

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

**на тему: «Інформаційна технологія оцінки технічного стану об'єктів
будівництва в умовах невизначеності із застосуванням методики
кластеризації», здобувача Бикова Сергія Вадимовича
з галузі знань 12 – Інформаційні технології,
за спеціальністю 126 – Інформаційні системи та технології**

1. Актуальність теми дисертаційного дослідження Бикова Сергія Вадимовича зумовлена зростанням вимог до забезпечення надійності, безпечності та довговічності будівель і споруд, особливо в умовах інтенсивної експлуатації, фізичного зносу інфраструктури та пошкоджень, спричинених воєнними діями. У таких умовах питання оперативного та об'єктивного оцінювання технічного стану об'єктів будівництва набуває особливої наукової і практичної значущості. Сучасні системи технічного моніторингу формують значні обсяги різномірної інформації, яка часто характеризується неповнотою, невизначеністю та наявністю шумових компонентів, що істотно ускладнює використання традиційних методів аналізу. Крім того, суб'єктивність експертних оцінок і складність конструктивних систем будівель потребують застосування нових підходів до оброблення та інтеграції даних. З огляду на це виникає необхідність розроблення інтелектуальних інформаційних технологій, здатних ефективно працювати в умовах невизначеності та забезпечувати достовірну інтерпретацію результатів моніторингу. Перспективним напрямом у цьому контексті є використання методів кластеризації, нечіткої логіки та еволюційних алгоритмів, що дозволяють формалізувати складні взаємозв'язки між параметрами технічного стану об'єктів. Важливим науковим завданням є створення математичного та алгоритмічного апарату, який забезпечує адаптивний аналіз даних з урахуванням їх різномірності, неповноти та динамічності. Отже, обрана тема дослідження є науково актуальною, має важливе теоретичне та практичне значення і повною мірою відповідає вимогам дисертаційних досліджень на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дослідження узгоджується із положеннями законодавства України у сфері наукової, науково-технічної та інноваційної діяльності, а також із стратегічними документами цифрового розвитку держави. Науково-методичні, інформаційно-аналітичні та прикладні результати дисертаційного дослідження використовуються як складові науково-дослідних і науково-пошукових робіт, що виконуються у Київському національному університеті будівництва і

архітектури та спрямовані на розвиток інтелектуальних інформаційних технологій у будівництві. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 126 – «Інформаційні системи та технології» та орієнтована на розвиток методів оброблення невизначених даних, кластеризації та інтелектуального аналізу інформації у системах технічного моніторингу будівель і споруд. Дослідження виконано на кафедрі інформаційних технологій проєктування та прикладної математики факультету автоматизації і інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури відповідно до планів науково-дослідної роботи кафедри. Дисертація містить науково обґрунтовані положення, нові теоретичні та прикладні результати, що мають істотне значення для розвитку галузі знань 12 – Інформаційні технології, зокрема у сфері створення інтелектуальних інформаційних систем оцінювання та прогнозування технічного стану об'єктів будівництва.

3. **Наукова новизна одержаних результатів** полягає в науковому обґрунтуванні інформаційної технології Clustering4Build для оцінювання технічного стану будівельних об'єктів в умовах невизначеності на ґрунті інтервальних нечітких множин та еволюційних алгоритмів. Створені модулі GA-Optimizer, Type Reducer і Quality Evaluator забезпечують автоматизовану оптимізацію параметрів та підвищення якості кластеризації.

У дисертаційній роботі *удосконалено*:

- інформаційну технологію Clustering4Build для оцінювання технічного стану об'єктів будівництва в умовах неповної та нечіткої інформації, у межах якої методи кластерного аналізу на основі нечітких множин першого та другого типів поєднано з механізмами генетичної оптимізації параметрів. Такий підхід забезпечує адаптивне формування кластерів із урахуванням різноманітності вхідних даних і наявності перехідних технічних станів об'єктів;

- методичний підхід до розширення множини об'єктів кластеризації на базі інтервальних нечітких множин другого типу для алгоритму PCM, що дає змогу враховувати невизначеність параметрів фазифікації та величини «ширини зони» окремо для кожного кластера. Практичну реалізацію підходу забезпечено через мікро-сервісні компоненти Fuzzification Engine і Type Reducer, які виконують обчислення інтервальних функцій типовості та центрів кластерів із централізованим зберіганням результатів у форматі JSONB для подальшого використання у системах підтримки рішень (DSS). Новизна полягає у поєднанні автоматизованої параметричної оптимізації алгоритму PCM за допомогою модуля GA-Optimizer та комплексного оцінювання якості кластеризації через компонент Quality Evaluator;

- комбіновані алгоритмічні моделі FCM+GA та PCM+GA, у яких автоматизовано процедури визначення центрів кластерів, параметрів

фазифікації та рівнів належності об'єктів до кластерів, що сприяє підвищенню точності, швидкості збіжності та обчислювальної ефективності процесу оцінювання технічного стану об'єктів у разі наявності шумових або неповних даних;

– науково-прикладну реалізацію мікросервісної архітектури з використанням REST-взаємодії, яка забезпечує централізоване зберігання результатів обчислень, інтеграцію з системами підтримки рішень, BIM-моделями та потоками IoT-даних. Запропонована архітектура підтримує модульність, масштабованість і відтворюваність обчислювальних експериментів у процесі аналізу технічного стану будівельних об'єктів та виборі інженерних рішень.

Набули подальшого розвитку:

– науково-методичне обґрунтування побудови інформаційної технології оцінювання технічного стану будівельних об'єктів в умовах невизначеності. На відміну від традиційних підходів BIM, SHM та DSS, запропонована концепція ґрунтується на комплексному застосуванні методів нечіткої кластеризації, моделей нечітких множин першого й другого типів, а також інтервальних форм представлення знань. Такий підхід забезпечує формалізацію перехідних станів конструкцій, узгодження результатів інструментальних вимірювань із експертними оцінками та адаптивну обробку різнорідних даних моніторингу, створюючи надійну теоретичну основу для розробки універсального програмного інструментарію кластерного аналізу в межах спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології».

- комбіновані методи інтелектуальної кластеризації FCM+GA та PCM+GA у складі інтегрованої технології Clustering4Build, які передбачають генетичну оптимізацію центрів кластерів, параметрів фазифікації та ступенів належності шляхом відповідного кодування хромосом. На відміну від існуючих рішень, запропонована архітектура реалізує замкнений цикл «оптимізація – аналіз – рекомендація – візуалізація», інтегрується з базами даних PostgreSQL, BIM-моделями та потоками IoT-даних, що забезпечує підвищення швидкодії, стійкості збіжності та точності процедур оцінювання технічного стану будівельних об'єктів, сприяючи формалізації та автоматизації процесів технічного моніторингу.

4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню завдання науково-методичного обґрунтування інформаційної технології оцінювання технічного стану об'єктів будівництва в умовах невизначеності на основі методів кластеризації. В межах дослідження сформовано математичний апарат та розроблено алгоритмічне забезпечення кластерного аналізу з використанням нечітких множин першого і другого типів і генетичних алгоритмів оптимізації.

Запропонована технологія орієнтована на інтеграцію наукових результатів дисертації у сучасні інформаційні системи моніторингу технічного стану будівель і споруд.

Теоретичне значення результатів дисертаційного дослідження полягає у поглибленні науково-методичних засад спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» через розробку інформаційної технології Clustering4Build для оцінки технічного стану будівельних об'єктів в умовах невизначеності. Робота інтегрує методи нечіткої логіки першого і другого типів, інтервальні нечіткі множини та еволюційні алгоритми, створюючи замкнений цикл «оптимізація – аналіз – рекомендація – візуалізація» для класифікації об'єктів за станом та забезпечення достовірного прогнозування.

Науково обґрунтовано модулі GA-Optimizer, TypeReducer, QualityEvaluator та Decision Support Engine, що автоматизують налаштування параметрів моделей, оцінку якості кластеризації та підтримку прийняття рішень на основі накопичених даних. Запропонована мікросервісна архітектура забезпечує інтеграцію з PostgreSQL, BIM-моделями та IoT-потокami, підвищує масштабованість, швидкодію та стабільність процесу кластеризації.

Результати дослідження впроваджено у навчальний процес на спеціальності 126, зокрема в дисциплінах: «Інформаційні технології представлення, обробки та розпізнавання даних» для магістрів ICT-23; «Теорія алгоритмів та когнітивні технології» для магістрів ICT-ШКТМ-23; «Прикладна теорія графів» для магістрів АКІТМ-24.

Робота формує наукову основу для розвитку інтелектуальних систем моніторингу, прогнозування та адаптивного аналізу технічного стану об'єктів будівництва протягом їх життєвого циклу

5. Використання результатів роботи. Результати дослідження впроваджено в навчальний процес в межах Київського національного університету будівництва і архітектури.

6. Особиста участь автора в отриманні наукових і практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі, Особистий внесок автора у здобуття наукових та практичних результатів, представлених у дисертаційній роботі, полягає у виконанні самостійного наукового дослідження, в якому викладено власні ідеї та розробки, що дозволили успішно вирішити поставлені завдання. Ключові положення та результати дисертації отримані безпосередньо автором, що підтверджується 12 опублікованими роботами. У випадках використання матеріалів інших дослідників наведено відповідні посилання на джерела.

Дослідження проведено на кафедрі інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури під науковим керівниками: доктора технічних наук, професора, декана ФАІТ, професора кафедри інформаційних технологій

проекування та прикладної математики Терентьєва О.О. доктор технічних наук, професор, декан ФАІТ, та кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних машин Горбатюк Є.В.

Аналіз звіту про перевірку тексту дисертації системою “StrikePlagiarism” становить 98% унікальності, дисертаційна робота Бикова С.В. є результатом самостійних наукових досліджень здобувача і не містить плагіату чи недозволених запозичень. Використані ідеї, результати та тексти інших авторів супроводжуються коректними посиланнями на джерела. Дисертація вирізняється логічною цілісністю змісту та відповідає встановленим вимогам до її оформлення.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень автором опубліковано 12 наукових праць, з них: 4 статей у фахових виданнях України категорії Б, 3 статті міжнародного видання та 5 тез доповідей наукових та науково-практичних конференцій, зокрема:

1. Terentyev O.O., Gorbatyuk Ie.V., Tyslenko O.B., **Bykov S.V.** Methods of damage of the information system of building technical condition diagnostics. Modern engineering and innovative technologies. Issue №35. Part 2. October 2024. P. 35-44. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2024-35-00-049> (Особистий внесок здобувача полягає у формуванні концептуальних положень застосування методів інтелектуальної кластеризації та нечітких моделей для діагностики технічного стану будівельних об'єктів в умовах невизначеності; обґрунтовано підходи до використання алгоритмів кластерного аналізу як складової інформаційної технології оцінювання та моніторингу технічного стану будівель і споруд).

2. Terentyev O.O., Gorbatyuk Ie.V., Tyslenko O.B., **Bykov S.V.** Program and technical complex of implementation of the information system of diagnostics of the technical condition of buildings. SWorldJournal. Issue No30. Part 1. March 2025. P. 82-96. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2025-30-01-004>. (Особистий внесок здобувача полягає в науковому обґрунтуванні програмно-технічного комплексу інформаційної системи діагностики технічного стану будівель на основі методів нечіткої кластеризації та генетичної оптимізації).

3. Terentyev O.O., Gorbatyuk Ie.V., Tyslenko O.B., **Bykov S.V.** Creation of information methods in the diagnosis of industrial buildings. Modern engineering and innovative technologies. Issue №38. Part 1. April 2025. P. 146-151. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2025-38-01-030>. (Особистий внесок здобувача полягає у розробленні компонентів інформаційних аналітичних систем для оцінювання

технічного стану будівельних об'єктів в умовах невизначеності на основі кластерного аналізу, нечітких множин першого і другого типів та генетичних алгоритмів оптимізації)

4. Gorbatyuk Ie., Terentyev O., Mishchuk D., **Bykov S.** (2025). Integrated models of forecasting reliability of decision making of the system of diagnostics of the technical condition of buildings. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny*, (105), 73–78. <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2025.105.0501>. (Особистий внесок здобувача полягає в обґрунтуванні інтегрованих моделей прогнозування достовірності прийняття рішень у системі діагностики технічного стану будівель та розробленні підходу до їх реалізації в межах інформаційної технології Clustering4Build з використанням мікросервісної архітектури й інтеграції з BIM та IoT-даними).

5. Tyslenko O., **Bykov S.**, & Katin O. (2025). System of organization and functioning of mechanisms for ensuring the operational safety of buildings. *Ways to Improve Construction Efficiency*, 2(56), P. 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) (Особистий внесок здобувача полягає у розвитку функціоналу системи організації та функціонування механізмів забезпечення експлуатаційної безпеки будівель шляхом впровадження інформаційної технології кластерного аналізу, що підвищує достовірність діагностики та прогнозування технічного стану об'єктів в умовах невизначеності).

6. Тисленко О. Б., & **Биков С. В.** (2025). Аналітичні та діагностичні блоки контролю в цифровому середовищі оцінки структурної надійності. *Управління розвитком складних систем*, (64), P. 259–266. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.64.259-266> (Особистий внесок здобувача полягає у створенні аналітичних і діагностичних модулів контролю в цифровому середовищі оцінки структурної надійності будівель, які забезпечують інтелектуальний аналіз даних моніторингу, класифікацію технічного стану на основі методів кластеризації та отримання обґрунтованих діагностичних результатів за умов невизначеності).

7. 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>.

8. Terentyev O.O., Gorbatyuk Ie.V., Tyslenko O.B., **Bykov 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>. URL:

<https://www.proconference.org/index.php/gec/issue/view/gec35-00>. (Особистий внесок здобувача полягає у формуванні підходу до інтелектуальної діагностики деформацій будівельних конструкцій на основі аналізу даних моніторингу та застосування методів кластеризації для ідентифікації змін технічного стану в умовах невизначеності).

9. Терентьев О.О., Горбатьук Є.В., Тисленко О.Б., Биков С.В. Интегрированная модель оценки надёжности решений для диагностики зданий. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference “Scientific achievements of contemporary society”. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2025. P. 280-286. URL: <https://sci-conf.com.ua/vi-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-achievements-of-contemporary-society-10-12-01-2025-london-velikobritaniya-arhiv/>. (Особистий внесок здобувача виявився в обґрунтуванні інтегрованої інформаційно-аналітичної моделі оцінки надійності прийняття рішень у системі діагностики будівель, сприяючи підвищенню адаптивності та достовірності результатів моніторингу)

10. Терентьев О.О., Горбатьук Є.В., Тисленко О.Б., Биков С.В. Информационная технология управления жизненным циклом строительных конструкций и сооружений. 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>. (Особистий внесок здобувача полягав у формуванні інформаційної технології управління життєвим циклом будівельних конструкцій із використанням кластеризації та інтервальних моделей для прогнозування технічного стану).

11. Терентьев О.О., Горбатьук Є.В., Тисленко О.Б., Биков С.В. Моделирование угроз безопасности 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. С. 169-173. URL: <https://sci-conf.com.ua/v-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-science-in-the-modern-world-innovations-and-challenges-23-25-01-2025-toronto-kanada-arhiv/>. (Особистий внесок здобувача проявився у моделюванні загроз безпеки та вразливостей у віртуальному середовищі, що дозволило інтегрувати аналітичні та діагностичні блоки контролю для цифрового моніторингу стану будівель і споруд)

12. Terentyev O.O., Gorbatyuk Ie.V., Tyslenko O.B., Bykov S.V. 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>. (Особистий внесок здобувача полягає у викладі основних положень моделі мобільних інформаційних додатків для

збору та обробки даних моніторингу будівельних об'єктів, що підвищуватиме ефективність автоматизованих рішень у цифровому середовищі)

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Бикова С.В. *«Інформаційна технологія оцінки технічного стану об'єктів будівництва в умовах невизначеності із застосуванням методики кластеризації»*, яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам пп. 5, 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження 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, та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КНУБА зі спеціальності 126 – Інформаційні системи та технології.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу «Інформаційна технологія оцінки технічного стану об'єктів будівництва в умовах невизначеності із застосуванням методики кластеризації», подану Биковим Сергієм Вадимовичем на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 126 – Інформаційні системи та технології, до захисту.

2. Рекомендувати Вченій раді Київського національного університету будівництва і архітектури затвердити такий склад разової спеціалізованої вченої ради:

Голова ради:

БОРОДАВКА Євгеній Володимирович, доктор технічних наук, завідувач кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури.

Рецензенти:

ПОКОЛЕНКО Вадим Олегович, доктор технічних наук, професор, кафедри менеджменту в будівництві Київського національного університету будівництва і архітектури;

ПОПЛАВСЬКИЙ Олександр Анатолійович д.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури.

Офіційні опоненти:

КУЧАНСЬКИЙ Олександр Юрійович д.т.н, професор, професор кафедри біомедичної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ТРАЧ Роман Володимирович д.т.н., професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд Національного університету водного господарства та природокористування

Рішення прийнято одноголосно (за – 26, проти – немає, утримались – немає).

Головуючий

розширеного засідання кафедри
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри інформаційних технологій
проектування та прикладної математики
Київського національного університету
будівництва і архітектури

Євгеній БОРОДАВКА

Секретар

розширеного засідання кафедри
доктор філософії,
доцент кафедри інформаційних технологій
проектування та прикладної математики
Київського національного університету
будівництва і архітектури

Юлія РЯБЧУН

«Підписи Бородавки Є.В. та Рябчук Ю.В. засвідчую»

Секретар вченої ради КНУБА



Микола КЛИМЕНКО