

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора

Поплавського Олександра Анатолійовича на дисертаційну роботу
Бикова Сергія Володимировича на тему: «**Інформаційна технологія оцінки
технічного стану об'єктів будівництва в умовах невизначеності із
застосуванням методики кластеризації**» на здобуття наукового ступеня «доктор
філософії» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології»

Актуальність роботи. Стрімкий розвиток інформаційних технологій у сфері будівництва супроводжується зростанням вимог до достовірності та оперативності оцінювання технічного стану будівель і споруд. Особливої актуальності набуває розроблення інтелектуальних методів оброблення даних, здатних працювати в умовах їх неповноти, неоднорідності та невизначеності. За таких умов традиційні підходи до класифікації не завжди забезпечують необхідну точність, що обумовлює потребу у створенні нових інформаційних технологій, заснованих на сучасних методах аналізу даних.

Проведене здобувачем Биковим С.В. дослідження спрямоване на розв'язання зазначеної проблеми шляхом розроблення комплексної інформаційної технології, яка поєднує моделі нечіткої кластеризації, алгоритми оптимізації та засоби підтримки прийняття рішень. Важливою перевагою роботи є її практична орієнтованість, що підтверджується програмною реалізацією запропонованих рішень і можливістю їх використання під час технічного моніторингу будівельних об'єктів. З огляду на це тема дисертації є актуальною, а отримані результати мають вагомe наукове та прикладне значення.

Наукова новизна одержаних результатів. Полягає у розвитку теоретичних і прикладних засад інформаційних технологій оцінювання технічного стану об'єктів будівництва в умовах невизначеності шляхом удосконалення моделей нечіткої кластеризації, алгоритмів їх параметричної оптимізації та програмної реалізації відповідних методів.

Позитивної оцінки заслуговує те, що здобувачем Биковим С.В. отримано взаємопов'язані наукові результати, які охоплюють математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення процесу оцінювання технічного стану будівельних об'єктів. Запропоновані підходи дозволяють підвищити точність класифікації в умовах неповних і неоднорідних даних, а також забезпечують автоматизований вибір параметрів кластеризації та підтримку прийняття рішень. Окремої уваги заслуговує реалізація розроблених моделей у складі інформаційної технології Clustering4Build, що свідчить про комплексний характер виконаного дослідження та практичну спрямованість одержаних наукових результатів.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність дисертаційної роботи визначається тим, що здобувачем Биковим С.В. запропоновано інформаційну технологію, яка доведена до рівня програмної реалізації та може бути використана для автоматизації процесів оцінювання технічного стану об'єктів будівництва. Реалізація розроблених моделей і алгоритмів у складі програмного комплексу Clustering4Build свідчить про прикладну спрямованість виконаного дослідження та можливість його практичного використання під час оброблення результатів технічного моніторингу.

Позитивної оцінки заслуговує те, що запропоновані здобувачем алгоритмічні рішення орієнтовані на роботу з неоднорідними та неповними даними, що значно розширює можливості їх застосування в реальних умовах експлуатації будівель і споруд. Отримані результати можуть бути використані у діяльності організацій, які здійснюють технічне обстеження, експертне оцінювання та моніторинг технічного стану об'єктів будівництва, а також у навчальному процесі під час підготовки фахівців за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

Відповідність паспорту спеціальності та назві роботи. Дисертаційна робота здобувача Бикова С.В. за змістом, поставленою метою, визначеними завданнями, предметом і методами дослідження відповідає спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології». Основні результати дослідження присвячені розробленню інформаційної технології, математичних моделей, алгоритмічного забезпечення та програмних засобів оцінювання технічного стану об'єктів

будівництва, що повністю узгоджується з предметною областю зазначеної спеціальності.

Назва дисертації є коректною, повною мірою відображає зміст виконаного дослідження та відповідає отриманим науковим результатам. Усі основні положення роботи логічно пов'язані з її тематикою, а наведені у дисертації результати підтверджують досягнення поставленої мети та розв'язання сформульованих наукових завдань.

Аналіз основного змісту, наукової новизни, достовірності результатів дослідження та обґрунтованості висновків і рекомендацій. Дисертаційна робота здобувача Бикова С.В. має логічну структуру та характеризується послідовним викладом матеріалу. Побудова дослідження забезпечує цілісний перехід від аналізу сучасного стану проблеми оцінювання технічного стану об'єктів будівництва до розроблення математичних моделей, алгоритмічного забезпечення, програмної реалізації інформаційної технології та експериментальної перевірки її ефективності. Позитивної оцінки заслуговує комплексний характер проведеного дослідження. Здобувач не обмежився удосконаленням окремих алгоритмів кластеризації, а сформував завершену інформаційну технологію, яка інтегрує методи нечіткої кластеризації, алгоритми оптимізації, систему підтримки прийняття рішень та програмний комплекс Clustering4Build. Такий підхід свідчить про системність виконаної роботи та практичну спрямованість отриманих результатів.

Наукові положення, висновки та рекомендації є достатньо обґрунтованими і базуються на використанні сучасного математичного апарату, методів інтелектуального аналізу даних, результатах моделювання та експериментальних досліджень. Достовірність отриманих результатів підтверджується їх апробацією, порівняльним аналізом ефективності запропонованих рішень і узгодженістю експериментальних результатів із поставленими завданнями дослідження. Загалом зміст дисертаційної роботи повною мірою відповідає визначеній меті та поставленим завданням, а отримані здобувачем Биковим С.В. результати

характеризуються науковою обґрунтованістю, внутрішньою логічною узгодженістю та практичною цінністю.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані здобувачем Биковим С.В., характеризуються належним рівнем обґрунтованості, логічною послідовністю та узгодженістю з метою і завданнями дисертаційного дослідження. Їх достовірність забезпечується комплексним використанням методів системного аналізу, математичного моделювання, нечіткої кластеризації, оптимізаційних алгоритмів та програмної інженерії. Обраний методичний інструментарій відповідає специфіці оцінювання технічного стану об'єктів будівництва за неповних, неоднорідних і невизначених вхідних даних. Позитивної оцінки заслуговує послідовність формування наукових результатів: теоретичні положення слугують основою для побудови математичних моделей, які надалі трансформуються в алгоритмічне та програмне забезпечення інформаційної технології. Завдяки цьому між окремими складовими дослідження простежується чіткий змістовий зв'язок, а сформульовані висновки не мають декларативного характеру, оскільки спираються на результати моделювання, обчислювальних експериментів і практичної реалізації запропонованих рішень.

Особливої уваги заслуговує обґрунтування доцільності застосування нечіткої кластеризації для розпізнавання технічного стану будівельних об'єктів. Використання інтервальних нечітких множин другого типу дає змогу враховувати невизначеність функцій належності, зумовлену похибками, неповнотою та неоднорідністю діагностичних даних. Це відповідає характеру вхідних даних технічного моніторингу, які можуть містити похибки вимірювань, пропуски, суперечливі оцінки та відмінності між джерелами інформації. Обраний підхід створює достатнє методологічне підґрунтя для підвищення об'єктивності класифікації стану досліджуваних об'єктів. Важливою складовою обґрунтованості одержаних результатів є застосування оптимізаційних процедур для визначення параметрів моделей кластеризації. Поєднання нечітких методів із генетичними алгоритмами дозволило зменшити залежність результатів від початкових

налаштувань і забезпечити більш обґрунтований вибір параметрів моделі. Такий підхід підсилює достовірність отриманих кластерних рішень та підтверджує системний характер запропонованої інформаційної технології.

Безперечною перевагою проведеного дослідження є доведення розроблених положень до рівня програмної реалізації. Створення програмного комплексу Clustering4Build забезпечило перевірку працездатності запропонованих моделей і алгоритмів у межах єдиного інформаційного середовища. Архітектурна організація програмного забезпечення поєднує процедури підготовки вхідних даних, виконання кластеризації, оптимізації параметрів, інтерпретації результатів та підтримки прийняття рішень. Це підтверджує не лише теоретичну коректність, а й технологічну реалізованість одержаних результатів. Достовірність наукових положень забезпечується проведенням експериментальних досліджень і порівняльним оцінюванням результативності запропонованих рішень. Наведені результати дозволяють простежити вплив розроблених моделей та алгоритмів на точність і стійкість класифікації технічного стану. Узгодженість результатів експериментів із теоретичними положеннями свідчить про коректність обраних методів та обґрунтованість зроблених узагальнень. Сформульовані здобувачем рекомендації мають прикладний характер і логічно впливають із результатів розроблення та апробації інформаційної технології. Вони орієнтовані на використання запропонованих засобів під час оброблення даних технічного моніторингу, визначення класів стану будівельних об'єктів та інформаційної підтримки фахівців, які приймають рішення щодо подальшої експлуатації, обстеження або відновлення об'єктів. Отже, наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи є взаємопов'язаними, достатньо аргументованими й підтвердженими результатами теоретичних, алгоритмічних, програмних та експериментальних досліджень. Одержані здобувачем Биковим С.В. результати характеризуються належним рівнем достовірності, внутрішньою несуперечливістю та практичною спрямованістю.

Зауваження до дисертаційної роботи. Попри загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, доцільно висловити окремі зауваження та рекомендації, які мають переважно дискусійний характер і не впливають на загальну наукову цінність одержаних результатів.

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 чи 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 повніше 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 такого вибору дозволило б повніше аргументувати прийняте алгоритмічне рішення.

4) У підрозділі 3.1.3 (с. 147–149) детально викладено математичний апарат ітераційного алгоритму Карника–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.

Наведені зауваження мають рекомендаційний характер, не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи й не впливають на загальну позитивну оцінку проведеного дослідження.

Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...». Дисертаційна робота здобувача Бикова С.В. за своїм змістом, структурою, рівнем виконання та отриманими результатами відповідає вимогам, визначеним Порядком присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженим

постановою Кабінету Міністрів України. Дисертація є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальне наукове завдання, що має важливе значення для розвитку інформаційних систем і технологій у сфері оцінювання технічного стану об'єктів будівництва. Представлені у дисертації наукові результати характеризуються новизною, належним рівнем теоретичного обґрунтування та практичною цінністю. Зміст роботи повністю відповідає сформульованій меті, поставленим завданням, предмету й об'єкту дослідження, а висновки логічно випливають із проведених теоретичних, алгоритмічних, програмних та експериментальних досліджень. Одержані здобувачем результати пройшли апробацію, відображені у наукових публікаціях та підтверджують особистий внесок здобувача у розв'язання поставленого наукового завдання.

Оформлення дисертаційної роботи відповідає встановленим вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а обсяг, структура, логіка викладення матеріалу та рівень аргументації забезпечують цілісне сприйняття отриманих результатів. Дотримано принципів академічної доброчесності, а результати дослідження мають достатній рівень наукової достовірності та практичної значущості.

Дисертаційна робота Бикова С.В. відповідає вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а її зміст, рівень наукової новизни, обґрунтованість висновків та практична цінність дають підстави для позитивної оцінки виконаного дослідження.

Загальний висновок. Висловлені зауваження не зменшують наукової та практичної цінності результатів дисертаційної роботи загалом. Вважаю, що дисертаційна робота Бикова Сергія Володимировича «Інформаційна технологія оцінки технічного стану об'єктів будівництва в умовах невизначеності із застосуванням методики кластеризації» є завершеною науковою працею, яка має теоретичне та практичне значення. Сформульована в дисертації мета дослідження досягнута.

Робота відповідає галузі знань 12 «Інформаційні технології» та спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», а також вимогам до дисертацій на

здобуття ступеня доктора філософії, установленим Вимогами до оформлення дисертації, затвердженими наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40, зі змінами, внесеними наказом Міністерства освіти і науки України від 31 травня 2019 р. № 759, та Порядком присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, у редакції постанови Кабінету Міністрів України від 3 травня 2024 р. № 507. Автор дисертації – Биков Сергій Володимирович – заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

Рецензент

д.т.н., професор кафедри інформаційних
технологій Київського національного
університету будівництва і архітектури



О.А. Поплавський