

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії **Сергій БИКОВ**, 1976 року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 2014 році Відокремлений структурний підрозділ «Інститут післядипломної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури» за спеціальністю «Менеджмент організацій і адміністрування», виконав акредитовану освітньо-наукову програму 126 «Інформаційні системи та технології».

Разова спеціалізована вчена рада, утворена наказом Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти та науки України, м. Київ від «14» липня 2026 року № 150/52-14/90/26, у складі:

Голови разової – Євгенія БОРОДАВКИ, доктора технічних наук, професора, спеціалізованої завідувача кафедри інформаційних систем та прикладної вченої ради математики Київського національного університету будівництва і архітектури

Рецензентів – Вадима ПОКОЛЕНКА, доктора технічних наук, професора, професора кафедри менеджменту в будівництві Київського національного університету будівництва і архітектури

– Олександра ПОПЛАВСЬКОГО, доктора технічних наук, професора, професора кафедри інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури

Офіційних опонентів – Романа ТРАЧА, доктора технічних наук, професора, професора кафедри промислового та цивільного будівництва ім. Є.М. Бабича Національного університету водного господарства та природокористування

– Олександра КУЧАНСЬКОГО, доктора технічних наук, професора, професора кафедри біомедичної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

На засіданні «24» вересня 2026 року ухвалила рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» Сергію БИКОВУ на підставі публічного захисту дисертації «Інформаційна технологія оцінки технічного стану об'єктів будівництва в умовах невизначеності із застосуванням методики кластеризації» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

Дисертацію виконано в Київському національному університеті архітектури і будівництва Міністерства освіти та науки України, м. Київ.

Наукові керівники: Олександр ТЕРЕНТЬЄВ, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних систем та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури, та Євгеній

ГОРБАТЮК, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних машин Київського національного університету будівництва і архітектури.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису. Дисертація є актуальною та завершеною кваліфікаційною науковою працею, виконаною особисто автором. Отримані результати дисертаційної роботи спрямовані на вирішення важливого наукового завдання — розроблення та наукове обґрунтування інформаційної технології оцінювання технічного стану об'єктів будівництва в умовах невизначеності із застосуванням методів нечіткої кластеризації, інтервальних нечітких множин та еволюційної оптимізації. Запропонований інформаційно-аналітичний інструментарій забезпечує адаптивне опрацювання різнорідних, неповних і нечітких даних технічного моніторингу, підвищення достовірності класифікації технічних станів та формування обґрунтованої інформаційної основи для ухвалення інженерних рішень.

Результати дисертаційної роботи створюють сучасне науково-методичне підґрунтя для інтелектуального аналізу та оцінювання технічного стану будівельних об'єктів в умовах невизначеності. Удосконалена інформаційна технологія Clustering4Build, побудована на поєднанні методів нечіткої кластеризації, інтервальних нечітких множин другого типу та генетичної оптимізації, забезпечує адаптивне формування кластерів з урахуванням різнорідності, неповноти та шумових компонентів вхідних даних, а також дає змогу формалізувати перехідні технічні стани об'єктів.

Запропоновані в дисертації комбіновані алгоритмічні моделі FCM+GA та PCM+GA забезпечують автоматизацію процедур визначення параметрів кластеризації, центрів кластерів і рівнів належності об'єктів до відповідних технічних станів, що сприяє підвищенню точності та стійкості результатів оцінювання. Розроблені програмні компоненти GA-Optimizer, TypeReducer, QualityEvaluator та FuzzificationEngine забезпечують параметричну оптимізацію, оброблення інтервальних нечітких даних і комплексне оцінювання якості кластеризації.

Науково-прикладна реалізація запропонованої мікросервісної архітектури із REST-взаємодією створює можливості для інтеграції результатів інтелектуального аналізу з базами даних, системами підтримки рішень, BIM-моделями та потоками IoT-даних. Це забезпечує модульність, масштабованість і відтворюваність обчислювальних процедур та формує технологічну основу для автоматизації процесів технічного моніторингу й інформаційної підтримки інженерних рішень щодо технічного стану об'єктів будівництва.

Дисертація написана державною мовою та відповідає вимогам пункту 6 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).

Здобувач має 12 наукових публікацій за темою дисертації, з них: 4 статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б» та 3 статті у закордонних виданнях; 5 тез наукових доповідей в збірниках матеріалів міжнародних конференцій:

Статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б»:

1. Gorbatyuk Ie., Terentyev O., Mishchuk D., **Вукон S.** Integrated models of forecasting reliability of decision making of the system of diagnostics of the technical condition of buildings. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2025. № 105. С. 73–78. <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2025.105.0501>.
2. Тисленко О., **Биков С.**, Катін О. Система організації та функціонування механізмів забезпечення експлуатаційної безпеки будівель. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. Вип. 56(2). С. 91–104. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(2\).91-104](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(2).91-104).
3. Тисленко О.Б., **Биков С.В.** Аналітичні та діагностичні блоки контролю в цифровому середовищі оцінки структурної надійності. *Управління розвитком складних систем*. 2025. № 64. С. 259–266. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.64.259-266>.
4. **Биков С.** Концептуальні основи розробки інформаційної технології для оцінки технічного стану будівельних об'єктів на основі інтелектуального аналізу даних в умовах невизначеності. *Трансфер інноваційних технологій*. 2026. Т. 10, № 1. DOI: 10.32347/tit.2026.10.01.09. <https://tit.knuba.edu.ua/article/view/370356>.

Статті в закордонних періодичних виданнях, прирівняних до фахових видань категорії «Б» (за умови індексації/цитування):

5. Терентьев О., Горбатьук Є., Тисленко О., **Биков В.** Методи пошкодження інформаційної системи діагностики технічного стану будівель. *Modern engineering and innovative technologies*. 2024. Issue 35, part 2. P. 35-44. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2024-35-00-049>.
6. Терентьев О., Горбатьук Є., Тисленко О., **Биков В.** Програмно-технічний комплекс реалізації інформаційної системи діагностики технічного стану будівель. *SWorldJournal*. 2025. Issue 30, part 1. P. 82–96. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2025-30-01-004>.
7. Терентьев О., Горбатьук Є., Тисленко О., **Биков В.** Створення інформаційних методів при діагностиці промислових будівель. *Modern engineering and innovative technologies*. 2025. Issue 38, part 1. P. 146–151. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2025-38-01-030>.

Наукові праці, що представлені як тези доповіді у міжнародних науково-технічних конференціях

9. Terentyev O.O., Gorbatyuk Ie.V., Tyslenko O.B., **Вукон S.V.** Methods of diagnosing deformations of building structures. *International scientific conference "Technique and technology of the future, 2024"* No 35 on October 20, 2024. Karlsruhe, Germany. P. 36-40. <https://doi.org/10.30890/2709-1783.2024-35-00-027>.
10. Терентьев О.О., Горбатьук Є.В., Тисленко О.Б., **Биков В.С.** Інтегрована модель оцінки надійності рішень для діагностики будівель. *Proceedings of the 6th International scientific and practical conference "Scientific achievements of contemporary society"*. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2025. P. 280-286.
11. Терентьев О.О., Горбатьук Є.В., Тисленко О.Б., **Биков В.С.** Інформаційна технологія управління життєвим циклом будівельних конструкцій і споруд. *Modernization of today's science: experience and trends: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the VII International Scientific and Theoretical*

Conference, January 24, 2025. Singapore, Republic of Singapore: International Center of Scientific Research. P. 192-195. <https://doi.org/10.36074/scientia-24.01.2025>.

12. Терентьев О.О., Горбатюк Є.В., Тисленко О.Б., **Биков В.С.** Моделирование загроз безпеки та вразливості у віртуальній мережевій системі. Proceedings of the 5th International scientific and practical conference “*Science in the modern world: innovations and challenges*”. Perfect Publishing. Toronto, Canada. 2025. P. 169-173.

13. Terentyev O.O., Gorbatyuk Ie.V., Tyslenko O.B., **Bykov V.S.** Creating a model of mobile location. International scientific conference “*Organization of scientific research in modern conditions, 2024*” No 30 on March 21, 2025. Seattle, Washington, USA. P. 25-28. <https://doi.org/10.30888/2709-2267.2025-30-00-003>.

Повнота викладення основних наукових результатів, висновків, рекомендацій та положень дисертаційного дослідження відповідає вимогам, що висуваються до дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії.

У дискусії взяли участь (голова, рецензенти, офіційні опоненти) та висловили зауваження:

Голова ради – доктор технічних наук, професор БОРОДАВКА Євгеній Володимирович, завідувач кафедри інформаційних систем та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури, висловив єдине зауваження щодо використання стилістично неправильних термінів («функція приналежності» замість «функція належності», «прийняття рішень» замість «ухвалення рішень») та використання в роботі багатьох аббревіатур без розшифрування — варто було б додати таблицю термінів на початку роботи.

Рецензент — доктор технічних наук, професор ПОКОЛЕНКО Вадим Олегович, професор кафедри менеджменту в будівництві Київського національного університету будівництва і архітектури, надав позитивний відгук із зауваженнями:

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 викладу 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 під час друкованого відтворення 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 і послідовність реалізації цього 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, їхні 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.

Рецензент — доктор технічних наук, професор ПОПЛАВСЬКИЙ Олександр Анатолійович, професор кафедри інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури, надав позитивний відгук із зауваженнями:

1. На с. 80 (рис. 2.5) наведено матрицю ступенів належності U для алгоритму FCM, однак у роботі відсутнє пояснення принципу формування наведених числових значень ступенів належності для кожного об'єкта. Зокрема, не зазначено, чи отримано їх після одного циклу кластеризації, після досягнення критерію збіжності або після завершення оптимізації параметрів алгоритму. Таке уточнення дозволило б повніше простежити взаємозв'язок між математичною моделлю нечіткої кластеризації та представленими результатами.

2. Схвально оцінюючи формалізаційно-математичне обґрунтування застосування алгоритму FCM, слід відзначити його перевагу у забезпеченні

м'якого групування об'єктів та врахуванні невизначеності й неповноти даних технічного моніторингу. Водночас перехід від базової математичної моделі FCM до авторського інформаційно-технологічного інструментарію потребує більш чіткого обґрунтування критеріїв вибору метрики, параметра нечіткості та порогу збіжності. Певної конкретизації потребує також механізм урахування коефіцієнта достовірності α_i та його впливу на результати кластеризації. У роботі заявлено можливість опрацювання високовимірних і потокових даних у режимі реального часу, однак цю можливість недостатньо підтверджено кількісними експериментальними результатами щодо швидкодії, масштабованості та стійкості алгоритму. Доцільним було б також навести кількісне порівняння результатів базового та адаптованого FCM за показниками якості кластеризації. Зазначене дозволило б більш повно обґрунтувати ефективність запропонованого підходу як складової інформаційної технології Clustering4Build.

3. У підрозділі 2.2.4 (с. 93–94) під час опису генетичного алгоритму зі змінною довжиною хромосоми зазначено, що відбір батьків здійснюється за принципом мінімізації індексу Се-Бені серед двох випадково обраних особин. Водночас не наведено обґрунтування вибору саме турнірного відбору з двох хромосом порівняно з іншими поширеними механізмами селекції (ранговою, рулетковою або елітарною). Коротке пояснення цього вибору дозволило б більш повно аргументувати прийняте алгоритмічне рішення.

4. У підрозділі 3.1.3 (с. 147–149) детально викладено математичний апарат ітераційного алгоритму Карніка–Менделя та наведено послідовність обчислень для виконання процедури зниження типу інтервальних нечітких множин другого типу. Водночас після викладення основних етапів алгоритму доцільно було б навести наскрізний числовий приклад обчислення лівого і правого центрів одного кластера та виконання процедури зниження типу. Це дало б змогу легше простежити практичний перехід від інтервальних функцій належності до визначення інтервального центру кластера та зробило б виклад алгоритму більш наочним.

5. У підрозділі 3.9 (с. 170–171), де наведено приклад класифікації технічного стану об'єктів будівництва та результати кластеризації двох кластерів ідентичної структури (рис. 3.8), зазначено, що об'єкти другого кластера отримані шляхом зсуву координат на 34 одиниці. Водночас у роботі не наведено обґрунтування вибору саме такого значення зсуву та не проаналізовано, як зміна цього параметра впливає на результати кластеризації. Короткий аналіз чутливості результатів цього обчислювального експерименту до величини просторового зміщення дав би змогу повніше оцінити стійкість застосованого алгоритму кластеризації.

Офіційний опонент — доктор технічних наук, професор ТРАЧ Роман Володимирович, професор кафедри промислового, цивільного будівництва ім. Є.М. Бабича Національного університету водного господарства та природокористування, надав позитивний відгук із зауваженнями:

1. На стор. 56 дисертації, де наведено рис. 1.1 «Задача кластеризації технічного стану будівельних об'єктів з довільною кількістю елементів моніторингу», доцільно було б більш детально відобразити механізм формування множини інформативних елементів моніторингу та критерії введення так званого «уявного» елемента із нульовим рівнем зношеності. Наведена концептуальна схема достатньо повно ілюструє загальну постановку задачі, однак її інформативність

могла б бути підвищена шляхом графічного відображення взаємозв'язку між процедурою вибору елементів моніторингу, визначенням кількості кластерів та подальшим формуванням вхідних даних для алгоритму кластеризації. Таке уточнення сприяло б більш однозначному сприйняттю запропонованої інформаційної технології та полегшило б її практичне використання.

2. На стор. 64–65 дисертації перед табл. 1.2 «Вхідні параметри та характеристики об'єктів будівництва» відсутнє безпосереднє текстове посилання на зазначену таблицю. Хоча після її наведення автор детально характеризує склад вхідних параметрів та їхню роль у формуванні вектора ознак об'єкта будівництва, доцільно було б перед розміщенням таблиці зазначити, що відповідні параметри систематизовано саме у табл. 1.2. Таке редакційне уточнення покращило б логічну послідовність викладу матеріалу та відповідало б усталеним вимогам до оформлення наукових досліджень.

3. На стор. 74 дисертації, де наведено рис. 2.2 «Архітектура програмного модуля нечіткої формалізації технічних показників у складі IC Clustering4Build», архітектурна схема достатньо повно відображає основні програмні компоненти та послідовність оброблення даних. Разом із тим, доцільно було б деталізувати інформаційні потоки між API-інтерфейсом, базою даних PostgreSQL та модулем кластеризації, а також конкретизувати напрям передачі результатів оброблення після завершення процедури кластеризації. Таке доповнення зробило б архітектурну модель більш завершеною з позицій реалізації інформаційної технології та полегшило б відтворення запропонованого програмного рішення іншими дослідниками.

4. На стор. 84 дисертації під час опису генетичного алгоритму з хромосомою постійної довжини наведено математичний апарат ймовірнісного відбору, зокрема формули (2.5)–(2.6), після чого зазначено про реалізацію алгоритму засобами бібліотеки multiprocessing у Python. Водночас доцільно було б більш детально описати механізм синхронізації паралельних процесів та критерії завершення ітерацій генетичного алгоритму в умовах багатопотокового виконання. Таке уточнення дозволило б повніше оцінити особливості програмної реалізації запропонованого алгоритму та підвищило б відтворюваність отриманих результатів іншими дослідниками.

5. На стор. 194 дисертації, де наведено табл. 4.2 «Перелік основних компонентів та інтерфейсів», доцільно було б доповнити її окремими характеристиками функціональної взаємодії між програмними компонентами, зокрема зазначити формати обміну даними, основні вхідні та вихідні параметри інтерфейсів, а також типи повідомлень, що передаються між окремими мікросервісами системи Clustering4Build. Таке розширення інформаційного наповнення таблиці дозволило б повніше розкрити особливості програмної архітектури запропонованої інформаційної технології та полегшило б її подальшу практичну реалізацію й інтеграцію з іншими інформаційними системами.

6. На стор. 145 дисертації, де наведено рис. 3.11 «Алгоритм генетичної оптимізації $m1, m2$ », графічне подання алгоритму виконано у вертикальному форматі із досить дрібним шрифтом, що ускладнює сприйняття окремих елементів схеми та текстових позначень. Доцільно було б збільшити масштаб рисунка та подати його в горизонтальній орієнтації сторінки, що забезпечило б кращу читабельність алгоритму, полегшило б аналіз послідовності його виконання та

підвищило б загальну наочність представленого матеріалу.

7. Позитивно оцінюючи представлений на стор. 202-205 склад пакету прикладних програм Clustering4Build — слід відзначити його функціональну повноту та логічне поєднання обчислювальних, оптимізаційних, інформаційних і підтримувальних компонентів. Обґрунтованим є виокремлення модулів FCMCore, GA-Optimizer, TypeReducer, QualityEvaluator та DSS, доповнених засобами зберігання й інформаційної взаємодії. Водночас опис окремих компонентів пакета має переважно функціональний характер і міг би бути доповнений більш чітким визначенням інформаційних входів і виходів, послідовністю їх взаємодії та роллю кожного модуля у загальному алгоритмі роботи технології. Зокрема, доцільно було б графічно або таблично деталізувати інформаційні зв'язки між основними мікросервісами та DSS. Таке уточнення сприяло б кращому розумінню архітектурної цілісності Clustering4Build та відтворюваності запропонованого автором програмно-інформаційного рішення. Висловлене зауваження має рекомендаційний характер і не зменшує практичної цінності розробленого пакета прикладних програм.

8. На стор. 289 (Додаток 9), де наведено Activity Diagram для модуля TypeReducer, доцільно було б збільшити масштаб рисунка та розмір шрифту всередині блоків, оскільки окремі текстові елементи схеми сприймаються недостатньо чітко. Крім того, для покращення наочності варто візуально виокремити основні етапи алгоритму різними кольорами або графічними акцентами, що полегшило б аналіз логіки виконання процесу.

Офіційний опонент — доктор технічних наук, професор КУЧАНСЬКИЙ Олександр Юрійович, професор кафедри біомедичної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», надав позитивний відгук із зауваженнями:

1. У підрозділі 1.6 автором виконано порівняння сучасних BIM-, SHM-, DSS- та AI/ML-рішень за призначенням, типами даних, аналітичними можливостями, роботою з невизначеністю, наявністю кластеризації та основними обмеженнями. Сам автор обґрунтовує доцільність застосування мікросервісного підходу, зокрема, можливістю незалежного розвитку та масштабування аналітичних компонентів. Водночас у самій порівняльній таблиці архітектурні характеристики систем майже не розглядаються. Тому доцільно було б розширити систему критеріїв такими характеристиками, як способи інтеграції даних, наявність програмних інтерфейсів, інтероперабельність, масштабованість, можливість незалежного розгортання аналітичних компонентів і підтримка потокових даних. Це дозволило б більш аргументовано показати саме інформаційно-архітектурні переваги Clustering4Build порівняно з розглянутими класами систем.

2. У таблиці 3.2 наведено кількісне порівняння алгоритму чітких с-середніх, FCM на основі IHMT2 та двох варіантів РСМ на основі IHMT2 за значенням загального гіпероб'єму N і помилкою кластеризації. Для відповідного контрольного набору найменше значення $N=255,635142$ та нульову помилку одержано для РСМ на основі IHMT2 з довільними значеннями фаззифікаторів. Разом із тим, у дисертації відсутнє єдине узагальнене експериментальне порівняння всіх ключових варіантів, що досліджуються в роботі, зокрема FCM і РСМ на основі HMT1 та IHMT2, а також їх комбінацій із генетичною оптимізацією, на декількох наборах даних за однаковими критеріями. Слід зазначити, що автором

наведено окремі порівняння продуктивності FCM, GA та FCM+GA. Проте зведений експеримент за єдиним протоколом зробив би висновки щодо відносних переваг запропонованих алгоритмів більш переконливими.

3. Окремого пояснення потребує узгодження висновків щодо відтворюваності результатів генетичної оптимізації. Автор прямо зазначає, що наведені результати отримано для одного запуску генетичного алгоритму на кожен контрольний набір даних, без усереднення за багатьма реалізаціями та без оцінювання статистичної значущості, а для остаточного підтвердження переваг рекомендує не менше 10–30 повторних запусків із визначенням середнього значення та довірчого інтервалу. Водночас зазначається, що дослідження стійкості результатів до розміру популяції, ймовірностей схрещування і мутації та кількості поколінь підтвердило відтворюваність розв'язків, причому варіювання параметрів ГА не змінювало якісної структури кластерів. Доцільно чіткіше пояснити, на яких саме експериментах ґрунтується останній висновок: навести кількість незалежних запусків, спосіб фіксації або варіювання випадкової ініціалізації, а також статистичні характеристики отриманих результатів.

4. У четвертому розділі наведено важливі кількісні результати практичного впровадження Clustering4Build. За актами впровадження зазначено підвищення достовірності класифікації технічного стану конструкцій у середньому на 17–18,5 %, скорочення тривалості аналітичного оброблення результатів моніторингу на 21–22 % та зменшення кількості повторних експертних оцінок приблизно на 16 %. Водночас у тексті роботи доцільно було б детальніше представити методику отримання цих показників: кількість та типи об'єктів, обсяг спостережень, базовий підхід, відносно якого визначалося покращення, формальне визначення показника «достовірність класифікації», порядок формування експертного еталона, а також варіативність отриманих результатів. Це істотно посилює доказовість заявленого практичного ефекту.

5. У роботі при уніфікації різнорідних будівельних об'єктів запропоновано формувати єдиний повний перелік елементів моніторингу, а елементи, структурно відсутні у конкретному типі об'єкта, розглядати як умовні та приймати значення відповідних показників рівними нулю. Такий спосіб забезпечує однакову розмірність векторів ознак, однак потребує додаткового математичного обґрунтування, оскільки нуль може бути інтерпретований алгоритмом як фактичне значення ознаки та впливати на обчислення відстаней, положення центрів кластерів і результати групування. Доцільним було б дослідити чутливість результатів до такого способу кодування та порівняти його, наприклад, із маскуванням структурно відсутніх ознак або модифікованими правилами обчислення відстаней.

6. Запропоновані в роботі показники якості кластеризації H та Sph і їх використання у модулях QualityEvaluator та ModelSelector є важливою складовою інформаційної технології. ModelSelector здійснює автоматизований порівняльний аналіз результатів FCM2 та PCM2 за показниками, розрахованими QualityEvaluator. Крім того, у роботі зазначено, що автоматичний вибір між H та Sph пов'язується з аналізом спектра власних значень коваріаційних матриць. Водночас доцільно було б більш повно експериментально перевірити стійкість цього механізму на наборах даних із різною формою, щільністю, об'ємом, кількістю кластерів і рівнем невизначеності, а також кількісно оцінити, наскільки автоматизований вибір

моделі покращує кінцевий результат порівняно з використанням наперед фіксованої моделі.

7. У дисертації наведено окремі кількісні оцінки обчислювальної ефективності алгоритмів. Зокрема, у другому розділі порівнюються кількість ітерацій та час виконання FCM, GA і FCM+GA, а в інших експериментах також наведено час кластеризації для різних конфігурацій. Разом із тим, на рівні всієї мікросервісної інформаційної технології кількісного дослідження фактично не представлено. У четвертому розділі автор зазначає, що під час дослідної експлуатації система зберігала стійку роботу за «прийнятної затримки відгуку», а кількісні межі пропускну здатності залежать від ресурсів розгортання. З огляду на заявлену можливість роботи з потоковими даними та функціонування в реальному часі, доцільно було б навести результати системного навантажувального тестування: латентність повного конвеєра, пропускну здатність REST-взаємодії, час роботи GA-Optimizer та кластеризаційних модулів залежно від кількості об'єктів і ознак, а також ефект горизонтального масштабування при паралельному надходженні даних.

8. У четвертому розділі достатньо детально описано контроль якості вхідних даних, параметри запусків і механізми збереження результатів. Зокрема, FuzzificationEngine перевіряє повноту, діапазони, типи, пропуски та аномалії, а протоколи валідації і параметри нормалізації зберігаються в PostgreSQL. Для запусків FCM та генетичної оптимізації також зберігаються параметри, метадані, конфігурації популяцій і найкращі знайдені рішення; API Gateway дозволяє відстежувати стан виконання конвеєра. Водночас менш детально розкрито поведінку мікросервісної системи саме в умовах відмов окремих компонентів: механізми повторного виконання та ідемпотентності запитів, відновлення перерваних обчислень, забезпечення узгодженості даних у разі часткової відмови сервісів, а також версіонування програмних компонентів і моделей. Деталізація цих механізмів посилює обґрунтування експлуатаційної надійності Clustering4Build.

Результати відкритого голосування:

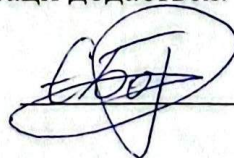
«За» 5 членів ради,

«Проти» немає членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує **Сергію БИКОВУ** ступінь доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

Відеозапис трансляції захисту дисертації додається.

Голова разової спеціалізованої
вченої ради



Євгеній БОРОДАВКА

Підпис *Бородавкі С.В.* засвідчую

Вчений секретар Вченої ради
Київського національного університету
будівництва і архітектури



Микола КЛИМЕНКО