

## **ВИСНОВОК**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Методи інтелектуального аналізу зміни станів дефектів на поверхні елементів інженерних конструкцій»**

**здобувача ступеня доктора філософії**

**з галузі знань 12 «Інформаційні технології»**

**за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»**

**Мисюка Романа Володимировича**

### ***1. Актуальність теми дисертації***

В комп'ютерних науках та відповідних прикладних дослідженнях, пов'язаних з відбором та обробкою даних у різних галузях науки і техніки, перспективною є процедура поєднання методів інтелектуального аналізу даних та діагностування. Зважаючи на широкий спектр діагностичних методик, зокрема, таких як хвильові та пов'язані з теплоконтролем, варто звернути увагу на використання методів комп'ютерного зору, які дозволять оцінити стан елементів інженерних конструкцій на основі кількісної характеристики ідентифікованих дефектів. Зазвичай ефективність задач ідентифікації дефектів може бути розглянута на основі багатокomпонентного підходу. Зокрема, такий напрямок досліджень має великий практичний інтерес і з його допомогою можна розв'язувати багато завдань, пов'язаних з покращенням методів оцінювання та деталізації зміни станів дефектів на поверхнях досліджуваних об'єктів. В цьому контексті перспективним також є поєднання методів інтелектуального аналізу даних, діагностування, машинного навчання та комп'ютерного зору і може мати широке застосування у різних галузях науки та техніки.

Перспективність комплексного використання методів машинного навчання та комп'ютерного зору може бути пов'язана з автономністю ідентифікації зображень дефектів на основі попередньо навчених моделей. В контексті інтелектуального аналізу даних розглянуто особливості аналізу зображень елементів інженерних конструкцій з пошкодженнями на поверхні, а також регресійні моделі, з допомогою яких сформовано моделі факторів впливу

зовнішнього середовища на зміну станів дефектів. У дисертаційній роботі проведено аналіз наявних наборів даних про дефекти на різних площинах і результати використано для подальшого проведення навчання нейронних мереж. У цьому контексті здійснено аналіз згорткових мереж, які, ґрунтуючись на типах UNET та YOLO, побудовано за допомогою оцінювання IoU та dice. Також вивчено особливості низки неточностей, які мають відношення до ідентифікації дефектів. Неточності тепловізійних зображень дефектів пов'язані з недостатнім освітленням та колірними характеристиками, а також мають відношення до корозійних процесів. Також проведено дослідження ефективності описаних реалізацій архітектур нейронних мереж (UNET, YOLO) в режимі реального часу на малопотужних пристроях, таких як мікрокомп'ютери Nvidia Jetson Nano та Raspberry Pi. Це дослідження дозволяє отримати результати, з допомогою яких можна оцінювати затримки передачі даних під час використання відповідних методів та методик для аналізу дефектів на поверхнях елементів конструкцій у важкодоступних місцях (зокрема, для трубопроводів). Аналізуючи об'єми інформації, які мають відношення до переданого зображення дефекту в стисненому вигляді чи як низка пікселів для кожного кадру відео, встановлено, що більш ефективним буде варіант, згідно з яким запропоновано для ідентифікованого дефекту використовувати представлення з допомогою певної кількості пікселів.

Зважаючи на низку факторів, що можуть впливати на зміну станів дефектів на поверхнях елементів конструкцій, для аналізу зображень використано відповідні регресійні моделі. З цією метою проведено оцінювання точності методів градієнтного підсилення, випадкового лісу, дерева рішень та лінійної регресії, оскільки вони використані в даній роботі. Також реалізовано веб сервіс з основними операціями (навчання, отримання інформації та аналізу результатів) для побудови варіантів, які мають відношення до клієнт-сервісної взаємодії. Встановлено залежності між основними параметрами моделі аналізу зображень дефектів на основі статистичного та кореляційного аналізу, що дозволяє сформулювати інформацію про два класи стану дефектів (критичний та не

критичний). Окрім того, вивчено можливості інтеграції двох частин інтелектуального аналізу даних у процесі обміну інформаційними потоками. Для аналізу результатів у роботі було використано такі терміни як інтенсивності інформаційних потоків, що ґрунтується на можливостях навантаження та використання обчислюваних ресурсів системи (центрального процесора, вхідного та вихідного трафіку тощо). Для оцінювання ефективності діагностування інженерних об'єктів було приведено низку параметрів таких як індекс серйозності дефектів, середній час ідентифікації дефектів, ефективність ідентифікації дефектів. Підсумовуючи вищеописані аспекти досліджень, можна зробити висновок, що тема дисертаційної роботи є *актуальною*.

Тему дисертації затверджено на засіданні Вченої ради Львівського національного університету імені Івана Франка, протокол № 90/11 від 26 листопада 2020 року. Тему уточнено на засіданні Вченої ради Львівського національного університету імені Івана Франка, протокол № 59/12 від 19 грудня 2023 року.

## ***2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри***

Дисертаційне дослідження виконувалось у Львівському національному університеті імені Івана Франка на кафедрі системного проектування в рамках робочого часу в межах науково-дослідних тем «Аналіз даних засобами машинного навчання» (номер державної реєстрації: 0119U002409, керівник – доц. Шувар Р. Я., 2021 р.) та «Системний аналіз даних засобами штучного інтелекту та машинного навчання» (номер держреєстрації: 0122U200688, керівник – доц. Шувар Р. Я., 2022–2024 рр.), які відповідають науковому напрямку розробки.

## ***3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів***

У дисертаційному дослідженні Мисюк Р.В. самостійно проаналізував та систематизував літературні дані за тематикою дослідження. Постановка мети і завдань дослідження, а також аналіз отриманих результатів роботи проведено спільно з науковим керівником докт. фіз.-мат. наук, проф. В.М. Юзевичем.

Планування та підготовку положень теорії дефектоскопії, визначення основних параметрів впливу на зміни станів дефектів інженерних конструкцій також проведено спільно з науковим керівником докт. фіз.-мат. наук, проф. В. М. Юзевичем. Дисертаційне дослідження виконано здобувачем самостійно, усі сформульовані в ньому положення та висновки з рекомендаціями обґрунтовані на основі особистих досліджень автора. Для аргументації окремих положень використано праці інших науковців, на які зроблено відповідні посилання. В індивідуальних наукових працях застосовано лише авторські ідеї та розробки.

Автор брав участь у представленні результатів досліджень та підготовці матеріалів до друку. Висновки даної дисертаційної роботи належать автору.

#### ***4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором вирішень, висновків, рекомендацій***

Отримані результати дисертаційної роботи є достовірними та науково обґрунтованими. Під час проведення досліджень використано як новітні, так і багаторазово перевірені, апробовані методи. Одержані результати повністю підтверджуються сучасними взаємодоповнюючими наявними методами та добре узгоджуються з результатами інших дослідників, а також з відомими практичними підходами аналізу даних засобами, виконаними методами машинного та глибокого навчання, порівняння з якими проводились у даній дисертаційній роботі.

Результати роботи прорецензовано та опубліковано у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus, та у фахових виданнях України. При цьому здійснювалась їх перевірка під час рецензування поданих публікацій у відповідних наукових виданнях. Також результати роботи апробовано на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях.

#### ***5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру***

У дисертаційній роботі наведено ряд нових результатів, що мають теоретичне та практичне значення. Зокрема, у роботі:

- вперше на основі регресійних моделей і низки критеріїв 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;

- вперше в контексті інформаційних технологій 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 конструкцій.

## ***6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації***

### *6.1. Статті у наукових фахових виданнях України:*

1. Шувар Р., Продивус А., Юзевич В., Огірко І., Огірко О., Ковтко Р., Мисюк Р. Інформаційні технології та загрози у кіберфізичних системах для відображення інформації у підземних металоконструкціях з дефектами. Штучний інтелект. 2021. Вип. 26 (1). С. 85-94. *(Особистий внесок здобувача: проектування архітектури кіберфізичної системи та обґрунтування результатів)*
2. Mysiuk R., Yuzevych V., Mysiuk I. Data processing and visualization for corrosion detection. Electronics and Information Technologies. 2021. Vol. 16. P. 50–60. *(Особистий внесок здобувача: програмна реалізація моделей обробки та візуалізації даних та обґрунтування результатів)*
3. Mysiuk R., Yuzevych V., Mysiuk I., Ohirko I. Detecting cracks in concrete based on images using Amazon Web Service Rekognition. Electronics and Information Technologies. 2022. Vol. 20. P. 18–29. *(Особистий внесок здобувача: налаштування, навчання та тестування моделі)*
4. Mysiuk R., Yuzevych V., Mysiuk I. Api test automation of search functionality with artificial intelligence. Artificial Intelligence. 2022. Vol. 27, No 1. P. 269–274. *(Особистий внесок здобувача: програмна реалізація та тестування програмного модуля)*
5. R. Mysiuk, V. Yuzevych. IoT-based solution for detection defects in infrastructure objects using Raspberry PI. Electronics and Information Technologies. 2023. No. 21. P. 45–56. *(Особистий внесок здобувача: програмна реалізація обробки зображень та взаємодії між компонентами системи)*

*6.2. Публікації у наукових періодичних виданнях, що індексуються у наукометричних базах Scopus та/або Web of Science Core Collection:*

1. R.V. Mysiuk, V.M. Yuzevych, M.F. Yasynskyi, S.V. Kniaz, Z.A. Duriagina, V.V. Kulyk. Determination of conditions for loss of bearing capacity of underground ammonia pipelines based on the monitoring data and flexible search algorithms. Archives of Materials Science and Engineering. 2022. Vol. 115, No. 1. P. 13–20. *(Особистий внесок здобувача: програмна реалізація модулів обробки та аналізу даних)*
2. R. Mysiuk, V. Yuzevych, B. Koman and M. Yasynskyi. High Availability System for Monitoring Material Degradation Processes at the Concrete-polymer Interface. 2022 12<sup>th</sup> International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Spisska Kapitula, Slovakia, 26–28 September 2022. P. 415–418. *(Особистий внесок здобувача: програмна реалізація, інтеграція частин та аналіз підходів до тестування з навантаженням)*
3. R. Dzhala, V. Yuzevych, R. Mysiuk, V. Brych, R. Skrynkovskyy, V. Lozovan, Y. Tyrkalo. Simulation of Corrosion Fracture of Nano-Concrete at the Interface with Reinforcement Taking into Account Temperature Change. CEUR Workshop Proceedings. MoMLeT+DS 2022: 4<sup>th</sup> International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science, November, 25–26, 2022, Leiden-Lviv, The Netherlands-Ukraine, Vol. 3312. P. 123–133. *(Особистий внесок здобувача: програмна реалізація методів обробки й аналізу даних про вплив зовнішніх факторів та обґрунтування результатів)*
4. R. Mysiuk, I. Mysiuk, G. Pawlowski, V. Yuzevych, M. Yasynskyi and Y. Tyrkalo. Video-based Concrete Road Damage Assessment Using JetRacer Kit. 2023 17<sup>th</sup> International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), Jaroslaw, Poland, February 22–25, 2023. P. 1–4. *(Особистий внесок здобувача: програмна реалізація алгоритмів обробки й аналізу зображень на основі мікрокомп'ютера)*

5. R. Mysiuk, V. Yuzevych, B. Koman, Y. Tyrkalo, O. Farat, I. Mysiuk, L. Harasym. Detection of Structure Changes in Lightweight Concrete with Nanoparticles Using Computer Vision Methods in the Construction Industry. Proceedings of Eighth International Congress on Information and Communication Technology (ICICT), Lecture Notes in Networks and Systems, Vol 694. Springer, Singapore. United Kingdom, London, 20–23 February 2023. P. 339–348. (*Особистий внесок здобувача: реалізація програмного модуля обробки зображень на основі методів комп'ютерного зору*)

6. R. Mysiuk, V. Yuzevych, I. Mysiuk, Y. Tyrkalo, A. Pavlenchyk, V. Dalyk. Detection of Surface Defects Inside Concrete Pipelines Using Trained Model on JetRacer Kit. 2023 IEEE 13th International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT), Lviv, Ukraine, September 26–28, 2023. P. 21–24. (*Особистий внесок здобувача: розробка та навчання моделі нейронної мережі для ідентифікації поверхневих дефектів*)

**7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозиумах, семінарах тощо**

1. Мисюк Р., Юзевич В. Система пошуку та відбору інформації про дефекти типу тріщин у базах знань. Міжнародна наукова інтернет-конференція “Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 53)”. Збірник тез доповідей: випуск 53 (м. Тернопіль, 16 листопада 2020 р.). Частина 2. Тернопіль. 2020. С. 57–60.

2. R. Mysiuk, V. Yuzevych, B. Koman. Quality control of underground metal constructions with corrosion fatigue. Quality management in education and industry: experience, problems and perspectives: proceedings of the V international scientific practical conference, May 20–21, 2021. Lviv: «Piramida», 2021. P. 161–163.

3. Мисюк Р., Юзевич В. Гнучкий алгоритм у системі пошуку та відбору інформації про дефекти типу тріщин. Міжнародна наукова інтернет-конференція “Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти



становлення (випуск 55)”. Збірник тез доповідей: випуск 55 (м. Тернопіль, 9 лютого 2021 р.). Тернопіль. 2021. С. 41–44.

4. R. Mysiuk, V. Yuzevych. Diagnosis of corrosion fatigue in underground metal constructions using genetic algorithms. III International Scientific and Practical Internet Conference “Mathematics and Informatics in Higher Education: Challenges of Modernity”, dedicated to the memory of Professors O. A. Pankov and V. S. Trokhymenko (Vinnytsia, May 20–21, 2021): book of abstracts. [Electronic network scientific publication], Vinnytsia, 2021, P. 93–96.

5. R. Mysiuk. Statistical models of pipe configurations for assessment of defects in infrastructure objects. Information Technologies and Automation – 2023. Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference. Odesa, October 19–20, 2023. Odesa, ONTU Publishing House, 2023. P. 69–71.

6. R. Mysiuk, V. Yuzevych. Features importance in statistical models for detecting material cracks. Quality management in education and industry: experience, problems and perspectives: proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, November 16 – 17, 2023, Lviv, Lviv Polytechnic Publishing House, 2023. P. 152–153.

7. R. Mysiuk, I. Mysiuk, V. Yuzevych, R. Shuvar, S. Tsyuh, N. Pavlenchyk. Predictive Analysis of Macro Defects in Engineering Structures Using Machine Learning Technologies. International Conference on Optimization and Data Science in Industrial Engineering, November 16-17, 2023, Istinye University, Istanbul, Turkey. P.111.

***8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати***

Наукова цінність роботи полягає в одержанні вагомих результатів, що стосуються уточнення методів розпізнавання та прогнозування дефектів на поверхні елементів інженерних конструкцій, які автоматизують процес інтелектуального аналізу даних під час опрацювання варіантів їх структурних та функціональних особливостей для досліджуваної тематики.

Отримані у роботі результати розширюють і доповнюють теоретичні та практичні аспекти моделей відбору, опрацювання та аналізу даних і можуть бути використані для удосконалення навчальної та довідкової літератури, у навчальних дисциплінах, пов'язаних із застосуванням методів та технологій роботи з даними, а також під час аналізу особливостей автоматизованої обробки зображень для ідентифікації об'єктів, які мають відношення до інформації, яка повинна бути опрацьована студентами технічних спеціальностей закладів вищої освіти України.

Результати дослідження й удосконалення підходів до аналізу даних та особливості обробки зображень у задачах їх розпізнавання можуть бути використані в таких курсах як “Методи та технології аналізу даних”, “Методи та технології інженерії даних”, “Засоби машинного навчання”, “Засоби глибинного навчання”, “Візуалізація даних”, “Основи аналізу даних”, “Основи аналітики даних”.

#### ***9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі, де вони можуть бути застосовані***

Результати дисертаційної роботи, а саме розроблене апаратно-програмне забезпечення, можуть бути використані при створенні та оптимізації діагностичних систем для аналізу стану інженерних об'єктів, де важливим є використання технологій штучного інтелекту, аналізу даних та малопотужних пристроїв (мікрокомп'ютерів).

Розроблені підходи до побудови спеціалізованих програмних систем, можна застосовувати у галузі проектування інтелектуальних систем, Інтернету Речей та дефектоскопії.

#### ***10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення***

Дисертація за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України.

Дисертацію заслухано та обговорено на розширеному науковому семінарі кафедри системного проектування факультету електроніки та комп'ютерних технологій Львівського національного університету імені Івана Франка (протокол № 23 від 6 березня 2024 року). У ході обговорення дисертації суттєвих зауважень, які стосуються суті роботи, не було висунуто.

Дисертаційна робота Мисюка Романа Володимировича ***“Методи інтелектуального аналізу зміни станів дефектів на поверхні елементів***

*інженерних конструкцій*” є завершеною науковою працею в межах поставлених завдань, у якій проаналізовано особливості використання методів та засобів машинного навчання та аспекти їх застосування для автоматизації процесів оцінювання змін станів дефектів на поверхнях елементів інженерних конструкцій, і варто відзначити, що удосконалені здобувачем наукового ступеня методи та алгоритми є перспективні для проведення діагностики інженерних об’єктів у сфері дефектоскопії.

**На основі вищенаведеного можна зробити такі висновки щодо поданої дисертаційної роботи:**

1. За актуальністю обраної теми, обсягом, достовірністю та рівнем апробації отриманих результатів, науковою новизною, обґрунтованістю висновків, практичною цінністю дисертаційна робота Мисюка Романа Володимировича *“Методи інтелектуального аналізу зміни станів дефектів на поверхні елементів інженерних конструкцій”* відповідає Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 року № 40 (із змінами, внесеними згідно з наказом Міністерства освіти і науки України від 31.05.2019 року № 759), та п.6 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 12.01.2022 року № 44 (із змінами, внесеними згідно з постановами Кабінету Міністрів України від 21.03.2022 року № 341 та від 19.05.2023 року № 502).

2. Дисертація відповідає спеціальності 122 Комп’ютерні науки (галузь знань 12 «Інформаційні технології»).

3. Наукові праці Мисюка Р. В., опубліковані за результатами дисертаційної роботи, за кількістю та якістю відповідають пунктам 8-9 «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 12.01.2022 року № 44 (із змінами, внесеними згідно з постановами Кабінету Міністрів України від 21.03.2022 року № 341 та від 19.05.2023 року № 502).

4. Дисертація “*Методи інтелектуального аналізу зміни станів дефектів на поверхні елементів інженерних конструкцій*” Мисюка Романа Володимировича рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

Головуючий на засіданні наукового семінару,  
завідувач кафедри системного проектування  
Львівського національного  
університету імені Івана Франка,  
кандидат фізико-математичних наук, доцент  
6 березня 2024 р.

Роман ШУВАР

*Підпис доц. Романа Шувара засвідчую.*

Вчений секретар  
Львівського національного  
університету імені Івана Франка  
доцент

Ольга ГРАБОВЕЦЬКА