

## В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Сторожика Дениса Володимировича  
на тему «Удосконалення автоматизованої системи діагностування дорожнього  
покриття з використанням штучного інтелекту»,  
що представлена на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування  
за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

### **Актуальність теми дисертації.**

Сьогодення характеризується зростанням рівня автоматизації складних технологічних процесів у різних галузях промисловості, що спричинено необхідністю підвищення ефективності виробництва. Автодорожня галузь України не є виключенням. Удосконалення автоматизованих систем діагностування дорожньо-транспортного покриття викликано ростом вимог до якості його ремонту і обслуговування. Враховуючи велику протяжність автомобільних шляхів в країні, діагностика та ремонт таких важливих об'єктів інфраструктури є надзвичайно затратними і потребує значного фінансування. Отже, своєчасне діагностування стану дорожньо-транспортного покриття значно зменшує видатки на ремонт і обслуговування цих об'єктів.

Враховуючи, що дорожнє покриття характеризується значною протяжністю у просторі та може мати велику кількість різновидів дефектних структур, виникає потреба у зборі і обробці значного обсягу інформації при діагностуванні його стану. З цих причин процес діагностування потребує вкладання значних матеріальних ресурсів. Одним із способів вирішення вказаних проблем є автоматизація процесів збору і аналізу отриманих даних з наступним прийняттям рішень щодо необхідності проведення та обсягу ремонтних робіт. Такий підхід здатний зменшити витрати на проведення робіт для підтримання дорожньо-транспортного покриття в належному стані. В той же час, впровадження таких автоматизованих систем, які би забезпечили ефективність визначення дефектності дорожнього покриття, потребує високовартісного обладнання.

Дослідниками, котрі працюють в цій сфері, пропонуються певні варіанти вирішення проблеми щодо обробки великого обсягу інформації, отриманої її поєднанням внаслідок відбору з датчиків різної модальності, завдяки використанню сучасних технологій, зокрема нейромережових. Незважаючи на досягнені успіхи на цьому напрямку, існуючі автоматизовані системи



діагностики не є достатньо ефективними і потребують їх удосконалення. Отже, обрана тема дисертації є актуальною та направлена на виконання цього конкретного наукового завдання, що має істотне значення для зазначеної галузі.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукові результати дисертації Сторожика Д.В. отримані з використанням сучасного математичного апарату, методів теплового неруйнівного контролю та методів обробки і опрацювання експериментальних даних. Для виконання завдань, поставлених в дисертації, було запропоновано використання елементів штучного інтелекту, а саме нейромережевих технологій. Проблему нестачі даних для реалізації нейромережевих технологій вирішено використанням методу аугментації зображень. Отримані здобувачем наукові положення, висновки та рекомендації у достатній мірі обґрунтовані. Достовірність отриманих результатів підтверджується порівнянням отриманих теоретичних та експериментальних даних.

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 визначенні 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.



Отже, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання є цілком виконаним, а здобувач продемонстрував навички фахового володіння методологією наукових досліджень.

**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».

Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 136 сторінок.

У вступі здобувачем обґрунтовано актуальність теми дисертації, мета і завдання досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, відомості щодо апробації результатів дисертаційної роботи, інформація щодо публікацій, структури та обсягу дисертаційної роботи.

У першому розділі дисертаційної роботи розглянуто сучасний стан проблеми діагностування дорожнього покриття. Наведено опис структури дорожнього покриття та класифікацію дефектів і їхнього впливу на експлуатаційні характеристики об'єкту діагностування. Проаналізовано існуючі автоматизовані системи діагностування дорожнього покриття. Проведено порівняльний аналіз методів діагностування. Зроблено висновок, що поєднання методів діагностики з нейронними мережами дає можливість використання сучасних методів машинного навчання для автоматизації обробки та оцифрування даних. Проведено аналіз попередніх робіт за темою дослідження та обґрунтовано мету і завдання для відповідних напрямів дослідження.

У другому розділі дисертаційної роботи розглянуто технології діагностування стану дорожнього покриття в автоматизованих системах. Встановлено, що методи комплексування зображень здатні поєднувати зображення різних модальностей в єдину картину, що дає можливість використовувати наявні методи обробки зображень для задач діагностики дорожнього покриття. Показано, що використання нейронних мереж в системах діагностики виявилось доволі ефективним підходом. Проте, в задачах автоматизації діагностування домінують методи на базі глибоких нейронних мереж з згортковими блоками. Для штучного збільшення набору даних для нейронних мереж запропоновано методи аугментації даних.



У *третьому розділі* дисертаційної роботи представлено розробку методу аугментації на базі комплексування зображень з вейвлет перетворенням, який допомагає вирішити проблеми пов'язані з браком об'єму та різноманітності даних в навчальній вибірці. Проведено порівняння результатів використання запропонованого методу аугментації з результатами застосування раніше відомих методів. Методом статистичного аналізу підтверджено ефективність запропонованого методу для розв'язку задач класифікації дефектів. Створено та програмно реалізовано нейронну мережу для адаптивного визначення вагових коефіцієнтів, яка забезпечила можливість їх використання в запропонованому методі комплексування зображень. Ефективність роботи запропонованої здобувачем штучної нейронної мережі проаналізовано на валідаційній вибірці. Проведено порівняльний аналіз запропонованого методу комплексування зображень з раніше відомими аналогічної спрямованості.

У *четвертому розділі* пропонується структурна схема автоматизованої системи діагностики дорожнього покриття з елементами штучного інтелекту, де зосереджено увагу на розробленні таких складових автоматизованої системи як підсистема обробки зображень та підсистема підтримки прийняття рішень. Результати цих розробок узгоджуються з теоретичними прогнозами, представленими в попередніх розділах. Проведено формування навчальної вибірки зображень дефектів дорожнього покриття у видимому та інфрачервоному спектрах. Виконано навчання моделі нейронної мережі для класифікації типів дефектів, що стало основою для подальшої розробки підсистеми опрацювання зображень, отриманих з камер ходових лабораторій. Розроблено алгоритми руху ходової лабораторії та функціонування підсистеми обробки зображень.

У *п'ятому розділі* дисертаційної роботи розглядалася експериментальна перевірка адекватності функціонування запропонованої автоматизованої системи діагностики дорожнього покриття. На наборі зображень з різним рівнем прояву дефектів проведено імітаційне моделювання здатності системи до роботи, за результатами якого підтверджено її працездатність. Отримано практичні результати достовірності виявлення типу дефектів та визначена похибка розрахунків їх площі.

У *загальних висновках* до дисертаційної роботи у відповідності до порядку та кількості сформульованих завдань дослідження в концентрованому вигляді наведено основні результати представлених теоретичних та експериментальних досліджень.



У додатках містяться акти впровадження результатів роботи, а також програмний код на мові програмування Python функції реалізації аугментації для комплексування зображень запропонованим методом. Матеріали, що наведені, підтверджують новизну пропонованих технічних рішень та практичну цінність роботи.

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

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, а отримані в ній результати свідчать щодо наявності особистого внеску здобувача у науковий напрям «Автоматизовані системи управління».

Розглянувши звіт подібності на текстові співпадиння за результатами перевірки дисертаційної роботи, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Сторожика Д.В. 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. Матеріал викладено послідовно у відповідності з логікою виконання поставленого наукового завдання і є доступним для розуміння етапів його реалізації. В роботі використано стиль та наукову термінологію, які є загальновизнаними в науковому світі.

#### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 12-ти наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; одна стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus; матеріали 6-ти наукових фахових конференцій, які свідчать щодо достатнього рівня апробації результатів дисертації.

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.



Отож, усі основні результати дисертаційних досліджень здобувача достатньо повно висвітлені у його наукових публікаціях. Особистий внесок здобувача в публікаціях із співавторством є вагомим.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота здобувача характеризується досить високими науковим рівнем та практичною значимістю, проте не є вільною від деяких недоліків і зауважень:

1. Дещо нетрадиційною виглядає структура дисертації, оскільки розділ 2 знову містить огляд, зокрема методів комплексування тощо, хоча зазвичай в ньому вже повинен розміщуватися матеріал власних досліджень здобувача. Вважаю правильним перенесення відповідного матеріалу до розділу 1 та скорочення кількості розділів дисертації до чотирьох.

2. Пункт 1 наукової новизни викладено в формулюванні, яке не вносить повного чіткого розуміння в чому полягає вдосконалення прототипу та доволі невиразно акцентує на здобутках дисертанта. Як на мене, у викладенні пункту замість «....шляхом впровадження підсистеми опрацювання (обробки) зображень, застосування методу аугментації теплових зображень та розробленої підсистеми класифікації дефектів дорожнього покриття» доцільнішим було би дотримуватися традиційної для такого випадку формули формулювання тексту на кшталт: **«удосконалено** систему автоматизованого діагностування стану дорожнього покриття на основі мультимодального підходу із комплексуванням зображень для підвищення інформативності підсумкових знімків злиттям в єдині, **яка відрізняється** інтеграцією у склад програмного забезпечення запропонованих спеціалізованих оригінальних модулів паралельного препроцесінгу первинних зображень та нейромережевої класифікації дефектів покриття із застосуванням при реалізації ефективних технік аугментації теплових зображень, **що дозволило.....»**.

3. В тексті дисертації відсутні певні деталі використання вейвлет-перетворень, щодо яких хотілося би отримати пояснення. Який тип вейвлетів обрано для аналізу зображень та чим це обґрунтовано? Чи будуть спостерігатися значимі зміни в результатах при використанні інших типів вейвлетів? Чи це досліджувалося? Як визначається глибина розкладу при вейвлет-перетвореннях зображення, тобто максимальна кількість коефіцієнтів?

4. Комплексування зображень в запропонованій логіці відповідно до (3.8) передбачає використання всіх коефіцієнтів вейвлет-розкладу із відповідними вагами у формуванні підсумкового зображення, при цьому приймаються до



уваги всі мілкомасштабні (деталізуючи) коефіцієнти, які в тому числі викликані шумами в зображеннях та які доцільно було би не використовувати при зворотному перетворенні. Чи є це раціональним?

5. Насправді із 6-ти статей, опублікованих здобувачем, можна враховувати фактично 5-ть з них, оскільки якщо число співавторів у якійсь статті (разом із здобувачем) становить більше двох осіб, така стаття прирівнюється до 0,5 публікації.

6. Не зовсім чітким, на мою думку, є викладення передумов реалізації процедури класифікації дефектів дорожнього покриття, тобто не зрозуміло скільки введено класів, як обґрунтовувався та виконувався розподіл саме на таку їх кількість, чи є обов'язковим відношення дефекту «аномального типу», котрий за прийнятими ознаками не відноситься ні до одного класу, до одного найближчого із попередньо зазначених, чи про таку ситуацію отримується сповіщення?

7. У тексті в цілому доволі грамотно написаної дисертації зустрічаються орфографічні помилки.

Проте, на мою думку, вказані недоліки не є суттєвими, вони не впливають на загальну позитивну оцінку виконаного наукового дослідження, його новизну та практичну значимість.

### **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 достатньо 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.

**Офіційний опонент:**

професор кафедри приладобудування,  
мехатроніки та комп'ютеризованих  
технологій Черкаського державного  
технологічного університету,  
професор, доктор технічних наук



Володимир ГАЛЬЧЕНКО

Підпис д.т.н., професора Гальченка Володимира Яковича засвідчую:

Учений секретар Черкаського  
державного технологічного  
університету



Ірина МІРОНЕЦЬ



« 10 » березня 2025 року