РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора,
завідувачки кафедри інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури **Гончаренко Тетяни Андріївни** на дисертаційну роботу **Тисленка Олександра Борисовича** на тему:
«Концептуально-структурне моделювання та реалізація інтелектуальних систем моніторингу технічної стійкості будівель» на здобуття наукового ступеня «доктор філософії» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології»

Актуальність дослідження. Проблематика забезпечення технічної стійкості будівель набуває принципово іншого змісту в умовах активного впровадження інтелектуальних інформаційних технологій у процеси експлуатаційного контролю. Накопичення значних масивів сенсорних даних, розширення можливостей цифрового моделювання та розвиток засобів нейромережевого аналізу формують передумови для переходу від періодичної фіксації окремих показників до безперервного інформаційного супроводу технічного стану об’єкта. Водночас практична реалізація такого переходу потребує належного концептуального та структурного опрацювання систем, здатних не лише акумулювати різнорідні дані, але й установлювати приховані взаємозв’язки між змінами контрольованих параметрів, ідентифікувати небезпечні тенденції та формувати прогнозні оцінки подальшої зміни стану конструктивних елементів. В цьому проблемному полі виконано дисертаційну роботу Тисленка О. Б. Її зміст зосереджено на концептуально-структурному моделюванні та реалізації інтелектуальних систем моніторингу технічної стійкості будівель, що визначає безпосередній зв’язок поставлених завдань із розвитком сучасних інформаційних систем і технологій. Обраний здобувачем напрям передбачає формування не окремого діагностичного інструментарію, а цілісного інформаційного середовища, у якому процеси отримання, передавання, накопичення та інтелектуального опрацювання даних підпорядковані єдиній логіці оцінювання і прогнозування технічного стану об’єкта.

Змістовно актуальність роботи розкривається через необхідність подолання обмежень традиційних підходів до моніторингу, передусім їх недостатньої здатності враховувати часову динаміку контрольованих параметрів, нелінійний характер розвитку деградаційних процесів та зміну умов експлуатації. Тисленко О.Б. розглядає технічний стан будівлі як динамічний об’єкт інформаційного аналізу, для якого принципове значення має не лише встановлення фактичного стану на визначений момент часу, а й своєчасне розпізнавання переходу до передкритичних і аварійних станів. Такий ракурс постановки завдання закономірно зумовив звернення автора до нейромережевих технологій, засобів прогнозного аналізу та адаптивного коригування параметрів моделей.

Актуальність теми дисертації Тисленка О.Б. визначається не декларативним зверненням до сучасних цифрових технологій, а конкретною науковою потребою у формуванні нових принципів організації інформаційного моніторингу технічної стійкості будівель. Запропонований напрям орієнтований на перехід від фрагментарної діагностики до інтелектуалізованого прогнозно-аналітичного середовища, спроможного працювати з часовими послідовностями даних, ризиковими характеристиками та змінними умовами експлуатації. Запропонована постановка визначає своєчасність виконаної роботи та її значущість для подальшого розвитку інтелектуальних інформаційних систем моніторингу складних технічних об’єктів.

Ступінь обґрунтованості наукових результатів, сформульованих в роботі, їх наукова новизна. Наукові результати, представлені в дисертації Тисленка О.Б., сформовані в межах послідовно вибудуваної дослідницької логіки, що охоплює концептуальний, структурно-функціональний, модельно-алгоритмічний та прикладний рівні розв’язання поставленої проблеми. Визначені у вступній частині мета і завдання знаходять подальше розкриття у відповідних структурних компонентах роботи, а сформульовані висновки спираються на результати, отримані під час розроблення моделей, методів та засобів реалізації інтелектуальної системи моніторингу. Така побудова забезпечує змістову

узгодженість між постановкою наукової проблеми та кінцевими результатами її розв’язання.

Доказова основа дисертації сформована із застосуванням математичних, статистичних та інформаційно-аналітичних методів, методів структурної діагностики, скінченно-елементного аналізу й адаптивних алгоритмів. Вибір відповідного інструментарію зумовлений характером завдань, пов’язаних із необхідністю опрацювання різнорідних даних, установлення динаміки зміни параметрів технічного стану, розпізнавання характерних станів об’єкта та прогнозування розвитку деградаційних процесів. Автор не обмежується застосуванням одного класу методів, а формує їх взаємопов’язане використання відповідно до функціональної структури розроблюваної інформаційної системи.

Суттєвою рисою роботи є послідовне доведення запропонованих положень від концептуальної моделі до алгоритмічного та архітектурного рівня. Зокрема, розроблена CNN-LSTM-Risk модель використовується для розпізнавання і класифікації технічного стану будівель із представленням відповідних станів у просторі Latent Safety Space. Важливим у цьому рішенні є поєднання аналізу часової динаміки параметрів із формуванням інтегрального профілю ризику та врахуванням характеристик експлуатаційного середовища. За рахунок цього задача класифікації виходить за межі статичного віднесення об’єкта до певної категорії стану й набуває характеру комплексного інтелектуального аналізу його поточного та потенційно небезпечного розвитку.

Обґрунтованість отриманих результатів посилюється розробленням засобів прогнозування нелінійних деградаційних процесів із використанням механізмів self-attention. У структурі запропонованого підходу це має принципове значення, оскільки дає змогу враховувати нерівномірну інформаційну значущість окремих фрагментів часових послідовностей. Із цим положенням безпосередньо пов’язаний метод контекстно-адаптивного оновлення параметрів CNN-LSTM-Risk моделі, за яким коригування вагових коефіцієнтів здійснюється з урахуванням інтегрального профілю ризику та фактичних умов експлуатації об’єкта. У сукупності зазначені рішення формують взаємопов’язаний модельно-

алгоритмічний комплекс, а не набір автономних методів, механічно об’єднаних спільною предметною областю.

Переконливість сформульованих положень визначається також тим, що авторська концепція отримала продовження на рівні архітектурної та модельної інтеграції програмно-апаратних рішень. Об’єднання в симуляційних моделях сенсорних потоків, цифрових двійників, експлуатаційних даних та нейромережевої аналітики дозволило надати запропонованим підходам функціонального завершення в межах єдиного інформаційного середовища. Завдяки цьому між теоретичними положеннями, алгоритмічними рішеннями та їх симульованою прикладною реалізацією простежується безпосередній змістовий зв’язок.

Ступінь обґрунтованості наукових результатів дисертації можна оцінити як достатньо високий. Основні положення сформульовано на основі послідовного розв’язання поставлених завдань, а їх новизна простежується у розвитку концептуально-структурного підходу до побудови інтелектуальних систем моніторингу, розробленні CNN-LSTM-Risk моделі, використанні простору Latent Safety Space, поєднанні нейромережевого аналізу з інтегральним профілем ризику, застосуванні механізмів self-attention та контекстно-адаптивного оновлення параметрів моделі. Сукупність цих положень формує завершену авторську логіку побудови інтелектуальної системи моніторингу технічної стійкості будівель і підтверджує відповідність одержаних результатів характеру та рівню поставлених наукових завдань.

Наукова новизна отриманих автором результатів. Наукова новизна дисертації Тисленка О.Б. Наукова новизна дисертації Тисленка О.Б. має комплексний характер та охоплює концептуальний, модельний і алгоритмічний рівні побудови інтелектуальних систем моніторингу технічної стійкості будівель. Важливою особливістю авторського доробку є поєднання процесів діагностування, прогнозування та ризик-орієнтованого оцінювання в межах єдиного інформаційно-аналітичного середовища, здатного враховувати динамічний характер зміни технічного стану об’єкта.

Одним із вагомих результатів є розроблена CNN-LSTM-Risk модель прогнозування та класифікації технічного стану будівель, яка поєднує результати просторового аналізу пошкоджень, часової динаміки деградаційних процесів та інтегрального профілю ризику. Класифікація технічного стану здійснюється у просторі Latent Safety Space з урахуванням характеристик експлуатаційного середовища, що забезпечує можливість виявлення передкритичних і аварійних станів та розширює функціональні можливості прогнозно-орієнтованого моніторингу.

Науковий доробок автора доповнюється розвитком підходів до моделювання нелінійної динаміки деградаційних процесів із використанням механізмів self-attention та розробленням методу контекстно-адаптивного оновлення параметрів CNN-LSTM-Risk моделі. Коригування параметрів відповідно до інтегрального профілю ризику та фактичних умов експлуатації надає системі здатності адаптуватися до зміни інформаційного контексту моніторингу. Окремої позитивної оцінки заслуговує розроблена цілісна архітектура прогнозного моніторингу, що поєднує сенсорні потоки, цифрові моделі та засоби нейромережевої аналітики. Сукупність отриманих результатів характеризується внутрішньою узгодженістю та формує завершений модельно-алгоритмічний базис інтелектуального моніторингу технічної стійкості будівель.

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів. Значення отриманих результатів полягає в розвитку наукових засад побудови інтелектуальних інформаційних систем моніторингу складних технічних об’єктів. Запропонований автором підхід розширює можливості інформаційного супроводу технічного стану будівель шляхом взаємопов’язаного використання засобів аналізу просторово-часових даних, прогнозування деградаційних процесів, оцінювання ризиків та адаптивного коригування параметрів моделей. Теоретичну цінність мають також сформовані принципи інтеграції різнорідних даних і аналітичних компонентів у межах єдиного цифрового середовища моніторингу.

Результатом є розвиток підходів до опрацювання гетерогенних даних про технічний стан конструкцій із використанням математичних, статистичних, чисельних та нейромережевих методів. Поєднання відповідного інструментарію створює наукове підґрунтя для переходу від фіксації поточних параметрів до прогнозного оцінювання розвитку небезпечних станів в умовах неповноти інформації та зміни експлуатаційного середовища. Практичне значення одержаних результатів визначається доведенням основних теоретичних і модельних положень до рівня архітектурного й алгоритмічного рішення. Розроблена концепція інформаційної платформи пропонує інтеграцію сенсорних потоків, цифрових моделей, експлуатаційних даних і нейромережевих алгоритмів у спільному середовищі збору, оброблення та інтерпретації моніторингової інформації. Запропоновані рішення орієнтовані на автоматизоване виявлення дефектів і небезпечних змін, оцінювання ризиків та прогнозування подальшої динаміки технічного стану конструкцій. Модельна та імітаційна реалізація розроблених алгоритмів підтверджує можливість їх використання як основи для створення інтелектуалізованих систем прогнозного моніторингу та підтримки прийняття рішень щодо технічного стану будівель.

Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях. Основні наукові положення та результати дисертаційної роботи Тисленка О.Б. знайшли належне відображення в опублікованих працях автора. Тематика публікацій послідовно охоплює ключові складові дисертаційного дослідження — від формування концептуальних засад інформаційних систем безпечної експлуатації будівель і розроблення архітектури систем діагностування до методів виявлення пошкоджень, прогнозування надійності, цифрового контролю структурної надійності та програмно-технічного планування відповідних рішень. Зміст публікацій узгоджується з логікою дисертації та відображає результати, отримані на різних етапах розв’язання поставлених наукових завдань. У працях автора представлено положення щодо інтелектуального діагностування технічного стану, побудови інформаційних систем моніторингу, застосування цифрових технологій для оцінювання структурної надійності та проєктування

програмно-технічних комплексів діагностики. Окремі публікації присвячені питанням прогнозування надійності конструктивних рішень і розвитку механізмів забезпечення експлуатаційної безпеки будівель, що відповідає прогнозно-аналітичній спрямованості дисертаційної роботи. Представлений перелік наукових праць дає підстави вважати, що основні результати дисертації пройшли необхідну апробацію та достатньою мірою висвітлені в публікаціях здобувача. Змістова відповідність опублікованих матеріалів основним положенням роботи підтверджує послідовність формування авторського наукового доробку та належний рівень оприлюднення результатів, винесених на захист.

Структура і зміст дисертації. Структура дисертаційної роботи здобувача Тисленка О.Б. підпорядкована поставленій меті та логіці розв'язання визначених наукових завдань. Послідовність викладення матеріалу забезпечує поступовий перехід від формування теоретико-концептуального підґрунтя інтелектуального моніторингу до розроблення моделей, методів, алгоритмічних рішень та їх подальшого імітаційного дослідження. Основний зміст дисертації структуровано за чотирма розділами, кожен із яких має самостійне наукове призначення та водночас є складовою загальної логіки роботи. У першому розділі сформовано концептуальні засади побудови інформаційних систем моніторингу технічного стану будівель, розглянуто відповідні методи діагностики та інформаційно-технологічні передумови їх розвитку. Значну увагу приділено питанням інтеграції різнорідних даних та формуванню інформаційної основи для подальшої інтелектуалізації процесів моніторингу. Другий розділ розвиває аналітичний і модельний апарат оцінювання та прогнозування технічного стану конструкцій. Його зміст пов'язаний із математичними, статистичними та чисельними методами, моделюванням деградаційних процесів, оцінюванням залишкового ресурсу й формуванням відповідних прогнозних процедур. Це створює необхідний перехід від концептуальної постановки проблеми до її формалізованого розв'язання. У третьому розділі основну увагу зосереджено на інтелектуальних і нейромережевих технологіях моніторингу, зокрема на розробленні CNN-LSTM-Risk моделі, використанні простору Latent Safety Space,

механізмів self-attention та контекстно-адаптивного оновлення параметрів. Саме цей блок роботи концентрує основну частину авторських модельно-алгоритмічних результатів, пов’язаних із розпізнаванням, класифікацією та прогнозуванням технічного стану будівель. Четвертий розділ спрямований на перевірку сформованих положень у межах модельованого програмно-апаратного середовища моніторингу. У ньому розкриваються питання об’єднання сенсорних потоків, цифрових моделей, експлуатаційних даних та інтелектуальної аналітики, а також результати експериментальної апробації запропонованих рішень за допомогою імітаційного моделювання на синтетичних даних.

Зміст розділів і підрозділів характеризується логічною взаємопов’язаністю: результати концептуального рівня одержують розвиток у модельно-аналітичному апараті, на основі якого формуються інтелектуальні алгоритми та засоби їх архітектурної реалізації. Висновки до розділів відображають основні результати відповідних етапів роботи, а загальні висновки узгоджуються з поставленими завданнями та змістом одержаних автором наукових результатів. Така структура забезпечує цілісність дисертації та належну послідовність викладення матеріалу..

Дискусійні положення та зауваження до дисертації.

Загальна позитивна оцінка дисертаційної роботи Загальна позитивна оцінка дисертаційної роботи Тисленка О.Б. не виключає наявності окремих положень, які мають дискусійний або редакційно-уточнювальний характер та можуть бути враховані автором у подальшому розвитку одержаних результатів.

1. У науковій новизні про розвиток методів побудови нейромережевих моделей для задач прогнозної діагностики технічного стану будівельних конструкцій вказано на «інтеграцію CNN, RNN, LSTM, GRU та трансформерних архітектур як єдиного інструментарію» для аналізу просторово-часових даних. Одночасне поєднання такої кількості різних за принципом дії і складністю архітектур виглядає надлишковим. Це потребує додаткового обґрунтування щодо їх обчислювальної складності та апаратної доцільності, особливо враховуючи інтеграцію з IoT-сенсорами та заявлений час інференсу 1,49 мс.

2. У розділі 2 (стор. 65) вказується, що "Оскільки той самий символ у літературі з надійності вживають у різних значеннях, у межах розділу прийнято єдину систему позначень...". Незважаючи на це пояснення, зустрічаються неточності, наприклад, у поясненнях до формули (2.19) автор пише: "...цю величину раніше позначали D(t), що суперечило означенню ступеня пошкодження". Такі коментарі про попередні позначення всередині тексту, що пояснює формули, погіршують сприйняття математичного апарату. Їх варто було б перенести у виноски або взагалі прибрати. Також для уникнення неоднозначності та плутанини в оформленні математичних формул доцільно було б чіткіше візуально розмежовувати основні латинські літери та їхні підрядкові чи надрядкові індекси.

3. На рис. 4.11 «Авторська CNN-LSTM-Risk архітектура кількісного аналізу комплексної безпеки будівель» (с. 223) представлено одну з ключових авторських розробок дисертації. Водночас графічне подання архітектури доцільно було б доповнити чіткішим візуальним розмежуванням вхідного масиву даних, проміжних результатів CNN- і LSTM-блоків та ризик-аналітичного сегмента. Таке уточнення полегшило б сприйняття послідовності трансформації даних і місця інтегрального профілю ризику RtR_tRt у загальній структурі моделі.

4. У підрозділі 4.3 «Методи та алгоритми навчання CNN-LSTM-Risk моделі» (с. 228–237) математична формалізація процесу навчання містить систему взаємопов’язаних залежностей і параметрів моделі. Доцільним видається після відповідного блоку формул додатково подати компактну таблицю з узагальненням основних гіперпараметрів, їх функціонального призначення та меж налаштування. Це зробило б алгоритм навчання більш наочним для практичного відтворення без необхідності змінювати запропонований автором математичний апарат.

5. У підрозділі 4.4 «Метод розпізнавання та класифікації технічного стану будівель на основі CNN-LSTM-Risk моделі» (с. 238–266) значну увагу приділено класифікації станів у просторі Latent Safety Space. Для посилення наочності викладення доцільно було б доповнити відповідні рисунки цього

підрозділу єдиною уніфікованою легендою класів технічного стану та чіткіше позначити межі переходу між безпечними, передкритичними і критичними областями. Зауваження стосується передусім способу графічного представлення отриманих результатів і не ставить під сумнів запропонований автором метод класифікації.

6. У роботі представлено значний графічний матеріал — 45 таблиць і 68 рисунків, що загалом позитивно характеризує рівень візуального й аналітичного опрацювання результатів. Водночас окремі схеми, особливо у третьому та четвертому розділах, відрізняються за принципами графічного оформлення і деталізацією інформаційних зв'язків. Доцільною була б додаткова уніфікація умовних позначень, типів стрілок, назв інформаційних потоків і рівнів архітектури на рисунках, пов'язаних із програмно-апаратною моделлю та CNN-LSTM-Risk архітектурою. Це зауваження має виключно редакційно-графічний характер.

Наведені зауваження мають переважно уточнювальний, редакційний та рекомендаційний характер, не впливають на достовірність основних наукових положень і результатів дисертаційної роботи та не знижують її загальної позитивної оцінки.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам. Дисертаційна робота Тисленка Олександра Борисовича на тему «Концептуально-структурне моделювання та реалізація інтелектуальних систем моніторингу технічної стійкості будівель» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій розв'язано комплекс взаємопов'язаних наукових і прикладних завдань щодо створення інтелектуальних інформаційних систем моніторингу, діагностування та прогнозування технічного стану будівель. Поставлена мета відповідає змісту виконаної роботи, сформульовані завдання послідовно розкриті у відповідних розділах, а одержані результати характеризуються належним ступенем обґрунтованості, науковою новизною та практичною спрямованістю. Представлені автором концептуально-структурні положення, аналітичні та прогностичні моделі, методи інтелектуального опрацювання даних, CNN-LSTM-

Risk модель, засоби контекстно-адаптивного оновлення її параметрів та архітектурні програмно-апаратні рішення становлять цілісний науковий результат у предметній області інформаційних систем і технологій. Основні результати роботи достатньо висвітлені у наукових публікаціях здобувача та пройшли відповідну апробацію. Структура дисертації логічно відповідає послідовності розв'язання поставлених завдань, а висловлені зауваження мають уточнювальний і редакційний характер та не впливають на загальну наукову цінність одержаних результатів. Дисертація відповідає вимогам до оформлення дисертацій, які затверджені наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40 (зі змінами, внесеними відповідно до наказу МОН України від 31.05.2019 № 759), і «Порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (у редакції постанови КМУ від 03 квітня 2024 р. № 507).

Таким чином, за змістом, структурою, рівнем наукової новизни, теоретичним і практичним значенням одержаних результатів дисертаційна робота Тисленка О.Б. відповідає вимогам, установленим до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії, а її автор, Тисленко Олександр Борисович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

Офіційний рецензент,
завідувачка кафедри інформаційних технологій
Київського національного університету
будівництва і архітектури
доктор технічних наук, професор Тетяна ГОНЧАРЕНКО

Підпис Гончаренко завіряє
Начальник ВК Л. Кучай
ВІДДІЛ КАДРІВ