

До разової спеціалізованої ради ДФ 35.051.173  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
м. Львів, вул. Університетська, 1

### **ВІДГУК**

*офіційного опонента, доктора технічних наук, професора кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Української академії друкарства МОН України*

***Тимченка Олександра Володимировича***

*на дисертацію Мисюка Романа Володимировича «Методи інтелектуального аналізу зміни станів дефектів на поверхні елементів інженерних конструкцій», яка представлена на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»*

***Актуальність теми дисертації.*** Підвищення точності задач діагностики під час ідентифікації поверхневих дефектів, а також застосування сучасних розробок для системи їх розпізнавання й оцінювання поточних та майбутніх станів є особливо актуальними. Якість діагностичних методів пов'язана з точністю ідентифікації пошкоджень, що в свою чергу впливає на своєчасне виявлення потенційних наслідків у процесі експлуатації інженерних конструкцій та прийняття заходів щодо їх запобігання. Сучасний розвиток інформаційних технологій дає можливість проводити ефективний аналіз даних про дефекти, зокрема визначати їх кількісні характеристики, що відкриває нові можливості в комплексній діагностиці стану інженерних об'єктів, а також точніше здійснювати прогнозування можливих наслідків та вчасно ідентифікувати потенційні ризики. Підсумовуючи викладене варто зазначити, що дисертаційна робота Мисюка Р. В., яка присвячена створенню нових та вдосконаленню існуючих методів і засобів інформаційної технології відбору, обробки та інтелектуального аналізу даних про дефекти на поверхнях тіл, загалом дозволяє підвищити ефективність методик діагностування поверхні інженерних конструкцій і є актуальною.

***Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами***  
Дисертаційна робота виконана у межах наукових досліджень та науково-дослідних робіт з відомчої тематики (фундаментальні та прикладні теми):

1. «Аналіз даних засобами машинного навчання», номер державної реєстрації: 0119U002409, термін виконання 2019–2022 р.;
2. «Системний аналіз даних засобами штучного інтелекту та машинного навчання», номер держреєстрації: 0122U200688, термін виконання 2022–2024 р.

**Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків, сформульованих у дисертаційній роботі.** Наукові положення, результати та висновки дисертаційної роботи є достатньо обґрунтовані. Основні наукові положення належним чином аргументовані та представлені у вигляді схем, діаграм та таблиць, що ілюструють їх структуру та взаємозв'язки безпосередньо з описаними аспектами дослідження. Дисертант належним чином використовує термінологію, посилається на джерела та ретельно описує обрані методи та засоби, такі як технології машинного навчання, аналізу даних та архітектурні підходи, використані під час розробки програмних засобів. Достовірність та цінність результатів дисертаційної роботи підтверджено їх апробацією на вітчизняних та міжнародних конференціях, а також на наукових семінарах кафедри системного проектування ЛНУ імені Івана Франка.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Основними науковими результатами, що особисто отримані здобувачем, є наступні:

1. Вперше на основі регресійних моделей і низки критеріїв розроблено метод для перевірки якості прогнозу та оцінювання ресурсу елементів інженерних конструкцій з врахуванням зовнішніх впливів та інтенсивності інформаційних потоків в контексті інтелектуального аналізу даних про поверхневі дефекти.
2. Вперше в контексті інформаційних технологій розроблено і доведено до результативного варіанту модель відбору, опрацювання й аналізу даних про фактори впливу та параметри контактуючих середовищ, що дало можливість розв'язати оптимізаційні задачі обміну даних між компонентами системи, на основі чого прийнято рішення про ефективність інформаційних потоків, які є корисні для роботи з даними у сфері дефектоскопії.
3. Вперше розроблено гібридну модель діагностичної системи для аналізу зміни стану тріщин та корозійних дефектів у різних елементах конструкцій за допомогою процедури ідентифікації зображень поверхневих пошкоджень елементів інженерних конструкцій (ЕІК) на основі аналізу потоку інформації про характеристики зображень.
4. Вперше розроблено новий удосконалений комплексний варіант методу оцінювання ресурсу для кіберфізичної системи “металевий підземний трубопровід (МПТ) – система катодного захисту (СКЗ)” у контексті оцінювання критичного стану дефектів на поверхнях розділу середовищ методами комп'ютерного зору.
5. Удосконалено функціональну структуру потоків даних у контексті реалізації інформаційної технології для опрацювання зображень дефектів (зокрема, тепловізійних), а також для проведення оцінювання ресурсу елементів конструкцій на цій основі.
6. Отримав подальший розвиток спосіб представлення даних щодо ідентифікації поверхневих дефектів ЕІК на зображеннях у контексті обміну інформації, який

базується на групуванні виділених пікселів, що характеризують ефективність інформаційних потоків.

7. Отримав подальший розвиток комплексний метод уточнення параметрів для ідентифікації критичних характеристик дефектів і на основі відповідних результатів проведено аналіз ресурсу елементів конструкцій.

***Практичні результати роботи, їх рівень та ступінь впровадження.***  
Розроблено регресійні моделі для оцінювання параметрів у сфері дефектоскопії дозволяють прогнозувати зміни стану дефектів інженерних об'єктів з урахуванням зовнішніх впливів.

Запропоновано фізико-статистичні моделі та методи опрацювання даних, що дають змогу безпосередньо визначати характеристики зміни стану дефектів об'єктів, що забезпечує більш гнучке налаштування діагностичних автоматизованих систем, зокрема, для елементів конструкцій, які перебувають у агресивному середовищі.

Проведено аналіз апаратно-програмної взаємодії в контексті інформаційних потоків з урахуванням концепції Інтернету речей і методів передачі даних з обробленого зображення та сховища даних, що дозволяє вдосконалювати та покращувати процес розробки інформаційних систем для аналізу елементів конструкцій, а також приймати рішення щодо покращення режимів їх експлуатації.

Запропоновано методику опрацювання даних про дефекти з допомогою відеозображень і застосовано отримані результати для оцінювання критичного стану інженерного об'єкту на основі методів комп'ютерного зору.

У дисертаційній роботі наведено таблицю 1.5, для порівняння часу опрацювання даних на різних мікрокомп'ютерних пристроях (ст. 61), що дозволяє оцінити ефективність виконаних оптимізаційних заходів. У висновку до першого розділу (ст. 64) зазначено, що за метриками якості сегментації (IoU, Dice) виявлено, що CNN дозволяє отримати на 35 % кращі результати ідентифікації зображень дефектів, ніж аналогічна реалізація з використанням YOLO, та на 12 % ефективніші, ніж існуюча CNN мережа. З іншого боку, використання YOLO на мікрокомп'ютерах Raspberry PI та Nvidia Jetson Nano дозволяє обробляти більше кадрів на секунду, що становить відповідно 20.2 % та 20.7 % збільшення в порівнянні з використанням CNN. Отримані результати можуть бути корисні для перевірки ефективності і точності з точки зору постійного вдосконалення рішення для виконання діагностичних процедур на мікрокомп'ютерах. Отримані у роботі результати впроваджені у відповідні навчальні курси у Львівському національному університеті імені Івана Франка.

***Повнота викладення матеріалу дисертації у наукових публікаціях.***  
Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані у 25 наукових працях. Серед них 5 статей у фахових виданнях України, 6 публікацій включено

до міжнародної наукометричної бази Scopus, 7 у матеріалах конференцій та 7 статей у міжнародних наукових журналах.

Проведений аналіз наукових та практичних результатів дисертаційної роботи підтверджує їхню цілісність і підтверджує особистий внесок автора.

**Оцінка основного змісту дисертації та її структури.** Дисертація складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаної літератури та додатку. Загальний обсяг дисертації становить 177 сторінок, у тому числі 154 сторінок основного тексту, 60 рисунків та 12 таблиць; список використаної літератури налічує 149 бібліографічне найменування. Дисертація містить додаток зі списком публікацій здобувача, в яких зазначено основні наукові результати дисертації.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано методи та предмет дослідження, показано зв'язок роботи із науковими темами, вказано мету та задачі дослідження, об'єкт, предмет та методи дослідження. Також визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок автора, відомості про публікації та апробацію, описано структуру дисертації.

У *першому розділі* дисертації проведено аналіз сучасного стану та перспективи розвитку інформаційних технологій у сфері обробки зображень, зокрема використання інтелектуальних методів. Під час обробки та аналізу дефектів автор зосередився на дослідженні особливостей виділення тріщин та їх поширення під час корозійних пошкоджень. В розділі було визначено особливості, переваги та обмеження наявних підходів, методів і засобів. Наведено приклади їх застосування для різних інженерних конструкцій з пошкодженнями, а також сформульовано відповідні висновки щодо їх ефективності та точності, в тому числі на мікрокомп'ютерах Nvidia Jetson Nano та Raspberry Pi.

У *другому розділі* подано результати попередньої обробки статистичних даних про фактори впливу на зміни стану дефектів на поверхнях елементів інженерних конструкцій. Визначено основні параметри моделі для класифікації даних та представлено ряд класичних методів регресії для визначення серед них методу з найменшою похибкою.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи розроблено метод перевірки результатів оцінювання та аналізу кількості пікселів з виділеного фрагменту ідентифікованого дефекту на зображенні. Також висвітлено особливості програмної та апаратної архітектури пристроїв і способи передачі даних у запропонованій системі. Описана автором модель відбору та обробки даних полягає в одночасній передачі інформації про кількість пікселів у кожному кадрі відео та сенсорні дані про навколишнє середовище, що допомагає визначити стан дефекту у поточний момент часу. Такий спосіб обміну інформацією у системі може доповнити існуючі методики діагностики інженерних конструкцій, зокрема

у зазначеній кіберфізичній системі «металевий підземний трубопровід (МПТ) – система катодного захисту (СКЗ)».

У *четвертому розділі* дисертації розроблений вдосконалений комплексний метод оцінювання ресурсу для кіберфізичної системи «МПТ – СКЗ» який включає особливості з використанням оптимізаційних критеріїв, деякі аспекти теорії надійності (критерія Вейбулла), методики оцінювання ефективності діагностики та інтенсивність інформаційних потоків. Фізико-математична модель поверхневих явищ розглянута з метою покращення якості антикорозійного захисту конструкцій та впровадження отриманих результатів у практику за допомогою інформаційної технології.

У *висновках* сформульовано результати дисертаційної роботи.

*Список використаних джерел* є достатньо інформативним, оскільки включає велику кількість посилань на сучасні Інтернет-ресурси, вітчизняні і закордонні публікації, що достатньо широко охоплюють предметну область.

У *додатку* представлено перелік публікацій здобувача Мисюка Р. В. у наукових журналах та матеріалах конференцій, де було висвітлено та апробовано результати досліджень, що проводилися в межах дисертаційної роботи.

### ***Недоліки та зауваження до роботи:***

1. У першому розділі (п. 1.2) важливо обґрунтувати та узагальнити застосування запропонованих методів та засобів для різних видів дефектів на поверхнях. В дисертації розглянуто методи обробки даних для розпізнавання тріщин і корозії, але також варто звернути увагу на інші дефекти, такі як подряпини, вм'ятини та інші. Запропоновані методи можуть бути корисними для інших видів дефектів на поверхнях, але можуть вимагати додаткових даних та адаптації.

2. При застосуванні методів розпізнавання дефектів доцільно провести більш детальне дослідження конфігурації запропонованого алгоритму та його параметрів. В цьому контексті, доцільно більше уваги звернути на формування архітектури нейронних мереж (YOLO, UNet) та провести порівняльний аналіз їх ефективності.

3. Обсяг матеріалу літературного огляду дещо переобтяжений деталями, які не є предметом дисертаційного дослідження (наприклад, табл. 2.2 - Визначення середньої річної відносної вологості та температури у населеному пункту із зафіксованими аварійними ситуаціями) (ст. 80–81), що може бути винесено у додатки.

4. У розділі 3.2 необхідно детальніше обґрунтувати передумови вибору бази даних Elasticsearch та пояснити її ефективність порівняно з аналогами. Додаткова інформація про описаний набір технологій дозволить вирізнити переваги обраних технологій у контексті розробки програмного забезпечення, порівняно з іншими доступними рішеннями.

5. Висновки дисертаційної роботи містять загальний опис отриманих результатів а не аналіз кількісних показників ефективності запропонованих методів. Проте, у висновках до розділів ця інформація є присутня. Для забезпечення послідовності та повноти аналізу важливо включити кількісні показники ефективності в основні висновки дисертації.

#### **Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам**

Дисертація Мисюка Р. В. «Методи інтелектуального аналізу зміни станів дефектів на поверхні елементів інженерних конструкцій» є завершеною науковою працею, в якій розв'язано актуальне наукове завдання розробки апаратно-програмного забезпечення для інтелектуального аналізу зображень з урахуванням низки факторів впливу, та відповідає галузі знань 12 «Інформаційні технології», спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

За актуальністю, структурою, поставленими завданнями, отриманими науковими результатами та практичним значенням дисертаційна робота «Методи інтелектуального аналізу зміни станів дефектів на поверхні елементів інженерних конструкцій» відповідає актуальним вимогам щодо оформлення дисертацій, затвердженим наказом МОН України «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» від 12 січня 2017 р. № 40 та затвердженою Постановою Кабінету Міністрів України «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44, а її автор Мисюк Роман Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

#### **Офіційний опонент:**

доктор технічних наук, професор  
професор кафедри комп'ютерних наук  
та інформаційних технологій  
Української академії друкарства  
МОН України

**Олександр ТИМЧЕНКО**