

ВІДГУК

офіційного опонента 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. Сьогодні особливого значення набуває автоматизація технологічних процесів у промисловості, що зумовлено їхньою зростаючою складністю та підвищеними вимогами до якості продукції. Удосконалення автоматизованих систем діагностування дорожньо-транспортного покриття викликано необхідністю підвищення якості обслуговування системи доріг і проведення на них своєчасного ремонту. Розгалужена система автотранспортних шляхів потребує значних коштів для ремонту та відновлення, розмір цих коштів напряму залежить від якісної оцінки стану і своєчасності ремонтних робіт.

Діагностування стану поверхні автомобільних шляхів є складною і затратною процедурою, що обумовлено їх протяжністю і великою кількістю типів дефектів. Технологія діагностування потребує збору даних з поверхні сотень, а інколи тисяч кілометрів дорожнього покриття. Далі, отриманий об'єм інформації потребує оперативного опрацювання і винесення рішень. Вирішення цієї складної задачі можливе шляхом автоматизації процесів збору і аналізу отриманих даних з наступним прийняттям рішення про необхідність ремонтних робіт. Однак, широкому впровадженню таких автоматизованих систем перешкоджає велика ціна обладнання та точність визначення дефектності дорожнього покриття.

Дисертаційна робота здобувача спрямована на подолання вказаних перешкод. Метою авторського дослідження було підвищення якості і зменшення трудомісткості процесу діагностування стану дорожнього покриття шляхом запровадження в системи автоматизації елементів штучного інтелекту, а саме нейромережових технологій. Існуючі на сьогодні системи діагностики не забезпечують достатньої ефективності при використанні або є витратними як у фінансовому плані, так і за трудовими ресурсами, тому тема дисертаційної роботи «Удосконалення автоматизованої системи діагностування дорожнього покриття з використанням штучного інтелекту» є важливою і актуальною.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни. Отримані здобувачем наукові результати заслуговують високої оцінки.

Робота має чітку структуру, матеріал подано зрозуміло і в логічній послідовності, завдання дослідження чітко визначені. Наукові положення, висновки та рекомендації у достатній мірі обґрунтовані.

Достовірність отриманих результатів підтверджується коректним використанням методів аналізу що базуються на теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії методів теплового неруйнівного контролю, методів обробки зображень та опрацювання експериментальних даних, а також 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.

Таким чином, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання в сфері автоматизації виконано повністю і 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 співпадіння, 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 здобувача Сторожика Д. В. написана українською мовою і повністю відповідає Стандарту вищої освіти за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології та напрямкам досліджень у відповідності до освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології. Виклад результатів досліджень, висновків та рекомендацій є послідовним, чітким і доступним для сприйняття. Кожен розділ дисертації логічно пов'язаний з наступним, а в цілому формується закінчене наукове дослідження.

Дисертація складається з 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, апробація результатів дисертаційної роботи, інформація щодо публікацій, структура та обсяг дисертаційної роботи.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячено сучасному стану проблеми діагностування дорожнього покриття. Розглянуто методи діагностування стану дорожнього покриття, серед яких методи дистанційного зондування, штучні нейронні мережі та комбіновані методи з використанням мультисенсорних систем. Проведено порівняльний аналіз переваг і недоліків цих методів. Надано ґрунтовний аналіз стану сучасних автоматизованих систем діагностування і ремонту дорожнього покриття. Зроблено висновок, що поєднання методів діагностування з нейронними мережами дає можливість використання сучасних методів машинного навчання для автоматизації обробки та оцифрування даних та використання цих даних для створення надійних моделей, які навчаються.

У **другому розділі** дисертаційної роботи розглянуто технології діагностування стану дорожнього покриття в автоматизованих системах. Увагу приділено методам злиття зображень різних модальностей в одну єдину картину, що, на думку автора дає можливість використовувати наявні методи обробки зображень для задач діагностування дорожнього покриття. Зроблено висновок, що для вирішення задач автоматизації процесів діагностування, ефективним підходом є використання глибоких нейронних мереж з згортковими блоками. Проблему нестачі набору даних для нейронних мереж пропонується вирішувати застосуванням методів аугментації даних.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи запропоновано метод аугментації даних на базі комплексування зображень з вейвлет перетворенням, а також проведено його оцінку. Методом статистичного аналізу підтверджено ефективність запропонованого методу для розв'язку задач класифікації дефектів. Автором запропоновано нейронну мережу, яка використана для реалізації методу комплексування. Її ефективність проаналізовано на валідаційній вибірці. Проведено порівняльний аналіз запропонованого методу комплексування з представленими раніше методами.

У **четвертому розділі**, на базі досліджень у попередніх розділах, автором запропоновано структурну схему автоматизованої системи діагностики та ремонту дорожнього покриття з елементами штучного інтелекту. Основними складовими цієї системи є підсистема обробки зображень та підсистема підтримки прийняття рішень. Здійснено формування навчальної вибірки зображень дефектів дорожнього покриття у двох спектральних діапазонах та проведено детальний аналіз здатності ряду нейронних мереж до здійснення операції сегментації зображень, яка необхідна для визначення площі дефектів. Обрано модель, яка виявила високу точність (90%) сегментації при використанні текстових підказок. Головною ціллю підсистеми обробки зображень автор ставить перехід від зображень дефектів до визначення їх типів та площі. Підсистема підтримки прийняття рішень на основі зібраних даних, визначає категорію стану дорожнього покриття на ділянці діагностування і пропонує обсяги ремонтних робіт для усунення дефектності

ділянки. Автор пропонує алгоритми руху ходової лабораторії та роботи підсистеми обробки зображень, які реалізують поставлені завдання.

У **п'ятому розділі** дисертаційної роботи представлені результати експериментальної перевірки роботи системи діагностування дорожнього покриття. Автором проведено імітаційне моделювання системи на наборі зображень з різним рівнем наявності дефектів. Результати моделювання підтверджують працездатність запропонованої системи. 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 і, які по кількості та порядку відповідають сформульованим у завданні дослідженням.

У **додатках** представлено матеріали, які підтверджують новизну пропонуванних 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».

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 здобувача 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. Дисертаційна робота здобувача має високий науковий рівень та практичну значущість, але разом з тим має деякі недоліки і зауваження:

1. Ділянки шляху, які підлягають ремонту можуть мати іншу текстуру, ніж основне покриття, а це може впливати на розпізнавання дефектів. У дисертації не досліджувалось дане питання?

2. Дорожня розмітка може створювати перешкоди при розпізнаванні дефектів. У дисертації не розглянуто цей аспект?

3. У дисертації було б доцільно порівняти результати визначення вагових коефіцієнтів нейронними мережами і класичними методами аналізу.

4. У роботі не вказані вимоги щодо проведення процедури діагностування, наприклад погодні умови або інші важливі для точності визначення дефектності аспекти.

5. У дослідженні запропонованого методу аргументації використовувався метод кросвалідації, однак в подальших дослідженнях при розробці методу комплексування та нейронної мережі для класифікації цей метод не було використано. У дисертації це не обґрунтовано.

6. У роботі не досліджено зразки, в яких мають місце декілька дефектів.

7. У дисертаційній роботі мають місце орфографічні помилки (стор. 13, 17, 44, 58).

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та 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 сфери 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 автоматизації та
комп'ютерних технологій систем
управління ім. проф. А.П. Ладанюка
Національного університету
харчових технологій,
професор, доктор технічних наук

Наталія ЛУЦЬКА

Підпис д.т.н. професора Луцької Наталії Миколаївни засвідчую

Учений секретар Національного університету

харчових технологій

М.П.



« 11 » 03 2025 року