

УДК 004.4

Вонсович Б.А., Пасічник О.А., Скрипник Т.К., Вознюк Л.О.

*Хмельницький національний університет*

## **МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ КОРОЗІЙНИХ УРАЖЕНЬ МЕТОДАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ**

*Розроблено метод виявлення корозійних уражень на металевих конструкціях з використанням методів інтелектуального аналізу даних. В межах роботи проведено аналіз існуючих методів ідентифікації корозії, визначено їхні переваги та недоліки. Створений метод забезпечує швидке та точне виявлення й оцінку ступеня корозійних пошкоджень шляхом аналізу зображень. Розроблений метод показує швидку обробку зображень та високу точність.*

*A method for detecting corrosion damage on metal structures using data mining techniques has been developed. This work includes an analysis of existing corrosion identification methods, identifying their advantages and disadvantages. The developed method provides fast and accurate detection and assessment of corrosion damage levels through image analysis. The method demonstrates rapid image processing and high accuracy.*

У сучасному світі метали, завдяки їхнім унікальним властивостям та вартості, використовуються дуже широко [1]. Через широке використання металоконструкцій, корозія є глобальною проблемою, вона призводить до пошкоджень металів, що знижує безпеку та ефективність їх експлуатації, викликаючи значні витрати на підтримання технічного стану. Вчасне виявлення корозії допомагає уникнути негативних наслідків і вжити заходів для ремонту або заміни конструкцій. Корозійні процеси ведуть до поступового руйнування матеріалу, знижуючи його механічні характеристики та експлуатаційні якості [2]. Корозія є одним із найбільших ворогів металевих конструкцій, завдаючи значних збитків у багатьох галузях. Виявлення та попередження корозійних уражень є важливим завданням для забезпечення довговічності та безпечної експлуатації металевих конструкцій [3]. Корозія металевих конструкцій завдає значних економічних збитків у всьому світі [4]. За оцінками експертів, щорічні втрати від корозії становлять приблизно 2.5 трильйони доларів, що становить приблизно 3.4% від світового ВВП [5]. Основні види збитків включають:

- безпекові збитки – руйнування конструкцій може призвести до аварій, загроз життю і здоров'ю людей [6];
- екологічні збитки – витoki хімічних речовин, спричинені корозією можуть призвести до значних забруднень навколишнього середовища [7];

– соціальні збитки – порушення інфраструктури, такі як водопостачання чи транспортні системи, можуть мати серйозні наслідки для суспільства [8].

Корозія металоконструкцій знижує їх безпеку та ефективність та спричиняє значні витрати на ремонт. Вчасне виявлення корозії дозволяє запобігти збиткам. Слід розглянути існуючі методи виявлення корозії, їхні переваги та недоліки. – візуальний аналіз: простий і доступний для швидкого виявлення поверхневої корозії; недолік – обмежений для внутрішньої корозії [9]; – ультразвукове тестування: точний метод для виявлення підповерхневої корозії; недоліки – менша ефективність для тонких шарів, потреба в обладнанні й кваліфікованих операторах [10]; – рентгеновська флуоресценція (XRF): визначає хімічний склад металу; недоліки – потребує спеціального обладнання, кваліфікованих операторів, менш ефективний для складних конструкцій або великої глибини [11]. Усі перераховані методи мають спільний недолік – залежать від участі фахівця.

Методи інтелектуального аналізу даних, які включають машинне навчання, класифікацію, кластеризацію та комп'ютерний зір, мають величезний потенціал для автоматизації процесу виявлення корозії. Ці технології дозволяють аналізувати великі обсяги даних, отриманих з різних джерел, таких як камери, дрони та супутникові знімки, і виявляти корозійні ураження на ранніх стадіях [12]. Використання цих методів може значно підвищити точність і ефективність моніторингу стану металевих конструкцій. Інтелектуальний аналіз даних, також, може бути застосований для роботи з зображеннями, методи інтелектуального аналізу даних можуть бути застосовані для виявлення корозійних уражень на металевих конструкціях, лише за їх зображенням.

Існує кілька основних груп методів інтелектуального аналізу даних (data mining), кожна з яких має свої специфічні підходи та застосування. Ось основні групи цих методів:

– класифікація – визначення категорії або класу для нового зразка даних на основі навченої моделі, приклади методів: рішення дерева, метод опорних векторів (SVM), наївний Байєсів класифікатор, нейронні мережі, логістична регресія;

– кластеризація – групування схожих зразків даних у кластери без попередньої інформації про групи, приклади методів: K-середніх (K-means), ієрархічна кластеризація, DBSCAN.

Перераховані вище методи можуть комбінуватися та адаптуватися для конкретних задач, що робить інтелектуальний аналіз даних потужним інструментом для отримання цінної інформації з великих наборів даних.

Інтелектуальний аналіз даних включає застосування широкого спектру технік, таких як оцінка, сортування, модифікація, структурування, вибірка та обґрунтування, з метою витягування корисної інформації з даних, тому доцільно спробувати використати ІАД для визначення рівня корозійного ураження металевих конструкцій.

Дослідження предметної області підтверджує важливість розв'язання поставленого завдання, а використання цифрових методів можна вважати раціональним та ефективним підходом.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є спрощення процесу виявлення корозійних уражень на металевих конструкціях за аналізом зображення. Для досягнення поставленої мети визначено такі задачі дослідження:

- провести аналіз методів виявлення корозійних пошкоджень на металевих конструкціях шляхом аналізу їх зображень;
- провести аналіз можливостей, переваг та недоліків методів інтелектуального аналізу даних для ідентифікації корозійних уражень металевих конструкцій;
- реалізувати метод виявлення корозійних уражень методами інтелектуального аналізу даних для рекомендаційної системи визначення стану металевих конструкцій;
- виконати програмну реалізацію методу виявлення корозійних уражень методами інтелектуального аналізу даних для рекомендаційної системи визначення стану металевих конструкцій;
- провести експериментальне тестування програмної реалізації методу;
- виконати дослідження спрощення процесу виявлення корозійних уражень на металевих конструкціях за аналізом зображення.

Метод виявлення корозійних уражень за допомогою інтелектуального аналізу даних включає декілька етапів обробки зображення. Перший етап полягає у зборі даних – зображення, які відображають стан металевих конструкцій. Наступним етапом є попередня обробка даних, яка включає фільтрацію шумів, нормалізацію та інші техніки підготовки даних для аналізу. Визначення рівня корозійного ураження відбувається за допомогою навчених моделей машинного навчання. Розроблений метод ґрунтується на поетапній обробці зображень з використанням алгоритмів інтелектуального аналізу даних. Процес виявлення та аналізу корозійних уражень складається з трьох ключових етапів, що забезпечують високу точність та достовірність результатів. На першому етапі зображення металевої конструкції проходить попередню обробку, яка включає:

- видалення шумів, що можуть спотворити результати аналізу;
- приведення зображення до єдиного масштабу та рівня яскравості для коректності подальших обчислень;
- застосування алгоритмів аналізу даних для чіткого окреслення об'єктів на зображенні, що дозволяє краще ідентифікувати межі металевої конструкції та зони корозії;

На другому етапі відбувається виявлення та розділення ділянок, що містять металеву конструкцію та корозію. Це досягається за допомогою:

- використання алгоритмів сегментації для визначення областей, що відповідають металевій конструкції,

– застосування методів сегментації для ідентифікації корозійних пошкоджень на поверхні металу, це дозволяє відокремити корозійні зони від здорових частин конструкції.

На завершальному етапі проводиться оцінка ступеня корозійного ураження, що дає змогу визначити серйозність проблеми. Цей етап включає:

– використання методів, таких як аналіз кольорових гістограм, для оцінки стану поверхні металу,

– застосування методів машинного навчання, таких як дерева рішень, для визначення категорії ураження.

Вище описаний метод має наступні переваги:

- висока точність та надійність завдяки поетапному підходу;
- ефективне виявлення та розділення корозійних уражень;
- швидка та точна оцінка ступеня корозії для прийняття обґрунтованих та вчасних рішень;
- можливість автоматизації процесу для регулярного моніторингу стану металевих конструкцій.

Створений метод пропонує комплексний підхід до виявлення та оцінки корозійних уражень на металевих конструкціях. Завдяки своїй точності, надійності та гнучкості він може бути ефективним інструментом для моніторингу стану критично важливих об'єктів, що може допомогти запобігти аваріям та руйнуванням цих об'єктів.

Для підтвердження доцільності використання розробленого методу для визначення рівня корозійного ураження металевих конструкцій було проведено порівняння ефективності використання експертів – людей та програмно реалізованого методу. Нижче, в таблиці 1 наведено результати порівняння ефективності визначення ступеню ураження легкою (поверхневою) корозією. В таблиці 1 показано результати порівняння експертного та автоматизованого методів виявлення та оцінки корозійних уражень. Порівняння виконано за такими параметрами, як час (у секундах), та відхилення (у відсотках) від фактичного значення корозійного ураження металевої конструкції, яке було визначено шляхом піксельного аналізу зображення. Для порівняння двох методів виявлення корозійного ураження і визначення його ступеня було підготовлено чотири зображення металевих конструкцій, які уражені легкою корозією. Проаналізувавши дані з таблиці 1 можна зробити висновки, що використання створеного та програмно реалізованого методу виявлення корозійних уражень на металевих конструкціях займає на багато менше часу – близько трьох секунд для аналізу одного зображення, тоді як використання людей-експертів потребує від двох до десяти хвилин для аналізу одного зображення. Також варто звернути увагу на те, що відхилення визначеного значення рівня корозійного ураження від фактичного, при використанні людей-експертів становить від 5 до майже 300 відсотків, тоді як програмно реалізований метод показує результати з відхиленням до двох відсотків.

Таблиця 1 – Порівняння експертного та автоматизованого методу

№ фото	Експертний метод									Автоматизований метод			Фактичне значення (%)
	Експерт 1			Експерт 2			Експерт 3			Розроблений метод			
	Час (сек.)	Результат (%)	Відхилення (%)	Час (сек.)	Результат (%)	Відхилення (%)	Час (сек.)	Результат (%)	Відхилення (%)	Час (сек.)	Результат (%)	Відхилення (%)	
1	327	9	50,50	439	10	67,22	235	5	16,39	3	6.12	2,34	5.98
2	512	5	293,70	287	3	136,22	374	2	57,48	3	1.32	3,94	1.27
3	189	35	11,93	148	28	10,45	561	33	5,53	3	30.58	2,21	31.27
4	479	16	10,65	575	12	17,01	162	18	24,48	3	13.93	3,67	14.46

Для зручності сприйняття даних, наведених в таблиці 1, результати обробки першого зображення графічно зображено на рисунку 1.

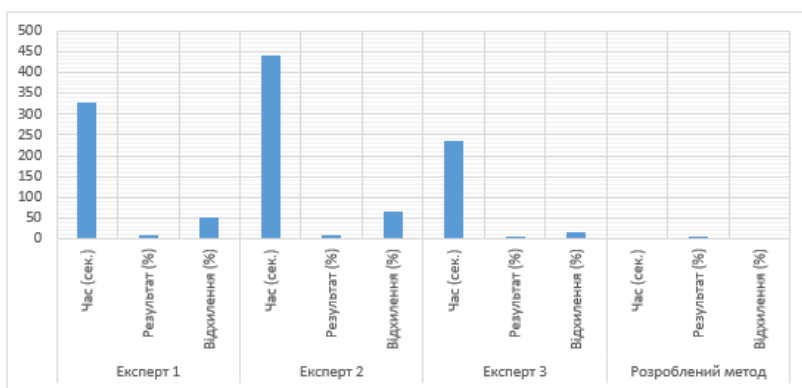


Рисунок 1 – Результати обробки зображення №1

Як в таблиці 1, так і на рисунку 1 можна наочно побачити, що створений та програмно реалізований метод показує на багато кращі результати, за такими параметрами, як відхилення від істинного значення та витрачений час, ніж рішення аналогічної задачі шляхом використання людей-експертів.

Отже, розроблений та програмно реалізований метод виявлення корозії металевих конструкцій, за допомогою інтелектуального аналізу даних, спрощує процес виявлення та оцінки корозійних уражень за зображенням металевої конструкції.

### **Перелік посилань**

1. Metallurgy in Daily Life...URL: <https://www.linkedin.com/pulse/metallurgy-daily-life-akshay-pratap-singh>
2. Anti-corrosion coatings: Prevent damage with barriers and inhibitors URL: <https://www.ulprospector.com/knowledge/7145/pc-corrosion-protection-chemistry-and-anti-corrosion-coatings/>
3. The complete guide to corrosion protection in industrial settings - DST-CHEMICALS URL: <https://dstchemicals.com/resources/knowledge/the-complete-guide-to-corrosion-protection-in-industrial-settings>
4. Loss of Material from the Surface of a Steel Beam Due to Corrosion | Download Scientific Diagram URL: [https://www.researchgate.net/figure/Loss-of-Material-from-the-Surface-of-a-Steel-Beam-Due-to-Corrosion\\_fig1\\_289545078](https://www.researchgate.net/figure/Loss-of-Material-from-the-Surface-of-a-Steel-Beam-Due-to-Corrosion_fig1_289545078)
5. Corrosion and Monetary Losses URL: <https://www.linkedin.com/pulse/corrosion-monetary-losses-suprabha-protective-products-pvt-ltd>
6. The Dangers of Corrosion: Human Safety and Equipment URL: <https://www.haydencorp.com/the-dangers-of-corrosion-how-it-can-harm-both-human-safety-and-equipment>
7. Environmental Impact of Corrosion: Mitigating Ecological Consequences | by Mihir S | Medium URL: <https://medium.com/@corrosafeofficial/environmental-impact-of-corrosion-mitigating-ecological-consequences-d133141be60e>
8. Corrosion and Its Far-reaching Impact on Society – Definition & Prevention URL: <https://www.lingayasvidyapeeth.edu.in/corrosion-and-its-far-reaching-impact-on-society/>
9. Основні методики контролю якості зварних з'єднань, їх плюси та мінуси URL: <https://zvarka.info/osnovni-metodiki-kontrolyu-yakosti-zvarnih-zyednan-yih-plyusi-ta-minusi/>
10. Комплексний вступ до ультразвукового контролю URL: <https://www.purenickel.com/uk/comprehensive-introduction-to-ultrasonic-testing.html>
11. Fluorescence in the life sciences – Wikipedia URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescence\\_in\\_the\\_life\\_sciences](https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescence_in_the_life_sciences)
12. Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions | SN Computer Science. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42979-021-00592-x>