані з певними результатами, що дозволить отримати точне і практично застосовне значення для прогнозування та управління матеріальними потоками.

11.4) *наступне зауваження щодо четвертого розділу* стосується необхідності деталізації використання «алгоритму напів-синхронного поширення міток» при формуванні змісту та використанні підсистеми

інструментарію «цифровий контроль постачання ПЗБ». Така деталізація впливає із змісту 4 розділу і стосується: «точності та надійності управління матеріальними потоками». Доцільно було б в тексті висновків до 4 розділу вказати, що використання алгоритмів напів-синхронного поширення міток дозволяє покращити класифікацію та ідентифікацію груп матеріалів у рамках загального ланцюга постачання. Це дозволяє більш ефективно виявляти логістичні блоки та спільноти, що в подальшому допомагає оптимізувати процеси доставки та складування матеріалів. Наприклад, коли система відстежує потік матеріалів, алгоритм може групувати матеріали, які належать до однакових категорій або мають спільні вимоги до зберігання та транспортування.

11.5) *зауваження до 5 розділу:* при описі можливостей та переваг впровадження комплексу прикладних програм автору слід було також приділити особливу увагу об'єктивним і суб'єктивним бар'єрам, які можуть заважати ефективному впровадженню цифрових технологій у будівництво. Наприклад, у випадку з Україною це можуть бути слабкі технічні стандарти, недостатня інфраструктура для інтеграції технологій у сферу будівництва, а також складнощі з навчанням і підготовкою кадрів, здатних ефективно працювати з новими цифровими інструментами. Суб'єктивні перешкоди можуть включати опір змінам з боку учасників будівельних процесів, відсутність мотивації для переходу на цифрові технології через непорозуміння їхньої цінності або страх перед складністю інтеграції нових технологій у вже існуючі процеси. Важливо зазначити, що в умовах ПЗБ саме цифрові технології можуть стати ядром мережевої моделі ланцюга постачання. Це дозволяє не лише оптимізувати операційні процеси, але й забезпечити прозорість та інтеграцію всіх учасників проєкту через єдину цифрову платформу. Але для ефективної формалізації рішень щодо організації будівництва та управління постачанням в проєктах ПЗБ необхідно приділити увагу деталізації перешкод, які виникають у цифровому просторі, зокрема у контексті передачі і обміну даними, забезпечення кібербезпеки, а також у процесі налаштування та підтримки програмних рішень, які будуть використовуватися на всіх етапах проєктування та реалізації. Це вимагає не тільки розробки технічних рішень, але й гармонійної інтеграції цифрових технологій у бізнес-процеси будівельних компаній, що включає в себе розуміння та мінімізацію перешкод для ефективного функціонування цих технологій у реальних умовах.

11.6) *ще одне зауваження до 5 розділу:* процес ідентифікації спільнот в мережі ланцюга постачання з використанням різних алгоритмів кластеризації демонструє позитивні результати, однак існують моменти, які потребують уточнення, зокрема, відсутність деяких важливих учасників у класифікації, як у випадку з «Керівником проєкту» у кластері Fluid Communities. Це в подальших дослідженнях здобувача слугуватиме аргументацією про необхідність додаткової перевірки або оптимізації алгоритмів для більш точного визначення ролей учасників;

11.7) цілком погоджуючись із запропонованими автором напрямками продовження дослідження (викладені у завершальному пункті загальних висновків), вважаю за доцільне в якості *альтернативних напрямів продовження дослідження* порадити здобувачу звернутись до вирішення наступних наукових завдань: розроблення формалізованих моделей оцінки відповідності логістичних структур вимогам стратегії відновлення інфраструктури; пошук дієвих індикаторів вияву впливу якості партнерства та інформаційної взаємодії між стейкхолдерами ПЗБ на загальну ефективність організації постачання.

Зауважень щодо змісту реферату немає, він в межах відведеного обсягу належно відображає основні етапи дослідження та зміст одержаних автором інновацій.

Висловлені зауваження не мають принципового характеру, стосуються окремих аспектів розгортання теми і не знижують загальної наукової цінності, теоретичної значущості та прикладної вагомості виконаного дослідження. Отже, зауваження не ставлять під сумнів думку опонента про цілковиту відповідність даного дослідження встановленим вимогам до докторських дисертацій за спеціальністю 05.23.08. - «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва».

12. Загальний висновок офіційного опонента по дисертаційній роботі. Дисертаційна робота Дружиніна М.А. «Система функціонально-цифрового супроводу організації збірного будівництва» є завершеним і самостійно проведеним науковим дослідженням, що стосується однієї з найбільш актуальних тем сучасного будівництва. У межах цієї роботи було обґрунтовано теоретико-методичну та аналітико-прикладну систему цифрового супроводу процесів постачання, яка інтегрується в організацію девелоперських проєктів збірного будівництва. Це дослідження не лише теоретично розв'язує важливі наукові питання, але й має практичне значення

для розвитку будівельної галузі. Представлена в роботі цілісна система управління логістикою проєкту враховує специфіку організації логістичних процесів у збірному будівництві, забезпечує ефективну цифрову трансформацію та відповідає вимогам сучасного будівельного виробництва. Зміст дисертації цілком відповідає вимогам спеціальності 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва», що підтверджує її відповідність науковим і практичним вимогам цієї галузі. Наукова новизна, обґрунтованість та рівень теоретико-методичних інновацій висновків, рівень методологічної зрілості, а також практичне значення наданих результатів відповідають вимогам, викладеним у пунктах 7, 8 та 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 вересня 2019 р. №1220 (із змінами). Тому, з огляду на вищезазначене, вважаю, що в спеціалізованій вченій раді Д26.056.03 КНУБА є всі підстави для прийняття позитивного рішення щодо присудження автору роботи, Дружиніну Максиму Андрійовичу, наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва».

Офіційний опонент

професор, д.т.н.,
завідувач кафедри промислового
та цивільного будівництва
Інженерного навчально-наукового
інституту ім. Ю. М. Потебні
Запорізького
національного університету

І.А. Арутюнян



Підпис І.А. Арутюнян засвідчує

Вчений секретар




О.А. Проценко