

## **ВІДГУК офіційного опонента**

д.т.н., професора Доненка В.І. на дисертаційну роботу Данілова Сергія Юрійовича на тему: «Моделі та методи мультиагентного розподілу трудових ресурсів в середовищі будівельних девелоперських проєктів в умовах невизначеності», подану до разової спеціалізованої вченої ради PhD55.192 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 об'єктивним ускладненням процесів управління трудовими ресурсами в сучасних будівельних девелоперських проєктах, які функціонують в умовах значної невизначеності зовнішнього середовища. Коливання ринку праці, дефіцит кваліфікованих фахівців і потреба оперативної адаптації управлінських рішень об'єктивно зумовлюють пошук нових методологічних підходів до організації праці. У такому контексті мультиагентні моделі виступають ефективним інструментом децентралізованого управління та оптимізації розподілу ресурсів. Їх інтеграція у цифрові платформи управління проєктами відповідає сучасному вектору цифровізації будівельної галузі та розвитку інтелектуальних систем прийняття рішень.

Особливо важливим є врахування стохастичної природи будівельних процесів, яка часто ігнорується у традиційних детерміністичних моделях. Це підсилює як наукову, так і прикладну значущість дослідження. Окремо слід відзначити трансформацію самої концепції трудових ресурсів у цифровому середовищі: працівник дедалі більше розглядається як носій цифрових компетентностей та активний елемент інформаційно-управлінської екосистеми. Така позиція формує нову парадигму управління, засновану на адаптивності, мережевій взаємодії та алгоритмічних механізмах координації, і

робить мультиагентний підхід природним інструментарієм опису поведінки персоналу в цифровізованому виробничому середовищі.

Подане дослідження демонструє системне поєднання теоретичних і прикладних підходів до вирішення складних управлінських задач. Робота відображає сучасні тенденції розвитку інтелектуальних систем управління проектами, а також відповідає базовим стратегічним документам у сфері інноваційного розвитку, цифрової економіки та розбудови інформаційного суспільства. Тема дисертації є своєчасною, а її предметна область відповідає реальним потребам розвитку будівельної галузі.

**2. Зв'язок роботи з науковими програмами і темами.** Дисертаційне дослідження узгоджується зі стратегічними документами України у сфері цифрової трансформації та інноваційного розвитку, зокрема щодо впровадження інтелектуальних систем управління ресурсами. Робота виконувалась у межах НДР КНУБА №0124U005196 «Розробка науково-технічного інструментарію для формування та реалізації внутрішньовиробничих планів діяльності будівельної організації», у якій здобувач є виконавцем, та НДР Академії будівництва України №7АБ/МОБ-11.23, у якій він є учасником. У межах цих програм сформовано підходи до мультиагентного управління трудовими ресурсами, сценарного моделювання та адаптивного планування будівельних процесів. Отримані результати інтегровані у дослідницькі програми установи та відповідають сучасним напрямкам розвитку будівельного девелопменту.

**3. Обґрунтованість і достовірність наукових положень та результатів.** Наукові положення роботи базуються на чітко сформульованій гіпотезі щодо ефективності мультиагентного підходу до децентралізованого управління трудовими ресурсами в умовах неповної визначеності. Логіка дослідження є послідовною та методологічно вивіреною: концептуально-

теоретичне обґрунтування у першому розділі переходить у методичний апарат у другому та в аналітико-прикладний інструментарій у третьому. Достовірність результатів забезпечується поєднанням математичного моделювання, імітаційних методів, нечіткої логіки, ймовірнісного та сценарного аналізу, а також методу експертних оцінок.

Застосування цифрових платформ (BIM, ERP) як середовища впровадження додатково підтверджує практичну відтворюваність результатів. Поєднання аналітичних і експериментально-імітаційних підходів забезпечує багаторівневу верифікацію наукових висновків. У сукупності методичний інструментарій, обраний здобувачем, відповідає характеру розв'язуваних задач та підтверджує належний ступінь обґрунтованості й практичної значущості проведеного дослідження.

**4. Висновок опонента щодо складових наукової новизни.** Заявлена у дисертації наукова новизна структурована за трьома рівнями і кваліфікована опонентом нижче з виокремленням предметного внеску по кожному рівню.

*Уперше* сформульовано концептуальний підхід до інтерпретації мультиагентного управління трудовими ресурсами в умовах невизначеності як організованої системи взаємодії цифрових агентів, що характеризується властивостями самоорганізації та адаптивного прийняття рішень. Предметний внесок цього положення полягає у введенні у науковий обіг будівельної галузі дефініції цифрового агента-працівника як активного елемента системи прийняття управлінських рішень, що автономно діє у власному функціональному полі та водночас забезпечує узгодженість дій із іншими учасниками управлінського процесу. Запропонований підхід об'єднує управлінські, інформаційні та ресурсні потоки у цифровій платформі і враховує стохастичні чинники й динамічні зміни зовнішнього середовища, формуючи адаптивну саморегульовану систему управління.

*Удосконалено* науково-методичні та аналітико-прикладні засади формування моделі управління трудовими ресурсами в умовах невизначеності будівельної організації, яка реалізує девелоперські проекти. Удосконалена модель передбачає послідовність управлінських дій від аналізу потреб і прогнозування динаміки ресурсів через формування цифрових профілів «працівників-агентів» з визначенням компетентнісних характеристик, продуктивності та адаптивності, до мультиагентного розподілу завдань на принципах автономної поведінки агентів та оптимізації ресурсного навантаження. У ході реалізації забезпечується безперервний моніторинг параметрів і адаптивне коригування ресурсів, реконфігурація операційної діяльності, інтеграція технологічних, кадрових і організаційних складових, оцінювання ефективності та постпроектний аналіз.

Удосконалено також архітектуру агентної взаємодії, адаптовану до умов невизначеності та врахування ймовірнісних і сценарних характеристик поведінки трудових ресурсів. Розроблено модель стратегічно орієнтованої реконфігурації операційних процесів та забезпечення цифрової когерентності організаційних структур, що дозволяє підвищити точність прогнозування ресурсного балансу. Окремим напрямом удосконалення є методико-прикладний інструментарій оцінювання інноваційного потенціалу учасників проектів, побудований як інтеграційна модель, що об'єднує технологічні, кадрові та організаційні чинники в єдину аналітичну систему.

*Набули подальшого розвитку* гібридний підхід до моделювання процесів організації будівництва та управління життєвим циклом девелоперського проекту, що інтегрує мультиагентне моделювання, нечітку логіку, ймовірнісний і сценарний аналіз, формуючи узагальнену функцію ефективності управління; застосування концепту «цифрового працівника девелоперського проекту» як активного елемента мультиагентної взаємодії в BIM- та ERP-середовищах; методико-аналітичний підхід до виявлення та

мінімізації відхилень в інтегрованому стані трудових ресурсів підприємства-виконавця; науково-методичний підхід до управління та зниження ризиків у процесах мультиагентного розподілу. У сукупності ці положення забезпечують комплексну оцінку ефективності ресурсного управління, прогнозування кадрових дисбалансів та оперативне коригування розподілу ресурсів з урахуванням автономності агентів і цілісності системи.

У підсумку наукова новизна дисертації полягає у розробленні узагальненого науково-методичного підходу та аналітичного інструментарію для мультиагентного управління трудовими ресурсами в будівельних девелоперських проєктах за умов невизначеності, поглибленні концепції «цифрового працівника» як активного елемента інтегрованого цифрового середовища, удосконаленні методичних засад оцінювання інноваційної спроможності учасників проєктів та обґрунтуванні механізмів узгодження автономності агентів із системною цілісністю управління.

**5. Оцінка змісту, структури та завершеності дослідження.** Структура дисертації є логічною, цілісною та методично виваженою. Перший розділ формує концептуально-теоретичний базис, другий розгортає методичний інструментарій, третій забезпечує прикладну реалізацію розроблених підходів із використанням інтелектуальних технологій. Зміст розділів взаємопов'язаний і підпорядкований єдиній науковій ідеї формування мультиагентної моделі розподілу трудових ресурсів у цифровому середовищі девелоперських проєктів. Послідовність викладу сприяє поступовому розкриттю дослідницької логіки від теоретичного узагальнення до практичної апробації.

Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 197 сторінок друкованого тексту, з яких 156 сторінок припадає на основну частину, що містить 14 таблиць і 37 рисунків. Список використаних джерел охоплює 121 найменування. Додатки викладено на 9 сторінках. Робота вирізняється високим рівнем внутрішньої узгодженості, аргументованістю положень та

системністю результатів. Загалом дисертація справляє враження завершеного наукового дослідження, що характеризується цілісністю, обґрунтованістю та практичною спрямованістю.

#### **6. Висновок опонента щодо теоретичної цінності результатів.**

Теоретична цінність дисертаційного дослідження полягає у формуванні цілісного науково-методологічного підґрунтя мультиагентного підходу до управління трудовими ресурсами в умовах невизначеності. Отримані результати розвивають концептуальні засади спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», зокрема її підсистеми «Організація будівництва», у напрямі цифровізації та інтелектуалізації управлінських процесів. Значним теоретичним внеском є уточнення та поглиблення понять агентної взаємодії, адаптивного управління та цифрової когерентності у будівельних девелоперських системах.

У роботі обґрунтовано теоретико-методичну платформу «цифрового працівника» як активного агента мультиагентної взаємодії, що забезпечує узгодженість процесів планування, координації та прийняття управлінських рішень у BIM- та ERP-середовищах. Систематизовано основні типи невизначеності та встановлено їх вплив на формування поведінкових стратегій агентів і моделі розподілу трудових ресурсів. Обґрунтовано перехід від ієрархічних до гнучких мережевих структур управління персоналом. Розроблено архітектуру агентної взаємодії, модель стратегічно зумовленої реконфігурації операційної діяльності та інтегровану функцію ефективності управління, яка враховує ризикові фактори, мотиваційні параметри та ймовірні сценарії розвитку системи.

Використання ймовірнісних підходів дозволяє здійснювати прогнозування стратегічної поведінки агентів у мультиагентному середовищі, підвищуючи рівень гнучкості та адаптивності управлінських рішень. Запропонований інструментарій моделювання інтегрує технологічні, кадрові

та організаційні складові, формуючи цілісне теоретичне підґрунтя для цифрової трансформації процесів організації праці та управління трудовим потенціалом. У цілому робота має суттєве значення для оновлення теоретико-методичних основ сучасної будівельної науки.

**7. Думка опонента щодо практичної цінності результатів.** Результати дослідження мають виражену прикладну значущість і вже частково впроваджені у діяльність підприємств будівельної та девелоперської галузі. Запропоновані моделі забезпечують підвищення ефективності планування, координації та раціонального використання трудових ресурсів у складних умовах реалізації проєктів. Використання мультиагентного підходу сприяє зниженню управлінських ризиків, оптимізації рішень та підвищенню адаптивності організаційних структур.

Результати наукового дослідження знайшли практичне застосування у діяльності ТОВ «Архітектурно-будівельні новації», ТОВ «Фомальгаут-Полімін» та ЗАТ «Українська академія інвестицій в науку і будівництво», що підтверджує їх реальну виробничу релевантність. Запропоновані моделі мультиагентного розподілу трудових ресурсів дозволили оптимізувати завантаження персоналу, підвищити точність прогнозування виробничих сценаріїв та забезпечити більш стабільне функціонування організацій в умовах невизначеності. Окремі результати впроваджено в освітній процес КНУБА при підготовці бакалаврів і магістрів спеціальності 192, що свідчить про їх навчально-методичну цінність. Матеріали дисертації використано також під час виконання НДР КНУБА (№0124U005196) та Академії будівництва України (№7АБ/МОБ-11.23).

Подальше практичне використання результатів доцільно розширити у напрямі створення цифрових платформ управління персоналом будівельних проєктів з інтеграцією мультиагентних моделей. Перспективним є впровадження розроблених підходів у системи ВІМ-рівня управління

ресурсами з можливістю оперативного сценарного прогнозування. Окремий інтерес становить використання результатів у розробленні інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для девелоперських компаній. Доцільним є масштабування запропонованих моделей на міжорганізаційний рівень взаємодії учасників будівельних кластерів та адаптація алгоритмів до умов управління великими інфраструктурними проєктами з високим рівнем невизначеності.

**8. Повнота викладення результатів та рівень їх апробації.** Основні результати оприлюднено у 14 наукових працях, з яких 9 опубліковано у фахових виданнях категорії «Б» та 5 у матеріалах наукових конференцій. З урахуванням постанови Кабінету Міністрів України №507 від 03.05.2024 р., що передбачає перерахунок співавторських праць (понад трьох авторів) у пропорції 0,5, здобувачеві зараховується 6 фахових публікацій категорії «Б». Цей показник відповідає вимогам пунктів 5-9 Порядку присудження ступеня доктора філософії (постанова КМУ №44 від 12 січня 2022 р.). Матеріали дисертації апробовані на 5 наукових конференціях різного рівня, у тому числі 3 міжнародних, що підтверджує фахове визнання результатів.

**9. Академічна доброчесність.** Перевірка тексту в системі StrikePlagiarism зафіксувала високий рівень оригінальності (99%) і коефіцієнт збігів 0,97%. Ознак плагіату не виявлено. Використання джерел є коректним та належним чином оформленим.

**10. Зауваження, дискусійні положення та рекомендації щодо подальшого вдосконалення змісту дисертації.** Представлена дисертаційна робота характеризується високим науковим рівнем, внутрішньою логічною узгодженістю та належною глибиною опрацювання досліджуваної проблематики. Водночас окремі її положення можуть бути предметом подальшого наукового обговорення та уточнення в контексті розвитку

запропонованих моделей і методів. Зауваження подано нижче з обґрунтуванням предметного значення кожного з них.

**1. Термінологічна неузгодженість назви дисертації та внутрішньої структури тексту.** Тема дисертації позиціонує предметну область як «будівельні девелоперські проекти», тоді як заголовки усіх трьох розділів і значної частини підрозділів послідовно оперують поняттям «ІТ-проекти»: розділ 1 «...мультиагентного управління трудовими ресурсами в ІТ-проектах», розділ 2 «...розподілу трудових ресурсів у мультиагентних системах управління ІТ-проектами», розділ 3 «...розподілу ресурсів в ІТ-проектах в умовах змінної складності». Аналогічна термінологічна позиція збережена у назвах низки фахових публікацій здобувача (статті №1, 4, 6, 14 за переліком наукових праць). Така невідповідність формулювань між темою та основним текстом потребує концептуального пояснення на захисті. На розгляд ради виноситься питання, чи розглядаються будівельні девелоперські проекти як підклас ІТ-проектів, чи як самостійний предмет управління, а ІТ-проекти використовуються як базова модель для перенесення інструментарію. У першій редакції наступних публікацій термінологічну позицію доцільно уніфікувати.

**2. Передумови переходу до поняття «цифровий трудовий ресурс» (с. 41-43).** Виклад загалом є змістовним, проте місцями має узагальнений, описовий характер. Зокрема, доцільне більш чітко розкриття причинно-наслідкових зв'язків між традиційним і цифровим підходами до управління персоналом та формалізація критеріїв такої трансформації. Без формалізації критеріїв (рівень автоматизації окремих операцій, частка цифрової комунікації у функціональних обов'язках, частка рішень, що приймаються у людино-машинній взаємодії) перехід від традиційного до цифрового трудового ресурсу залишається радше описовою категорією. Структурованість викладу етапів

еволюції з прив'язкою до вимірюваних індикаторів сприяла б підвищенню аналітичної чіткості та забезпечила можливість зовнішньої валідації запропонованої концепції.

**3. Зміст таблиці 1.4 у параграфі 1.1.1.1.** Таблиця 1.4 змістовно відображає ключові компоненти моделі цифрового працівника, проте її аналітичний потенціал у контексті системного аналізу може бути розширений. Доцільне доповнення таблиці такими складовими, як поведінкові характеристики агента (мотивація, адаптивність, рівень залученості), параметри цифрового лідерства та здатність до самонавчання, що прямо впливають із подальшого тексту розділу і фактично використовуються при побудові моделей у розділах 2 і 3. Включення показників оцінювання ефективності цифрової взаємодії та індикаторів інтеграції у мультиагентне середовище посилило б зв'язок таблиці з концепцією трансформації управлінських парадигм у цифровій економіці. Без такого доповнення між постановкою моделі цифрового працівника у першому розділі та її розгортанням у наступних розділах виникає змістовий розрив, який ускладнює відстеження логіки переходу від концептуального до операційного рівня.

**4. Формули (2.2) та (2.3) на с. 82-83.** Зазначені формули загалом коректно відображають логіку адаптивної поведінки та багатокритеріальної взаємодії агентів, однак супровідний виклад має концептуально-описовий характер. Інтерпретація параметрів моделей подається переважно текстом, без достатнього рівня формалізації умов їх застосування. Доцільне чітке визначення меж практичної інтерпретації змінних та припущень, за яких модель є валідною для трудових агентних систем: характер розподілів випадкових величин, властивості простору станів, тип функції корисності агента. Не менш важливим є посилення зв'язку між математичними виразами та конкретними сценаріями управління командами девелоперського проєкту,

що дозволило б іншому досліднику відтворити модельний експеримент і зіставити отримані результати з описаними у роботі.

**5. Формули (2.5) та (2.6).** Формули адекватно відображають логіку самоорганізації та балансування ролей у агентному середовищі, проте супровідний текст потребує уточнення в частині обґрунтування характеристик самоорганізаційної поведінки. Доцільне чіткіше розкриття механізмів переходу від локальних взаємодій між парами агентів до глобальної узгодженості команди девелоперського проєкту: чи реалізується цей перехід через консенсусні протоколи, агрегацію часткових станів, ринковий механізм аукціонів, чи через інший механізм координації. Окремо варто розширити опис якостей самоорганізації за рахунок включення таких аспектів, як рівень автономності команди, швидкість адаптації до змін завдань і здатність до саморегуляції у кризових ситуаціях. У теперішній редакції перехід від мікрорівня до макрорівня залишається постульованим, а не виведеним з механіки взаємодії агентів.

**6. Формула (3.8) і схема самонавчання агента (рис. 3.7).** У фрагменті, що супроводжує формулу (3.8) та схему самонавчання, недостатньо розкрито взаємозв'язок між інтегрованою функцією ефективності та принципами самонавчання агента. Не показано, яким чином результати навчання агента безпосередньо впливають на зміну вагових коефіцієнтів і параметрів моделі ефективності, та чи передбачено механізм перевірки збіжності процесу навчання. Місце формули (3.8) у загальному інструментарії прийняття рішень потребує конкретизації, щоб уникнути її ізольованого сприйняття. Додатково доцільне посилення опису механізмів зворотного зв'язку між аналітичними панелями та процесом самонавчання: який канал передачі оцінок ефективності у навчальний контур, як часто оновлюються ваги, якою є реакція системи на

суперечливі сигнали від різних аналітичних панелей. Без такого опису цілісність запропонованої моделі залишається на рівні структурної декларації.

**7. Підрозділ 3.3: відсутність наскрізної схеми алгоритму.** У підрозділі 3.3 бракує наскрізної узагальненої схеми алгоритму використання аналітичних і прикладних результатів у складі інструментарію мультиагентного розподілу ресурсів. Відсутнє інтегроване представлення послідовності їх застосування на всіх етапах підготовки та організації циклу девелоперського будівельного проекту. Наявність такої схеми (наприклад, у формі нотації BPMN або розширеної блок-схеми з виділенням точок прийняття рішень, входів і виходів кожного модуля) дозволила б системно відобразити взаємозв'язок між окремими моделями, методами та модулями запропонованого інструментарію. Це підвищило б рівень структурної завершеності викладу та полегшило б практичне сприйняття результатів дослідження фахівцями організацій-впроваджувачів.

**8. Відсутність кількісного зіставлення з базовими методами.** У роботі не наведено систематичного кількісного зіставлення ефективності запропонованих мультиагентних моделей з традиційними детерміністичними методами розподілу трудових ресурсів і з підходами на основі експертних оцінок. Без такого зіставлення утруднена об'єктивізація приросту, який забезпечує запропонований інструментарій. Доцільно представити порівняльні показники щонайменше за такими метриками: час прийняття рішення про перерозподіл ресурсу, точність прогнозу завантаження персоналу (середня абсолютна похибка), рівень відхилення фактичного балансу від планового, чутливість моделі до зміни вагових коефіцієнтів. Така порівняльна таблиця могла б бути винесена у додатки і не потребує переробки основного тексту, проте значно посилила б емпіричну переконливість результатів.

**9. Технічні характеристики програмної реалізації мультиагентної моделі.** У роботі недостатньо розкрито технічну сторону реалізації мультиагентної симуляції: середовище розробки (NetLogo, AnyLogic, Mesa, JADE або інше), параметри експериментів, кількість прогонів імітаційної моделі для статистично значущого результату, метод генерації випадкових збурень. Для технічної дисертації за спеціальністю 192 ця інформація є істотною з огляду на вимогу відтворюваності результатів. На мій погляд, доцільно було б прокоментувати, на якій програмній платформі реалізовано симуляцію та які типові обчислювальні характеристики моделі (час одного прогону, обсяг параметричного простору, ступінь паралелізації).

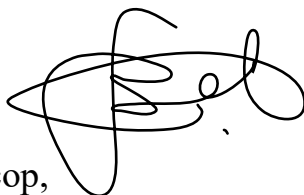
**10. Рекомендації щодо подальших досліджень.** Як перспективні напрями розвитку дослідження доцільно рекомендувати: поглиблення емпіричної верифікації запропонованих мультиагентних моделей на ширшій вибірці будівельних девелоперських проєктів з різним рівнем організаційної зрілості; удосконалення механізмів інтеграції штучного інтелекту та алгоритмів самонавчання агентів у промислові системи управління персоналом з урахуванням галузевої специфіки; розвиток методів кількісної оцінки ефектів цифрової трансформації трудових ресурсів через удосконалення інтегрованих показників ефективності та ризик-менеджменту; розширення дослідження у напрямі міжорганізаційної взаємодії агентних систем у мультипроєктному середовищі будівельного девелопменту.

У цілому дисертаційне дослідження є завершеним, методологічно обґрунтованим і таким, що відповідає сучасним вимогам до наукових робіт рівня доктора філософії, а висловлені зауваження мають переважно рекомендаційний і дискусійний характер та спрямовані на подальше вдосконалення й розширення науково-прикладного потенціалу результатів. Жодне із зауважень не стосується принципів питань, які блокували б

позитивне рішення ради; всі вони відкриті для конструктивного обговорення під час захисту.

**11. Загальний висновок офіційного опонента.** Дисертаційна робота Данілова Сергія Юрійовича є завершеним науковим дослідженням, яке вирішує актуальну прикладну задачу підвищення ефективності управління трудовими ресурсами у будівельних девелоперських проєктах в умовах невизначеності. Робота виконана з дотриманням вимог Порядку присудження ступеня доктора філософії (постанова КМУ від 12.01.2022 р. №44 у редакції постанови КМУ №507 від 03.05.2024 р.) та Наказу МОН України від 12.01.2017 №40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами). За актуальністю, обґрунтованістю, рівнем новизни, теоретичним і практичним значенням, повнотою викладу та оформленням дисертація відповідає вимогам пунктів 5, 6, 7, 8, 9 зазначеного Порядку. Опонент вважає, що Данілов Сергій Юрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

**ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ**



**Василь ДОНЕНКО**

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

*«Підпис д.т.н., професора Доненка В.І. засвідчую»*

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /