

РЕЦЕНЗІЯ

д.т.н., професора Поколенка В.О. на дисертаційну роботу Бикова Сергія Володимировича на здобуття наукового ступеня «доктор філософії» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» на тему: «Інформаційна технологія оцінки технічного стану об'єктів будівництва в умовах невизначеності із застосуванням методики кластеризації»

Актуальність теми дисертації. Оцінювання технічного стану будівель і споруд дедалі більше залежить від якості оброблення різнорідних, неповних і нечітких даних. Інформація формується на основі інструментальних вимірювань, експертних оцінок, результатів обстежень та цифрових моделей, що ускладнює застосування традиційних методів класифікації.

Розроблення інформаційної технології, яка поєднує нечітку кластеризацію, інтервальні нечіткі множини другого типу, генетичну оптимізацію та мікросервісну архітектуру, відповідає сучасним потребам технічного моніторингу. Запропонований підхід спрямований на підвищення точності, адаптивності та відтворюваності оцінювання технічного стану об'єктів будівництва. Отже, тема дисертації є актуальною, своєчасною та має вагоме значення для розвитку інформаційних систем технічного моніторингу й підтримки прийняття інженерних рішень.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі. Представлені у дисертаційній роботі наукові положення ґрунтуються на комплексному використанні сучасних методів математичного моделювання, нечіткої логіки, кластерного аналізу, генетичної оптимізації та програмної інженерії. Побудова дослідження характеризується логічною послідовністю: від аналізу існуючих підходів до розроблення власних моделей, алгоритмів, архітектури інформаційної системи та експериментальної перевірки їх ефективності.

Аргументованість отриманих результатів підтверджується взаємоузгодженістю теоретичних положень із результатами програмної реалізації інформаційної технології Clustering4Build, використанням сучасного математичного апарату та проведенням експериментальних досліджень. Запропоновані алгоритми розглядаються не ізольовано, а як складові єдиної інформаційної технології оцінювання технічного стану будівельних об'єктів, що підвищує цілісність виконаного дослідження.

Сформульовані висновки безпосередньо впливають із отриманих результатів, відповідають поставленим меті та завданням і достатньо повно відображають зміст виконаної роботи. Наведені рекомендації мають практичне підґрунтя та можуть бути використані під час розроблення і впровадження сучасних інформаційних систем технічного моніторингу у будівельній галузі. Загалом ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій слід оцінити як високий.

Наукова новизна отриманих автором результатів. Наукова новизна дисертаційної роботи визначається комплексним підходом до побудови інформаційної технології оцінювання технічного стану об'єктів будівництва, яка враховує невизначеність, неоднорідність та неповноту вхідної інформації. Запропоновані автором моделі, алгоритми та програмні рішення формують цілісну систему підтримки процесів кластеризації та інтелектуального аналізу технічного стану будівель.

До найбільш вагомих наукових результатів слід віднести розроблення інформаційної технології, що поєднує інтервальні нечіткі множини другого типу, алгоритми нечіткої кластеризації та генетичної оптимізації, а також сучасні принципи побудови програмного забезпечення на основі мікросервісної архітектури. Така інтеграція забезпечує підвищення точності класифікації технічного стану будівельних об'єктів та розширює можливості автоматизованого прийняття рішень.

Отримані результати мають ознаки наукової новизни, є достатньо обґрунтованими, логічно взаємопов'язаними та роблять внесок у розвиток

інформаційних систем і технологій у сфері технічного моніторингу будівельних об'єктів.

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів. Теоретичне значення дисертаційної роботи полягає у розвитку науково-методичних засад побудови інформаційних технологій оцінювання технічного стану будівельних об'єктів в умовах невизначеності. Запропоновані математичні моделі, алгоритми кластеризації та механізми нечіткого логічного виведення розширюють можливості використання сучасних методів інтелектуального аналізу даних у задачах будівельного моніторингу.

Практична цінність дослідження визначається створенням програмної системи Clustering4Build, у якій реалізовано запропоновані моделі та алгоритми. Розроблена інформаційна технологія може бути використана під час проведення технічних обстежень, моніторингу експлуатаційного стану будівель і споруд, а також у процесі підтримки прийняття інженерних рішень щодо оцінювання технічного стану конструкцій.

Важливою перевагою виконаної роботи є поєднання теоретичних розробок із їх практичною реалізацією, що свідчить про завершений характер проведеного дослідження. Отримані результати мають перспективи подальшого використання під час розвитку цифрових технологій технічного моніторингу, удосконалення спеціалізованих інформаційних систем та інтеграції із сучасними програмними платформами будівельної галузі.

Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях. Основні результати дисертаційного дослідження достатньою мірою відображені у 12 наукових працях автора, 4 статті у фахових виданнях категорії «Б», 3 статті у закордонних виданнях, а також 5 публікацій апробативного характеру. Аналіз наведеного переліку публікацій свідчить, що вони охоплюють усі ключові етапи виконаного дослідження - від обґрунтування теоретичних засад і постановки наукової проблеми до розроблення математичних моделей, алгоритмів, програмного забезпечення та експериментальної перевірки запропонованої інформаційної технології.

Опубліковані роботи характеризуються тематичною цілісністю та послідовністю. У них розкрито питання застосування методів нечіткої кластеризації для оцінювання технічного стану об'єктів будівництва, використання генетичних алгоритмів оптимізації, інтервальних нечітких множин другого типу, а також побудови програмних компонентів інформаційної системи, призначеної для підтримки процесів технічного моніторингу. Така структура публікацій дозволяє простежити еволюцію наукових ідей автора та формування завершеної концепції інформаційної технології.

Окремі публікації присвячені вирішенню конкретних наукових завдань, що знайшли своє подальше узагальнення у відповідних розділах дисертації. Це свідчить про системність проведеного дослідження, логічний взаємозв'язок між окремими отриманими результатами та їх поступове наукове обґрунтування. При цьому зміст опублікованих праць не дублює дисертацію, а відображає найбільш значущі результати кожного етапу дослідження, що відповідає усталеній практиці підготовки дисертаційних робіт.

Наукові результати пройшли апробацію на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях, де отримали фахове обговорення. Це підтверджує їх актуальність, наукову новизну та практичну значущість, а також засвідчує належний рівень наукової комунікації автора із професійною спільнотою.

Загалом перелік, тематика та зміст наукових публікацій повною мірою відображають основні положення, висновки й результати дисертаційної роботи. Обсяг апробації, кількість і рівень опублікованих праць відповідають вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а представлені матеріали забезпечують достатній рівень висвітлення отриманих автором наукових результатів.

Зміст дисертації. Дисертаційна робота має логічну та послідовну структуру, що відповідає поставленій меті та сформульованим завданням дослідження. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Побудова дисертації забезпечує послідовний

перехід від аналізу сучасного стану проблеми до розроблення математичного, алгоритмічного й програмного забезпечення інформаційної технології оцінювання технічного стану об'єктів будівництва в умовах невизначеності.

У першому розділі проведено аналіз сучасних підходів до оцінювання технічного стану будівельних об'єктів, розглянуто можливості використання нечітких моделей, методів кластеризації та існуючих інформаційних систем моніторингу. Автором обґрунтовано доцільність застосування інтервальних нечітких множин, визначено основні проблеми опрацювання неоднорідних даних та сформовано концептуальні засади створення інтегрованої інформаційної технології.

Другий розділ присвячено розробленню науково-методичного забезпечення інформаційної технології. Запропоновано комбіновані алгоритми нечіткої кластеризації FCM+GA та PCM+GA, сформовано архітектуру програмних модулів, обґрунтовано використання генетичної оптимізації для автоматизованого налаштування параметрів моделей та визначено принципи інтеграції із сучасними цифровими платформами технічного моніторингу.

У третьому розділі наведено результати побудови математичних моделей і програмних компонентів, що реалізують запропоновані алгоритми кластеризації. Значну увагу приділено використанню інтервальних нечітких множин другого типу, удосконаленню процедур визначення параметрів кластерів, оцінюванню якості кластеризації та аналізу ефективності розроблених методів під час роботи з даними різної структури та рівня невизначеності.

У четвертому розділі представлено програмну реалізацію інформаційної технології Clustering4Build, описано її мікросервісну архітектуру, принципи взаємодії окремих модулів та результати експериментальної перевірки. Наведені результати підтверджують працездатність запропонованої інформаційної технології, її здатність інтегруватися з сучасними інформаційними системами та забезпечувати підвищення ефективності автоматизованого оцінювання технічного стану будівельних об'єктів.

Загалом зміст дисертаційної роботи характеризується логічністю викладу, взаємозв'язком окремих розділів та завершеністю дослідження. Структура роботи повністю відповідає її меті, а отримані результати послідовно розкривають процес вирішення поставленого науково-прикладного завдання, що свідчить про високий рівень системності виконаного дослідження.

Зауваження змістовного та редакційного характеру. Попри загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, окремі її положення мають дискусійний характер і можуть бути предметом наукового обговорення, а також враховані автором у подальших дослідженнях.

1. На с. 79, де наведено рис. 2.4 «Алгоритм FCM як інструментарій для аналізу нечітких даних у задачах оцінки технічного стану», схема достатньо повно відображає послідовність виконання алгоритму, однак доцільно було б доповнити її інформаційними потоками між модулем нечіткої кластеризації, API та базою даних. Це дозволило б більш наочно продемонструвати механізм інтеграції алгоритму FCM у програмний комплекс Clustering4Build та краще простежити повний цикл оброблення даних від їх надходження до формування результатів оцінювання.

2. На с. 127–129, де наведено таблиці 2.8–2.12, результати експериментальних досліджень представлені достатньо інформативно, однак їх оформлення не є повністю уніфікованим. Зокрема, окремі таблиці відрізняються за принципами вирівнювання заголовків, розташуванням числових даних та шириною стовпців, що дещо ускладнює їх порівняльне сприйняття. Уніфікація форматування та більш однорідний розподіл інформації в таблицях сприяли б підвищенню наочності викладення результатів експериментального дослідження.

3. На с. 133, де наведено рис. 2.20 «Інформаційна архітектура підсистеми класифікації технічного стану у складі системи Clustering4Build», представлена архітектурна схема достатньо повно відображає взаємодію основних програмних модулів. Водночас через значний обсяг інформації та дрібний розмір окремих текстових елементів рисунок є недостатньо читабельним при друкованому

відтворенні дисертації. Доцільним було б збільшити масштаб схеми, оптимізувати компонування її елементів або розділити архітектуру на кілька логічно пов'язаних фрагментів, що суттєво покращило б сприйняття та аналіз запропонованого програмного рішення.

4. У підрозділі 3.7 (с. 165–168), присвяченому генетичному алгоритму пошуку оптимальної комбінації параметрів РСМ-алгоритму, детально наведено математичний опис та послідовність реалізації алгоритму. Разом із тим виклад матеріалу був би більш наочним за умови доповнення його узагальнювальною порівняльною таблицею, у якій були б систематизовані особливості чотирьох запропонованих варіантів оптимізації, їх переваги, обмеження та умови практичного застосування. Це полегшило б сприйняття значного обсягу математичного матеріалу та зробило б результати порівняльного аналізу більш наочними.

5. На с. 187–188, де наведено табл. 3.2 «Мінімальне значення загального гіпероб'єму», результати порівняння алгоритмів кластеризації наведено достатньо переконливо. Разом із тим таблиця містить лише абсолютні значення показників, тоді як її інформативність могла б бути підвищена шляхом доповнення відносними показниками приросту ефективності (у відсотках) або величинами покращення порівняно з базовим алгоритмом. Це дало б можливість більш наочно оцінити практичні переваги запропонованого РСМ-алгоритму на основі інтервальних нечітких множин другого типу.

6. Запропонована процедура автоматизованого вибору між моделями на основі НМТ1 та ІНМТ2 є логічною та практично орієнтованою, оскільки пов'язує геометричні й структурні характеристики кластерів із вибором відповідного математичного апарату. Водночас у формулах (3.37) та (3.38) порогове значення 1,5, за якого різниця між гіпероб'ємами або кількістю об'єктів у кластерах вважається істотною, потребує додаткового методичного обґрунтування. Зокрема, не цілком очевидно, чи є це значення результатом експериментальної верифікації, статистичного аналізу або прийнятим евристичним порогом. Доцільним було б також уточнити чутливість процедури ModelSelector до зміни цього порогу та

можливий вплив такого вибору на кінцеві результати кластеризації. Наведення відповідного обґрунтування підвищило б процедурну визначеність і відтворюваність запропонованого алгоритму автоматичного вибору моделі.

Наведені зауваження мають переважно рекомендаційний характер і не знижують загальної наукової цінності дисертаційної роботи, її теоретичного та практичного значення, а також не впливають на достовірність і обґрунтованість отриманих автором результатів.

Висновок. Дисертаційна робота Бикова Сергія Володимировича на тему «Інформаційна технологія оцінки технічного стану об'єктів будівництва в умовах невизначеності із застосуванням методики кластеризації» є завершеним, цілісним і самостійно виконаним науковим дослідженням, присвяченим розв'язанню актуального науково-прикладного завдання у сфері інформаційних систем та технологій, яке полягає у розробленні інформаційної технології інтелектуальної оцінки технічного стану об'єктів будівництва на основі сучасних методів нечіткої кластеризації в умовах неповноти, неоднорідності та невизначеності вхідних даних. Обрана тематика є своєчасною та відповідає сучасним потребам цифрової трансформації будівельної галузі, де підвищення достовірності оцінювання технічного стану будівель і споруд має важливе значення для забезпечення їх безпечної та ефективної експлуатації.

Дисертація характеризується чіткою логічною структурою, послідовністю викладення матеріалу та належним рівнем методологічного опрацювання поставлених завдань. Автором проведено ґрунтовний аналіз сучасних підходів до оцінювання технічного стану будівельних об'єктів, обґрунтовано вибір математичного апарату дослідження, запропоновано нові моделі та алгоритми кластеризації, а також реалізовано їх у вигляді програмного комплексу Clustering4Build. Особливу увагу приділено застосуванню інтервальних нечітких множин другого типу, удосконаленню методів FCM- та PCM-кластеризації, використанню генетичних алгоритмів оптимізації параметрів кластеризації, а також створенню архітектури інформаційної технології, здатної підтримувати прийняття рішень під час оцінювання технічного стану об'єктів будівництва.

Наукові результати дисертаційної роботи є достатньо обґрунтованими та достовірними. Їх достовірність забезпечується використанням сучасного математичного апарату, методів нечіткої логіки, кластерного аналізу, генетичної оптимізації, програмної реалізації розроблених моделей та результатами проведених експериментальних досліджень. Висновки, сформульовані автором, логічно випливають із отриманих результатів дослідження, підтверджуються проведеними обчислювальними експериментами та демонструють ефективність запропонованих інформаційних рішень.

Основні положення дисертаційної роботи пройшли необхідну апробацію, достатньою мірою висвітлені у наукових публікаціях автора та відповідають змісту проведеного дослідження. Обсяг і рівень оприлюднення результатів дозволяють зробити висновок про їх належну наукову апробацію та відповідність встановленим вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

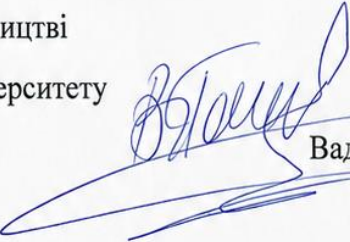
Висловлені у рецензії зауваження мають рекомендаційний характер і стосуються переважно окремих аспектів оформлення, структурування та візуалізації матеріалу. Вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, не знижують наукової новизни, теоретичного значення, практичної цінності та достовірності отриманих результатів.

За актуальністю теми дослідження, ступенем наукової новизни, рівнем теоретичного узагальнення, практичною значущістю, обґрунтованістю сформульованих положень і висновків, повнотою апробації результатів та відповідністю вимогам до оформлення і змісту дисертаційних робіт дисертація Бикова Сергія Володимировича «Інформаційна технологія оцінки технічного стану об'єктів будівництва в умовах невизначеності із застосуванням методики кластеризації» повністю відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 (зі змінами), а її автор Биков Сергій Володимирович заслуговує

на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

РЕЦЕНЗЕНТ

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


Вадим ПОКОЛЕНКО

«Підписи професора Поколенка В.О засвідчую»

Вчений секретар КНУБА К.Т.Н. доцент

Микола Клименко

