

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Сторожика Дениса Володимировича

на тему “Удосконалення автоматизованої системи діагностування дорожнього покриття з використанням штучного інтелекту”,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування
за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології

Актуальність теми дисертації.

Проблема автоматизації діагностування дорожнього покриття для покращення якості робіт сервісних служб з кожним роком стає все більш актуальною, адже від оперативності усунення тріщин, вибоїн, ям, колій та інших дефектів залежить безпека дорожнього руху, життя та здоров’я його учасників, соціальний рівень розвитку країни. Очевидно, що при діагностуванні дорожнього покриття і плануванні робіт для його ремонту, необхідно провести збір та обробку множини просторових даних, що при застосуванні традиційних способів є досить трудомістким та фінансово затратним процесом. Саме тому інтеграція новітніх та вдосконалення відомих методів та засобів автоматизації діагностування дорожнього покриття може призвести до суттєвих безпекових та соціальних ефектів.

Саме тому суттєву увагу у дисертації приділено як власне вдосконаленню автоматизованої системи діагностування дорожнього покриття, так і розробці спеціальних засобів штучного інтелекту для автоматичної обробки множини просторових даних про стан дорожнього покриття, що інтегровано у структуру пропонованої системи. У цілому проведене автором дослідження, спрямоване на підвищення якості та зменшення трудомісткості діагностування стану дорожнього покриття шляхом розробки та застосування інформаційного, методичного, алгоритмічного та програмного забезпечення відповідної автоматизованої системи.

Саме тому тема дисертаційної роботи Сторожика Д. В. “Удосконалення автоматизованої системи діагностування дорожнього покриття з використанням штучного інтелекту” є актуальною.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукові положення, висновки та рекомендації у достатній мірі обґрунтовані. Вони базуються на сучасних вітчизняних та зарубіжних наукових джерелах, а також коректно використовують числові методи математичного аналізу, штучного інтелекту, теорії вимірювань, теорії ймовірності та математичної статистики, комп’ютерного моделювання, та опрацювання експериментальних даних.

Значна частина інформації подана у математичних викладах, малюнках, схемах, таблицях, які ілюструють та доповнюють наукові положення дисертації.

Достовірність отриманих результатів обчислювальних експериментів підтверджується правильним використанням відповідних математичних моделей, порівнянням отриманих результатів із відомими експериментальними даними та кількісною оцінкою точності моделей.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Удосконалено систему автоматизованого діагностування стану дорожнього покриття на основі мультимодального підходу із комплексуванням зображень шляхом впровадження підсистеми опрацювання (обробки) зображень, застосування методу аугментації теплових зображень та розробленої підсистеми класифікації дефектів дорожнього покриття;

2. Вперше запропоновано та розроблено метод мультиспектрального злиття зображень з адаптивним визначенням вагових коефіцієнтів на основі вейвлет перетворення, який полягає в розкладанні початкових зображень на вейвлет коефіцієнти та визначені згортковою нейронною мережею вагових коефіцієнтів, що визначають частку початкового зображення в результуючому, і дозволяє збільшити інформативність результуючого зображення при проведенні діагностування дорожнього покриття;

3. Вперше розроблено метод аугментації теплових зображень на базі злиття зображень для задач класифікації, який полягає в поєднанні вейвлет коефіцієнтів отриманих з початкових зображень одного об'єкту та зворотному перетворенню для отримання аугментованого зображення, і дозволяє підвищити ймовірність правильної класифікації дефектів при проведенні діагностування дорожнього покриття.

Наукові дослідження виконано відповідно до плану досліджень кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Автор був співвиконавцем ініціативного проєкту «Автоматизація процедур теплового неруйнівного контролю з використанням технологій штучного інтелекту» (Державний реєстраційний номер 0123U103688, 2023 р.). крім того, результати дисертаційної роботи автора були впроваджені у виробничий процес Науково-виробничої фірми «Діагностичні прилади» та навчальний процес кафедри Автоматизації та систем неруйнівного контролю Приладобудівного факультету.

Таким чином, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання вдосконалення автоматизованої системи діагностування дорожнього покриття з використанням штучного інтелекту, виконано повністю. Здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Сторожика Д. В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 151 – “Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології” та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям “Автоматизовані системи управління”.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Сторожика Дениса Володимировича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Застосована в роботі наукова термінологія є загальновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку літератури та чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 136 сторінок. Всі розділи дисертаційної роботи пов'язані між собою логікою розв'язання поставленої наукової проблеми.

У *вступі* здобувачем обґрунтовано актуальність теми дисертації, мета і завдання досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, апробація результатів дисертаційної роботи, інформація щодо публікацій, структура та обсяг дисертаційної роботи.

У *першому розділі* дисертаційної роботи представлено огляд стану проблеми та обґрунтовано напрямок досліджень. Сформульовано загальну задачу та підходи до автоматизації процесу діагностування дорожнього покриття. Наведено основні методи та засоби діагностики стану дорожнього покриття та тенденції їх розвитку, обґрунтовано необхідність застосування таких елементів штучного інтелекту як штучні нейронні мережі, як найбільш ефективного засобу для вирішення поставленої проблеми. Проведено аналіз попередніх робіт за темою дослідження та обґрунтовано мету і завдання даних напрямів дослідження.

У *другому розділі* роботи представлено застосування технологій діагностування стану дорожнього покриття в автоматизованих системах. Зокрема, акцентовано увагу на використанні комплексування зображень дефектів дорожнього покриття для збільшення інформативності отримуваної множини просторових даних. Проаналізовано використання нейронних мереж в системах діагностики. Визначено, що у задачах автоматизації діагностики домінують методи на базі глибоких нейронних мереж зі згортковими блоками, що обумовлено значною ефективністю операції згортки при обробці та аналізі зображень. Також визначено, що основним методом боротьби з перенавчанням та браком даних для навчання нейронної мережі є аугментація даних. Вказано, що використання комбінацій різних методів аугментації дозволяє підвищити

ефективність навчання та зменшити перенавчання нейронних мереж.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи здобувачем представлено розробку методу аугментації на базі комплексування зображень з вейвлет перетворенням та виконано його оцінку. Методом статистичного аналізу підтверджено ефективність запропонованого здобувачем методу для розв'язку задач класифікації дефектів дорожнього покриття. Розроблено згорткову нейронну мережу для автоматичного визначення вагових коефіцієнтів при комплексуванні зображень, яка дозволяє адаптивно підбирати вагові коефіцієнти для їх подальшого використання у запропонованому здобувачем методі комплексування. Ефективність роботи запропонованої здобувачем штучної нейронної мережі проаналізовано на валідаційній вибірці.

У *четвертому розділі* дисертаційної роботи представлено розробку автоматизованої системи діагностики дорожнього покриття, яка являє собою складну багатокомпонентну систему з великою кількістю функціонально взаємозв'язаних підсистем, елементи яких пов'язані між собою структурними, функціональними, інформаційними, просторово-часовими типами зв'язків. В даному розділі зосереджено увагу на розробці таких складових автоматизованої системи діагностики дорожнього покриття як підсистема обробки зображень та підсистема підтримки прийняття рішень. Особливу увагу приділено етапам процесу попередньої обробки зображень з їх комплексуванням, що реалізуються у підсистемі обробки зображень. Окремо висвітлено питання навчання нейронної мережі для класифікації типів дефектів, як складової підсистемі обробки зображень. Крім того приділена увага розробці продукційних моделей прийняття рішень на яких ґрунтується робота підсистемі підтримки прийняття рішень. Результати цих розробок узгоджуються з теоретичними прогнозами, представленими в попередніх розділах. Наукові висновки цього розділу були опубліковані в ряді наукових робіт.

У *п'ятому розділі* дисертаційної роботи зосереджено увагу на експериментальних дослідженнях працездатності автоматизованої системи діагностування дорожнього покриття. Проведено імітаційне моделювання системи, за результатами якого здобувач вказує на працездатність запропонованої системи. Здобувачем отримано практичні результати точності виявлення типу дефектів на рівні 98-99% та визначено, що похибка розрахунку площі не перевищує 1м².

У *загальних висновках* до дисертаційної роботи сформульовано основні результати теоретичних та експериментальних досліджень, що представлені у роботі, відповідно до порядку та кількості сформульованих у вступі завдань дослідження.

У *додатках* наведено матеріали, що підтверджують новизну пропонуваніх технічних рішень та практичну цінність роботи, зокрема акти впровадження результатів роботи, а також програмний код функції на мові програмування Python для аугментації запропонованим методом та програмний код функції на мові програмування Python для комплексування запропонованим методом.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 6 наукових фахових конференціях.

Усі публікації здобувача мають високий науковий рівень. Особистий внесок здобувачки до публікацій за співавторством вагомий.

Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело. Принципів академічної доброчесності у жодній з публікацій не порушено.

Кількість та якість публікацій відповідає «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою КМУ від 12 січня 2022 р. № 44.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Загалом робота створює позитивне враження.

Не зважаючи на високий науковий рівень дисертації, її практичну значущість та актуальність по роботі є зауваження, а її окремі положення потребують пояснень:

1. При формулюванні пунктів наукової новизни доцільно було б вказати чим вони відрізняються від існуючих і в чому їх переваги.

2. У якості мети дисертаційної роботи вказано підвищення якості та зменшення трудомісткості діагностування стану дорожнього покриття, проте у самому тексті відсутня інформація які саме показники якості були підвищені і на скільки була підвищена якість та зменшена трудомісткість.

3. У дисертаційній роботі не розглянуто економічні та соціальні ефекти впровадження удосконаленої автоматизованої системи діагностування стану дорожнього покриття.

4. У якості практичних значень отриманих результатів вказано, що здобувачем розроблено програмне забезпечення (ПЗ) підсистеми опрацювання зображень при автоматизованому діагностуванні дефектів дорожнього покриття та підсистеми класифікації дефектів дорожнього покриття. Проте у тексті відсутні скріншоти екранних форм, графічного інтерфейсу, інтерфейсу користувача розробленого ПЗ тощо.

5. У розділі 3 було б доцільним при оцінці методу аугментації на базі комплексування зображень з вейвлет перетворенням приділити увагу умовам, методам та засобам проведення експерименту, у тому числі програмному забезпеченню, що використовувалось для моделювання роботи нейронної мережі.

6. В дисертаційній роботі присутні деякі некоректності, допущені при оформленні, зокрема, при оформленні блок-схем алгоритмів (рис. 4.10, 4.11), виконанні підпису рис. 3.3. Мають місце граматичні (наприклад, стор. 13, 16,

17, 19, 58) та стилістичні неточності формулювань, наприклад, автор плутає поняття метод і методика (стор. 80).

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів, а також не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Сторожика Дениса Володимировича на тему “Удосконалення автоматизованої системи діагностування дорожнього покриття з використанням штучного інтелекту” виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені п. 6 – 9 “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 р. № 44.

Здобувач Сторожик Денис Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Рецензент:

професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю
Національного технічного університету України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”,
доктор технічних наук, професор



«13» березня 2025 року

