

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора кафедри менеджменту Київського національного університету будівництва і архітектури Поколенка Вадима Олеговича на дисертаційну роботу Федорченка Миколи Андрійовича **«Інтелектуальна інформаційна система підтримки вибору альтернатив енергоощадних будівель з використанням штучного інтелекту»**, подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології», галузь знань 12 «Інформаційні технології».

1. Думка рецензента стосовно актуальності теми та предмету дослідження. Актуальність дисертаційної роботи зумовлена зростаючими вимогами до підвищення енергоефективності будівель в умовах глобальних кліматичних змін та нестабільності енергетичних ресурсів. Традиційні підходи до проектування дедалі частіше виявляються недостатньо ефективними, що обумовлює необхідність впровадження інтелектуальних інформаційних технологій. Особливої значущості набуває інтеграція методів штучного інтелекту з BIM-технологіями, що створює передумови для формування цифрових двійників, автоматизації аналізу та реалізації багатокритеріального вибору проектних рішень. У цьому контексті розробка інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень є своєчасною та практично орієнтованою, зокрема для умов України.

2. Відповідність змісту дослідження паспорту спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології». Згідно з паспортом спеціальності 126, об'єктами дослідження є процеси створення, впровадження та використання інформаційних систем і технологій, зокрема інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, систем обробки даних, а також методів штучного інтелекту. У поданому дослідженні: розглядаються інформаційні технології як основний інструмент підтримки проектних рішень; застосовуються методи штучного інтелекту, що прямо входить до сучасних напрямів спеціальності 126; досліджується система підтримки прийняття рішень, яка є класичним об'єктом цієї спеціальності; передбачається створення інтелектуальної інформаційної системи, що відповідає напряму розробки та дослідження складних ІС. Предмет дослідження в роботі — методи та засоби застосування інформаційних технологій та штучного інтелекту в системі ухвалення проектних рішень щодо енергоощадних об'єктів будівництва — повністю відповідає змісту спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» та її паспорту. Водночас предмет дослідження має прикладну галузь — будівництво та енергоефективність, однак це не суперечить спеціальності 126, оскільки: спеціальність є

міжгалузевою і допускає застосування ІТ у різних предметних областях; ключовим залишається саме розроблення методів, моделей, алгоритмів і інформаційних систем, а не будівельні процеси як такі. Актуальність, наведена у вступі, додатково підсилює відповідність спеціальності, оскільки акцентує на: розробці інтелектуальних інформаційних систем; використанні ВІМ-технологій та цифрових двійників; реалізації багатокритеріального вибору рішень; переході до адаптивних і самонавчальних систем. Усі вищезазначені аспекти безпосередньо належать до сучасних дослідницьких напрямів спеціальності 126. Отже, на думку рецензента, зміст дослідження відповідає паспорту спеціальності 126, узгоджується з її науковими напрямами (інформаційні системи, ІІІ, DSS, цифрові технології) та включає чітко виражену ІТ-складову, що є визначальною для цієї спеціальності.

3. Використане методичне підґрунтя дослідження. Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових результатів. До ключових складових методичного підґрунтя належать: загальнонаукова методологічна база, що включає системний та структурно-функціональний аналіз, методи абстрагування, узагальнення, індукції та дедукції, формалізації й моделювання, які забезпечують концептуальну цілісність дослідження, обґрунтування постановки задач і логічну узгодженість отриманих результатів. Спеціальні методи математичного та імітаційного моделювання, зокрема теплотехнічне моделювання, гібридні фізико-математичні моделі теплопередачі та імітаційне моделювання енергоефективних процесів, що дозволяють адекватно описувати поведінку об'єктів дослідження та оцінювати їх енергетичні характеристики. Методи багатокритеріального аналізу та оптимізації рішень, включаючи АНР, TOPSIS, еволюційні алгоритми (PSO, NSGA-II), які забезпечують обґрунтований вибір найефективніших проєктних альтернатив за сукупністю техніко-економічних і енергетичних критеріїв. Методи штучного інтелекту та інтелектуального аналізу даних, зокрема глибокі нейронні мережі (DNN, LSTM, GRU), ансамблеві методи (Gradient Boosting, Random Forest), SVM, навчання з підкріпленням (RL), а також методи кластеризації (K-Means) і зниження розмірності (PCA), що забезпечують побудову адаптивних моделей прогнозування та підтримки прийняття рішень. Методи роботи з невизначеністю та знаннями, включаючи нечітку логіку, Байєсові мережі та експертні rule-based системи, які дозволяють формалізувати експертні знання та враховувати неповноту й нечіткість вихідної інформації. Інформаційно-технологічна база дослідження, що охоплює ВІМ-моделювання, цифрові двійники (Digital Twin), інтеграцію з енергетичними симуляторами, IoT-інфраструктуру, хмарні обчислення, мікросервісну архітектуру, бази даних і

геоінформаційні компоненти, що відповідає сучасним підходам до побудови інформаційних систем у межах спеціальності 126. Методи підтримки прийняття рішень та аналітичні інструменти, зокрема DSS-модулі, сценарний аналіз, ризик-аналіз і сучасні засоби візуалізації даних, які забезпечують інтерпретацію результатів моделювання та їх практичне використання у процесі проєктування енергоефективних об'єктів.

На думку рецензента, *методичне підґрунтя дослідження є комплексним, міждисциплінарним та відповідає сучасним науковим підходам у галузі інформаційних систем і технологій*, поєднуючи класичні методи аналізу з новітніми інструментами штучного інтелекту та цифрового моделювання, що забезпечує *високий рівень обґрунтованості та достовірності отриманих результатів*.

Основні положення дисертації пройшли належну апробацію та відображені у фахових наукових публікаціях, у тому числі у виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах. Результати дослідження доповідалися на міжнародних конференціях та отримали позитивну оцінку наукової спільноти, що свідчить про їх достовірність і відповідність сучасному рівню розвитку інформаційних технологій.

4. Оцінка рецензентом рівня наукової новизни результатів дисертації. На думку рецензента, наукова новизна дисертаційного дослідження полягає у формуванні цілісного цифрового аналітичного простору та розробленні прикладного інструментарію підтримки прийняття рішень щодо вибору енергоощадних будівель на основі інтеграції технологій штучного інтелекту, BIM та інтелектуальних інформаційних систем. У межах цього підходу автором вперше обґрунтовано та реалізовано інтелектуальну інформаційну систему керування процесами забезпечення енергоефективності, у якій BIM-середовище виступає інтеграційною платформою єдиного цифрового простору, а підсистема штучного інтелекту — аналітичним ядром підтримки рішень. Також вперше запропоновано адаптивний метод багатокритеріального вибору архітектурно-інженерних рішень, що поєднує алгоритми нечіткої логіки, нейронні мережі та метод опорних векторів, забезпечуючи ефективне прийняття рішень в умовах багатофакторної невизначеності. Розроблені рішення формують нову парадигму когнітивно-керованого проєктування, орієнтовану на поєднання енергетичних, техніко-економічних і експлуатаційних критеріїв.

Подальший розвиток наукових положень відображено через результати, що деталізовані за рубриками «удосконалено» та «набули подальшого розвитку». Зокрема, удосконалено інструментарій візуалізації енергетичних моделей і структуру цифрового аналітичного простору як інтегрованого

середовища взаємодії BIM-моделей, алгоритмів штучного інтелекту, енергомоніторингу та систем підтримки рішень. Розвинуто підхід до інтеграції теплотехнічного моделювання у BIM-середовище із застосуванням геопросторових даних і синхронізацією параметрів у реальному часі. Набули подальшого розвитку концептуальні засади формалізації простору енергоефективного проєктування з урахуванням кліматичних сценаріїв і ризиків, а також науково-прикладні підходи до автоматизованого виявлення енергетичних загроз на основі аналізу потокових IoT-даних і методів інтелектуальної класифікації, що підвищує точність прогнозування та надійність прийнятих рішень.

5. Висновок рецензента щодо теоретичної та практичної цінності результатів дисертації. Теоретична цінність дисертаційної роботи Федорченка М.А. полягає у поглибленні науково-методичних засад спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» через формування цілісної концепції інтелектуалізації процесів проєктування енергоефективних будівель. У результаті дослідження сформовано комплексну науково-методичну та аналітичну основу побудови інтелектуальних інформаційних систем енергоефективного проєктування, що поєднує концептуальні, модельні та прикладні аспекти в єдиному цифровому середовищі. Робота інтегрує методи штучного інтелекту, глибинного навчання, нечіткої логіки та еволюційних алгоритмів у BIM-середовище, формуючи підґрунтя когнітивно-керованого проєктування. Теоретично обґрунтовано системні принципи побудови мікросервісної архітектури, організації даних і формалізованого адміністрування параметрів енергоефективності як складових сучасних інформаційних систем. Вагомий внесок у розвиток науково-методичного базису спеціальності 126 полягає у розширенні підходів до побудови інтегрованих цифрових платформ, у межах яких забезпечується узгоджена взаємодія даних, моделей і механізмів підтримки рішень, а також у розвитку адаптивних моделей багатокритеріального вибору, орієнтованих на самонавчання та прогнозування. Подальшого наукового оновлення зазнали та набули розвитку теоретичні засади формування інтерактивного аналітичного простору, що інтегрує результати моделювання, інтелектуального аналізу та моніторингу, а також підходи до інтеграції теплотехнічного моделювання у BIM-середовище в межах концепції цифрового двійника. Розвинено положення щодо формалізації простору проєктування на основі багатопараметричних моделей, які враховують динаміку внутрішніх і зовнішніх факторів та забезпечують адаптацію до змін умов функціонування. Сукупність отриманих результатів формує багаторівневу теоретичну конструкцію, що охоплює концептуальний, модельний і прикладний рівні та

забезпечує перехід до комплексних інформаційних технологій підтримки життєвого циклу будівель.

На думку рецензента, *практична цінність отриманих результатів* полягає у їх безпосередньому впровадженні в освітній процес та професійну підготовку фахівців у сфері інформаційних технологій і автоматизації, де вони використовуються як сучасна методична та програмно-аналітична база. Розроблені моделі, алгоритми та інтелектуальна система забезпечують формування прикладних компетентностей у галузі цифрового проєктування, енергомодельовання та підтримки прийняття рішень. Їх застосування сприяє підвищенню якості навчання та інтеграції актуальних ІТ-рішень у професійну підготовку. Водночас результати мають універсальний характер і можуть бути використані у проєктній, аналітичній та управлінській діяльності в галузі енергоефективного будівництва. Це підтверджує їх прикладну значущість і готовність до широкого впровадження. Практичне впровадження результатів дисертації у діяльність профільних організацій та практику енергоощадного будівництва засвідчило їх ефективність, зокрема забезпечило скорочення термінів проєктного та передінвестиційного аналізу, підвищення точності прогнозування енергетичних характеристик, зниження ризиків прийняття неефективних рішень та покращення якості обґрунтування проєктно-інвестиційних рішень.

6. Думка рецензента стосовно належності рівня апробації дослідження та висвітлення його результатів в друкованих працях. Основні результати дисертаційного дослідження Федорченка М.А. повною мірою відображені у наукових публікаціях здобувача. Опубліковані праці відповідають встановленим вимогам до наукових видань, містять науково обґрунтовані положення та результати дослідження, а також чітко окреслюють особистий внесок автора в розроблення запропонованих підходів і методів. Рівень апробації отриманих результатів є достатнім, що підтверджується їх представленням на наукових конференціях і відповідає чинним вимогам до дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії.

7 Оцінка змісту та структури дисертації. Структура та обсяг дисертаційної роботи повністю відповідають вимогам кваліфікаційних стандартів для здобуття наукового ступеня "доктор філософії" за спеціальністю 126. Всі розділи дослідження мають логічну послідовність і охоплюють всі необхідні аспекти теми. Робота включає теоретичні та практичні дослідження, що поєднують систематизацію інформаційних технологій, розробку методичних підходів та функціональних компонентів, а також аналітичні моделі для оцінювання енергоефективності будівель. Усі

розділи мають чітку структуру і достатній обсяг для повного висвітлення теми, що відповідає вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

8. Зауваження, дискусійні положення та рекомендації щодо подальшого вдосконалення дослідження.

8.1. У розділі 1 достатньо детально висвітлені основні можливості BIM-технологій та їх інтеграція з іншими IT-компонентами, однак є потреба в глибшому розгляді аспектів адаптації таких систем до специфічних умов будівельних проєктів в Україні, зокрема з урахуванням локальних кліматичних та нормативних особливостей. Крім того, наукова гіпотеза про інтеграцію BIM та III для адаптивного вибору проєктних альтернатив є актуальною та перспективною, але для більш чіткого формулювання задач дослідження необхідно додати уточнення щодо конкретних інструментів і методів, які будуть використані в реалізації цієї інтеграції, а також визначити потенційні труднощі впровадження таких технологій у реальних умовах будівництва.

8.2. Зауваження та рекомендації стосовно змісту досліджень другого розділу. У контексті другого розділу роботи, який стосується нейтралізації загроз енергоефективності будівель, варто поглибити розгляд специфічних стратегій мінімізації впливу екстремальних погодних умов, змін клімату та аномалій у поведінці користувачів. Рекомендується також дослідити подальшу інтеграцію технологій BIM, IoT, штучного інтелекту та машинного навчання для створення синергії, яка підвищить енергоефективність і комфорт користувачів. Важливо зосередитися на визначенні чітких критеріїв ефективності таких систем, що враховують технічні та економічні аспекти, а також вплив на екологічну стійкість і користувацький комфорт будівель.

8.3. У розділі 3 «Аналітико-прикладне забезпечення та спрямування III на вибір варіантів енергоефективності будівель» наведено важливі науково-прикладні підходи до розв'язання задач енергоефективності з використанням штучного інтелекту. Проте виявляється потреба в уточненні того, як саме окремі результати та розрахункові індикатори, представлені в пунктах 3.4, впливають на загальний контекст розвитку інформаційних систем для енергоефективного проєктування. Окрім того, у висновках до 3 розділу слід конкретизувати, яким чином отримані науково-аналізовані результати вплинули на формування провідних результатів, зокрема щодо застосування алгоритмів III для прогнозування і досягнення бажаного енергоефективного стану будівель. Однак це зауваження спростовується наданою автором розширеною деталізацією компонент новизни в п. 3.5.

8.4. До значних науково-прикладних переваг даного дослідження слід віднести зроблену автором у 4 розділі інтеграцію результатів енергетичного моделювання та прогнозування в цифровий інструментарій управління енергоефективністю. Такий інструментарій та вмонтовані в його склад компоненти ІТ дозволяють зібрати та аналізувати дані в єдиній інтегрованій системі, що включає BIM-моделювання, IoT-сенсори, енергетичні модулі та алгоритми штучного інтелекту. Рецензент висловлює надію на подальший успішний розвиток та впровадження результатів дисертаційного дослідження, зокрема у сфері інтеграції інноваційних інформаційних технологій в процесі проектування енергоефективних будівель. Для досягнення максимального ефекту він пропонує окремо виокремити наявні підсистеми, які складають інструментарій для підтримки прийняття рішень:

- BIM-модель — інтегрує геометричні та структурні дані з енергетичними показниками будівлі.
- Data Lake (енергодані) — функціонує як центральне сховище для збору та аналізу енергетичних, сенсорних та кліматичних даних.
- IoT-шлюзи — забезпечують реальний моніторинг стану будівлі через сенсори, що відслідковують параметри мікроклімату.
- AI-модулі — здійснюють глибокий аналіз трендів та прогнозування енергоспоживання на основі великої кількості даних.
- Модулі індексації — проводять розрахунки показників ефективності будівель на основі визначених критеріїв.
- Візуалізація (UI/UX) — забезпечує інтуїтивно зрозуміле представлення результатів через інтерактивні дашборди, теплові карти та 3D-моделі.

Ці шість підсистем утворюють потужну та скоординовану екосистему, яка не лише забезпечує точний вибір енергоефективних рішень, але й дозволяє здійснювати постійний моніторинг та оперативну оптимізацію в реальному часі. Використання інтерактивних візуалізаційних інструментів, таких як дашборди та цифрові двійники, дозволяє всім учасникам процесу (архітекторам, інженерам, інвесторам) ефективно і швидко приймати обґрунтовані рішення, що сприяє зниженню ризиків, поліпшенню планування та досягненню високих стандартів енергоефективності будівель.

Зауваження, викладені у рецензії, не впливають на загальну позитивну думку щодо відповідності дисертаційної роботи Федорченка М.А. вимогам для присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

Загальний висновок рецензента. Дисертаційна робота Федорченка М.А. на тему «Інтелектуальна інформаційна система підтримки вибору

альтернатив енергоощадних будівель з використанням штучного інтелекту» є повністю завершеним науковим дослідженням, виконаним на високому професійному рівні, і не порушує принципів академічної доброчесності. Отримані в результаті роботи результати є новими, відповідають поставленим цілям і завданням, мають як теоретичне, так і практичне значення. Всі висловлені зауваження орієнтовані на перспективу подальших науково-практичних розробок і не знижують значущості отриманих результатів.

Дисертація повністю відповідає вимогам, встановленим для дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня «доктора філософії» у галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології», а також вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 (з урахуванням змін, внесених Наказом Міністерства освіти і науки України від 31.05.2019 р. № 759). Дисертація також відповідає вимогам «Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (у редакції Постанови Кабінету Міністрів України від 03 травня 2024 р. № 507). З огляду на це, автор дисертаційного дослідження, Федорченко Микола Андрійович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань «Інформаційні технології» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

РЕЦЕНЗЕНТ

доктор технічних наук, професор
професор кафедри менеджменту
Київського національного університету
будівництва і архітектури


Вадим ПОКОЛЕНКО

Підпис проф. Поколенка В.О. засвідчую
Секретар Вченої ради КНУБА




Микола КЛИМЕНКО