

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 інженерії
програмного забезпечення Івано-Франківського національного технічного університету
нафти і газу МОН України*

Шекети Василя Івановича

*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

Розвиток методів інтелектуального аналізу даних стає все більш актуальним, що пов'язано з швидким зростанням обсягу доступних даних. Це вимагає постійного удосконалення методів та інструментів для ефективного аналізу та використання цієї інформації. Вдосконалення відповідних методів сприяє кращому прийняттю стратегічних рішень та оптимізації бізнес-процесів. В контексті наук про дані (Data Science) ідею розробки апробовано на основі аналізу змін стану дефектів (типу тріщин, пітингів) у інженерних конструкціях (підземних трубах, мостах тощо) та може використовуватися для обробки та аналізу великих обсягів даних, зокрема, з урахуванням регресійного аналізу факторів впливу зовнішніх чинників на досліджувані об'єкти.

У дисертаційному дослідженні розглянуто особливості аналізу зображень та даних, які належним чином враховують сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій та практики розпізнавання зображень дефектів. Запропоновані покращення обробки даних та сучасні практики допомагають вдосконалювати алгоритми ідентифікації дефектів на основі патернів та тенденцій у змінах стану конструкцій з урахуванням обміну даних між компонентами інформаційної системи. Передбачено можливі відхилення, а також небезпечні ситуації під час постійного моніторингу досліджуваних об'єктів запропонованими методиками з використанням мікрокомп'ютерних пристроїв.

Отже, розробка гібридної моделі для розпізнавання та аналізу дефектів на поверхнях інженерних об'єктів та описана процедура, яка представляє взаємодію процесів у інформаційній системі і виконана у дисертаційному дослідженні Мисюка Р.В., є актуальною для галузі інформаційних технологій як у теоретичному так і у практичному аспекті.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами
Дисертаційна робота Мисюка Р.В. також має зв'язок з науково-дослідженими темами:

- «Аналіз даних засобами машинного навчання» (номер державної реєстрації: 0119U002409, у 2021 році)
- «Системний аналіз даних засобами штучного інтелекту та машинного навчання» (номер держреєстрації: 0122U200688, у період 2022–2024 роках).

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробці та вдосконаленні методик відбору, обробки та аналізу даних у сфері дефектоскопії на поверхнях інженерних об'єктів. Варто звернути увагу що у роботі, **вперше розроблено** метод для перевірки якості прогнозу та оцінювання ресурсу елементів інженерних конструкцій за умови врахування зовнішніх впливів та інтенсивності інформаційних потоків в контексті інтелектуального аналізу даних про поверхневі дефекти, використовуючи регресійні моделі і низки критеріїв; **вперше розроблено** і доведено до результативного варіанту модель відбору, опрацювання й аналізу даних про фактори впливу та параметри контактуючих середовищ, і в цьому контексті розв'язано оптимізаційні задачі обміну даних між компонентами системи, на основі яких прийнято рішення про ефективність інформаційних потоків, які є корисні для роботи з даними у сфері дефектоскопії; **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; **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; **удосконалено** функціональну структуру потоків даних у контексті інформаційної технології для опрацювання зображень дефектів (зокрема, тепловізійних), а також для проведення оцінювання ресурсу елементів конструкцій на цій основі; **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; **отримав подальший розвиток** комплексний метод уточнення параметрів для ідентифікації критичних характеристик дефектів і на основі відповідних результатів проведено аналіз ресурсу елементів інженерних конструкцій.

Наукове та практичне значення роботи

Наукове значення роботи полягає у розробці методів та методик аналізу патернів та тенденцій зміни станів дефектів у запропонованому апаратно-програмного забезпеченні, а практичне - у застосуванні напрацьованих на основі мікрокомп'ютерних пристроїв з обмеженими характеристиками, проте є компактними та досить ефективними для відбору і попередньої обробки даних. Зокрема, гібридна модель діагностичної системи для аналізу зміни стану тріщин та корозійних дефектів та метод уточнення параметрів для ідентифікації критичних характеристик дефектів у різних

елементах конструкцій можуть бути використані для покращення точності ідентифікації зображень під час проведення діагностування досліджуваних об'єктів. Описана модель відбору, опрацювання й аналізу даних про фактори впливу та параметри контактуючих середовищ є важливими для проектування розробленої системи досліджень, а також для реалізації оптимізації та інтеграції інформаційних потоків між кількома компонентами розробки. Перевірка якості прогнозу на основі регресійних моделей і врахування зовнішніх впливів можуть бути корисні для уточненої оцінки ресурсу елементів інженерних конструкцій. Удосконалена функціональна структура потоків даних та спосіб представлення даних можуть бути використані для оптимізації опрацьованих зображень дефектів, а також для проведення оцінювання ресурсу елементів конструкцій в цілому.

Повнота викладення матеріалу дисертації у наукових публікаціях

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані у 25 наукових працях. Серед яких у наукових журналах опубліковано 13 статей та у 12 публікаціях у матеріалах конференцій проведено апробацію. Доробок дисертанта включає 5 статей у фахових виданнях України, 1 стаття включена до міжнародної наукометричної бази Scopus, а також 7 статей у міжнародних наукових журналах, які додатково відображають наукові результати дисертації.

У матеріалах всеукраїнських та міжнародних наукових конференцій видано та апробовано 7 тез доповідей, а також 5 статей у матеріалах конференцій, які входять у Scopus та/або Web of Science.

Отже, наукові праці Мисюка Р.В. є достатньо апробовані та відповідають вимогам МОН України за кількістю та якістю публікацій.

Структура та зміст дисертації, її завершеність та відповідність встановленим вимогам

Структурно дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатку. Також містить анотацію, зміст та перелік умовних позначень. Загальний обсяг дисертації – 177 сторінок, з яких 154 сторінок основного тексту. В роботі, також, включено 12 таблиць для зручності порівняння або аналізу і 60 рисунків для доповнення тексту роботи та демонстрації ключових результатів та концепцій. Список використаних джерел містить 149 позицій, що свідчить про розлогість (обширність) та глибину дослідження автора, а також про високу наукову обґрунтованість роботи. Дисертаційна робота відповідає вимогам наказу «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків сформульованих у дисертації

Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, які є сформульовані у дисертаційній роботі, забезпечені шляхом всебічного аналізу наукових публікацій останніх років. Враховуючи достатньо обширний проведений аналіз існуючих методик та підходів інформаційних технологій, можна стверджувати,

що наукові положення дисертаційного дослідження узгоджуються із отриманими результатами вчених та інженерів.

Виклад основного матеріалу дисертації є логічним та послідовним, також у роботі Мисюка Р. В. коректно використано сучасну наукову термінологію. Результати дисертанта опубліковано в українських та міжнародних рецензованих виданнях і регулярно обговорювалися на міжнародних наукових та науково-практичних конференціях.

Проведено порівняння результатів дисертації з результатами аналогічних робіт інших авторів і встановлено елементи узгодженості. Представлення результатів дисертаційного дослідження як на наукових семінарах, так і у міжнародних наукових виданнях, включених у наукометричні бази Scopus/Web of Science, дозволяє стверджувати, що наукові положення та сформульовані висновки є **обґрунтованими та достовірними**.

Структура і зміст дисертації

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, що містить нові наукові висновки та рекомендації. Її основна тематика пов'язана з використанням методів та засобів інтелектуального аналізу для виявлення зміни стану поверхневих дефектів у різних елементах конструкцій, зокрема, у трубопроводах та інженерних об'єктах. Крім того, у дисертації розглянуто можливості застосування фізико-математичного, статистичного та прогностичного моделювання для оцінювання критичного стану поверхневих дефектів у кіберфізичній системі «МПП – СКЗ» (МПП – металевий підземний трубопровід, СКЗ – система катодного захисту).

У **вступі** розглянуто перелік умовних скорочень, що введено у тему дослідження, включаючи огляд наукової літератури та представлення матеріалів, а також умови та методологію дослідження. Далі подано результати короткого аналізу методик та засобів, які використали інші дослідники схожих робіт. Дисертант також обґрунтував актуальність теми дослідження, зазначивши методи та предмет дослідження, відзначивши зв'язок роботи із науковими темами, визначивши мету та задачі дослідження, а також вказавши об'єкт, предмет та методи дослідження. У роботі також сформульовано наукову та практичну цінність роботи, а також наведено інформацію про кількість наукових публікацій за темою дисертаційного дослідження.

У **першому розділі** дисертації сформульовано результати застосування сучасних інтелектуальних технологій у сфері розпізнавання дефектів на поверхнях матеріалів, а також з використанням їх у робототехнічних засобах. Дисертант провів аналіз сучасного стану та особливостей розпізнавання дефектів на основі згорткових нейронних мереж та за допомогою методів визначення контурів на зображеннях. У цьому розділі визначено актуальні задачі проектування інформаційних систем з урахуванням використання методів комп'ютерного зору для аналізу зображень дефектів у темних місцях, зокрема, на внутрішніх поверхнях труб. Також розроблено спосіб використання тепловізійних зображень для виявлення вершин дефекту у місцях розгерметизації під час транспортування газів та інших речовин. Крім цього, дисертантом описано процес аналізу великої кількості кадрів на мікрокомп'ютерах Nvidia Jetson Nano у порівнянні з Raspberry PI. Доведено та проаналізовано отримані результати з урахуванням характеристик та обмежень пристроїв. Сформульовані критерії ефективності та точності

використаних технологій машинного навчання для низки зображень у режимі реального часу дозволяють автоматизувати процес оцінювання та аналізу стану дефектів на поверхні елементів конструкцій.

У **другому розділі** розроблено прогностичні моделі для оцінювання змін станів дефектів на поверхнях елементів інженерних конструкцій. Для цього було використано дані про аварійність та механічні пошкодження у процесі експлуатації трубопроводів, зібрані і подані у звітах адміністрації з безпеки трубопроводів та відзначено аспекти поведінки небезпечних матеріалів, які надані Міністерством транспорту США, а також враховано аналогічні дані, отримані в Україні. На основі такого типу даних проведено статистичний аналіз та визначено основні характеристики, що можуть впливати на зміни стану дефектів на поверхнях досліджуваних об'єктів. В цьому розділі дисертантом встановлено основні залежності та виявлено кореляційні зв'язки щодо параметрів, що впливають на аварійність елементів конструкцій, зокрема такі, як відображають кліматичні особливості місцевості (середня відносно температура, вологість та період проведення діагностики) та тривалість експлуатації. Крім цього, у дисертаційній роботі проведено порівняння різних регресійних реалізацій (лінійна регресія, дерево рішень, випадковий ліс та градієнтне підсилення) для визначення змін стану дефектів і встановлено елементи оцінювання ефективності та точності методик відповідного прогнозування. Використання отриманих результатів дозволяє доповнити методіку діагностування змін стану елементів конструкції новими процедурами та оптимізувати систему антикорозійного захисту цього об'єкту.

У **третьому розділі** дисертації досліджено особливості інтеграції у програмно-апаратному забезпеченні вищерозглянутих методів та засобів, що можуть бути корисними для проведення діагностики елементів інженерних конструкцій. Розроблений програмний інтерфейс для клієнт-серверної архітектури та алгоритм передачі даних реалізовано для визначення зміни критичного чи некритичного стану досліджуваних дефектів щодо приналежності їх до відповідного класу. Описано процес синтезу програмних частин методики розпізнавання дефектів і прогнозування станів у реалізованому веб сервісі. В основі реалізованого програмного каркасу використано метод градієнтного підсилення, що є більш точний й ефективний серед інших розглянутих для вибірки даних. У цьому розділі детально розглянуто реалізовані архітектурні підходи, патерни проектування та структуру апаратно-програмного забезпечення, що свідчить про важливість системного підходу та методів організації програмного забезпечення в контексті досліджуваних задач.

У **четвертому розділі** дисертації пропонується підхід до вибору аналітичних інструментів для фізико-математичного моделювання характеристик якості антикорозійного захисту конструкцій та їх використання для розробки відповідних інформаційних технологій. Цей підхід ґрунтується на фізико-математичній моделі поверхневих явищ та методиках оцінювання якісних інформативних параметрів. У результаті розробки інформаційних технологій було створено новий, вдосконалений комплексний метод оцінювання ресурсу для кіберфізичної системи «МПТ – СКЗ», який враховує оптимізаційні критерії, методи та методики оцінювання змін параметрів та інформаційних потоків.

Дискусійні положення й зауваження щодо змісту та оформлення дисертації

Дисертація Мисюка Р. В. «Методи інтелектуального аналізу зміни станів дефектів на поверхні елементів інженерних конструкцій» містить нові наукові результати, актуальні для спеціальності комп'ютерних наук. Проте їй властиві окремі недоліки та дискусійні моменти, які потребують висвітлення:

1. Хоча в роботі застосовуються новітні методи інтелектуального аналізу даних, проте варто було би звернути увагу на обмеження, щодо застосовності цих методів. Зокрема, розроблені моделі та методика можуть вимагати певних умов експлуатації або конкретних типів даних для ефективної роботи.

2. У дисертаційній роботі недостатньо розглядаються альтернативні підходи або методи, які могли б бути використані для вирішення розглянутих задач. Порівняння з іншими методами дозволили би покращити розуміння переваг та обмежень запропонованих автором рішень.

3. Хоча дисертація має суттєве практичне значення, можна було би детальніше описати, як конкретно запропоновані методика можуть бути імplementовані в промислових умовах або в конкретних проектах. Це мало би включати аналіз вартості, часу імplementації та потенційних труднощів у використанні цих методів на практиці.

Проте, варто підкреслити, що вказані зауваження аж ніяк **не зменшують наукову та практичну цінність отриманих результатів дисертаційного дослідження і жодним чином не впливають на загальну позитивну та СХВАЛЬНУ оцінку дисертаційної роботи.**

Відсутність порушень академічної доброчесності

За результатами перевірки тексту дисертаційної роботи та наукових публікацій Мисюка Р. В. ознак академічного плагіату не виявлено.

Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам

Дисертація Мисюка Романа Володимировича «Методи інтелектуального аналізу зміни станів дефектів на поверхні елементів інженерних конструкцій» є завершеною науковою працею з розв'язаними конкретними науковими завданнями, які мають відношення до інтелектуального аналізу зображень дефектів елементів конструкцій і відповідні результати досліджень властиві галузі знань 12 «Інформаційні технології», спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Подана до захисту дисертація за структурою, мовою та стилем представлення результатів відповідає вимогам МОН України. Матеріал викладено у логічній послідовності а висновки є науково обґрунтованими. Анотація розкриває основні положення та висновки дисертації та не містить інформації, яка відсутня у дисертації. Зміст дисертаційної роботи відповідає обраній темі, поставленим завданням та відповідає сучасним вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації», і затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від

12.01.2022 р. № 44 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

Актуальність теми дослідження, ступінь наукової новизни, теоретичне і практичне значення, достовірність висновків і рекомендацій, які отримано у дисертаційній роботі «Методи інтелектуального аналізу зміни станів дефектів на поверхні елементів інженерних конструкцій» дають змогу зробити висновок, що вона відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» у галузі знань 12 «Інформаційні технології», 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 інженерії
програмного забезпечення
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу
МОН України

Василь ШЕКЕТА