

## РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, д.т.н., професора Гавриленко Світлани Юріївни

на дисертаційну роботу Кравченка Олександра Сергійовича

«Розробка методів діагностики дефектів поверхонь методами машинного навчання»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки

Детальний аналіз дисертаційної роботи Кравченка Олександра Сергійовича на тему «Розробка методів діагностики дефектів поверхонь методами машинного навчання», що представлена для захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», дає змогу зробити комплексний висновок щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності та значущості отриманих результатів, наукової новизни, теоретичної та практичної цінності, надати загальну оцінку дисертації.

### **1. Актуальність теми**

Сталий розвиток України можливий лише за умови масового впровадження інноваційних технологій у всі галузі промисловості. Однією з таких перспективних технологій є штучний інтелект, який дозволяє розв'язувати різноманітні рутинні задачі з точністю та швидкістю, часто недосяжною для людини. Актуальні тенденції у розвитку електронної, оптичної, механічної та інших галузей промисловості свідчать про зростаючу потребу у продукції вищої якості, зокрема, стосовно чистоти та досконалості її поверхонь. Традиційні методи контролю якості поверхонь, зазвичай, засновані на ручному аналізі результатів вимірювань тих чи інших показників, стають все менш ефективними з точки зору як швидкості, так й точності результатів. Саме тому поєднання різноманітних методів діагностики поверхонь, зокрема, інтерферометричних, з методами штучного інтелекту, є вкрай важливим для підвищення ефективності контролю

якості поверхонь на прецизійних виробництвах. Саме цим визначається актуальність теми даного дослідження.

## **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертація виконувалась відповідно до наукової програми 122 «Комп'ютерні науки» та була впроваджена на кафедрі "Комп'ютерної математики і аналізу даних", навчально-наукового інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій, НТУ «ХП».

Здобувач брав участь у науково-дослідній роботі кафедри (договір №БФ.5-2025 від 01.03.2025) «Інтелектуальні моделі та методи автоматизованого визначення якості поверхні за зображенням її інтерференційної картини» в якості виконавця окремих підрозділів.

## **3. Наукова новизна одержаних результатів**

Дисертація містить наукову новизну, з найбільш суттєвих доробок роботи можна назвати:

1. Вперше розроблено метод синтезу монохромних інтерференційних картин із урахуванням фізичних і геометричних особливостей мікроінтерферометра Лінніка для створення реалістичної синтетичної навчальної вибірки.

2. Вперше розроблено алгоритм адаптації архітектури MobileNetV2 для класифікації чотирьох класів дефектів поверхонь (без дефектів, одна подряпина, кілька подряпин, вм'ятина) із застосуванням *fine-tuning*, аугментації й *soft voting*.

3. Вперше запропоновано метод вдосконалення синтетичної вибірки шляхом додавання реальних артефактів (шум детектора, пилові частинки, нерівномірний контрастність) для підвищення переносимості моделей на реальні умови.

4. Вдосконалена інформаційна технологія для автоматизованого виявлення й класифікації субмікронних дефектів за інтерференційними зображеннями, що забезпечує швидкість обробки 0,5 с/зображення та точність 82,5% на реальних даних.

## **4. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання**

Практична цінність отриманих результатів полягає у створенні моделей, методів та інформаційних технологій, які можуть бути повною мірою впроваджені на підприємствах мікроелектронної та оптичної промисловості для потокового контролю якості продукції, а також у науково-дослідних установах та навчальних закладах.

Серед значних практичних досягнень варто відзначити успішну адаптацію методу глибокого навчання до завдань інтерферометрії. На відміну від традиційних підходів (ручний аналіз), що є менш швидкими та об'єктивним (точність 70–75%), запропоноване рішення є більш якісним. Застосування інтерферометра Лінника у поєднанні з моделлю MobileNetV2 забезпечує високу швидкість обробки (лише 0,5 секунди на зображення), що є критично важливим фактором для потреб серійного виробництва дзеркал. Досягнута точність у 82,5% гарантує надійне сортування дзеркал, а майбутнє розширення функціоналу для обробки "комбінацій" та "виступів" покликане підвищити універсальність методу. Цей підхід суттєво оптимізує витрати на персонал та скорочує часові затрати, що є суттєвим для ефективного серійного виробництва.

Практичне значення отриманих результатів також підтверджено відповідними актами впровадження. Результати дисертації впроваджені та використані в навчальному процесі кафедри КМАД НТУ «Харківський політехнічний інститут».

## **5. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Робота Кравченко О.С. є завершеною науковою роботою, що складається з анотацій (українською та англійською мовами), вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел і додатку. Робота за своїм змістом та структурою відповідає всім вимогам до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки»

У першому розділі приведено аналіз існуючих методів діагностики стану дзеркальних поверхонь, описано особливості та переваги інтерферометричного

методу, проаналізовано проблеми, що виникають при обробці інтерференційних зображень. В кінці розділу сформовано цілі та задачі дисертаційного дослідження.

Другий розділ присвячено побудові математичних моделей інтерферометра Лінніка з урахуванням неідеальностей його оптичного тракту та реалістичного зображення інтерференційної картини в полі зору інтерферометра.

У третьому розділі побудовано математичні моделі, що відтворюють топографію дефектів дзеркальних поверхонь, зокрема мікроподряпин та вм'ятин. Для мікроподряпин використано сплайн-інтерполяцію, синусоїдальну модуляцію та нелінійне затухання, що забезпечує плавність профілів з природними флуктуаціями. Моделювання механічних вм'ятин виконано за допомогою еліптичного параболоїда з імітацією вимішеного матеріалу ("валик"), тоді як термічні та ерозійні дефекти відтворено Гаусівським і косинусним затуханням. В результаті згенеровано синтетичні карти висот, які надалі використовуються у якості вхідних даних класифікаційних моделей.

Четвертий розділ присвячено розв'язанню класифікаційної задачі, а саме, розробці методу встановлення наявності та типів дефектів на плоскій дзеркальній поверхні за зображенням її інтерференційної картини. Обгрунтовано вибір методу, архітектуру нейронної мережі, проведено її навчання. Для реалізації було обрано архітектуру MobileNetV2. Навчання MobileNetV2 проводилося з оптимізатором Adam, функцією втрат categorical cross-entropy з label smoothing та early stopping на синтетичній вибірці. Виконано тестування моделі на реальних зображеннях. Результати показали 92% точності на синтетичній валідаційній вибірці та 82.5% на реальних зображеннях. Встановлено практичну значущість методу, яка полягає в його швидкості (0.5 с/зображення на GPU, проти 5–10 хв вручну) та достатній точності (82.5%) для первинного сортування дзеркал у серійному виробництві.

Проаналізовано перспективи подальшого розвитку запропонованих розробок та можливі варіанти їх впровадження у промисловість.

Висновки роботи логічно підсумовують результати дослідження, демонструючи вирішення всіх поставлених дисертаційних завдань. Вони

повністю відповідають критеріям, встановленим для дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Бібліографія всебічно відображає предметне поле дослідження, підкреслюючи ґрунтовну роботу автора з науковими джерелами.

Додаток включає акт впровадження результатів.

## **6. Достовірність отриманих результатів та висновків**

Дисертаційна робота Кравченка Олександра Сергійовича представляє собою науково обґрунтовані та логічно викладені положення й висновки. Дослідження базується на сучасних методах та інформаційних технологіях автоматизації діагностики дефектів оптичних поверхонь. Це дозволяє успішно інтегрувати їх у якості складових систем автоматизації діагностики дефектів у серійному виробництві оптичних компонентів, скоротити час аналізу, зменшити залежність від кваліфікації операторів та підвищити економічну ефективність процесів контролю якості.

Запропоновані рішення вирізняються науковою новизною та свідчать про вагомий внесок автора у розвиток як теорії, так і практики виявлення дефектів у серійному виробництві оптичних компонентів. Достовірність усіх отриманих наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджена ретельним аналізом результатів досліджень та їхнім зіставленням з даними імітаційного моделювання.

## **7. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях**

Надану здобувачем дисертацію виконано відповідно Вимог до оформлення дисертації, затверджених наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40 та із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019.

Порушень академічної доброчесності (академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації, фальсифікації) в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено, про що свідчить аналіз звітів

перевірки дисертації на наявність плагіату. У тексті чітко зазначено джерела запозичень, власні напрацювання, а також внесок здобувача у співавторські публікації.

Основні положення дисертації опубліковано у 8 наукових працях, серед яких: 5 статей у наукових фахових виданнях України (з них 2 статті опубліковано одноосібно), а також 3 тези доповідей (з них 1 – проіндексована в наукометричній базі Scopus). Обсяг і рівень апробації цілком достатній для підтвердження результатів дисертаційного дослідження.

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

Слід відзначити, що робота містить ряд недоліків та зауважень, наприклад:

1. Хоча створена модель інтерференційної картини враховує різноманітні неідеальності оптичного тракту інтерферометра, такі, як обмежена апертура та неоднаковість відбиття в двох плечах інтерферометру, в роботі взагалі не обговорюється такий ефект, як дисторсія об'єктивів інтерферометра та її вплив на реалістичність зображення та якість розв'язання задачі класифікації.

2. При генерації синтетичної навчальної вибірки зображення формується лише у зеленому кольоровому каналі. Очевидно, що у реальних зображеннях скоріш за все будуть задіяно всі три канали.

3. Модель класифікації натреновано на зображення певної фіксованої роздільної здатності. В роботі ніяк не аналізується вплив роздільної здатності зображень інтерференційних картин на якість класифікації.

4. У якості моделі класифікації використано глибокі нейронні мережі. Було б доцільно побудувати моделі, які базуються на інших методах та виконати їх порівняльний аналіз.

Однак, всі ці зауваження не впливають на загальну високу оцінку роботи та носять характер, скоріш рекомендацій.

## **9. Висновки**

Дисертаційна робота Кравченко О. С. є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну та

дає перспективи подальших досліджень. Тема дослідження відповідає галузі знань 12 – «Інформаційні технології» та спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки».

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та певну практичну значущість вважаю, що дисертаційна робота Кравченко Олександра Сергійовича «Розробка методів діагностики дефектів поверхонь методами машинного навчання» відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сам автор, Кравченко Олександра Сергійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

### Рецензент

доктор технічних наук, професор  
кафедри комп'ютерної інженерії  
та програмування НТУ «ХПІ»



Світлана ГАВРИЛЕНКО

07.08.2025

