

УДК 004.032.26:658.562

*Моргун Є., здобувач  
Добржанський О.О., к. т. н., доцент  
Пуховський Є.С. д.т.н., професор  
Державний університет «Житомирська політехніка»*

## **НЕЙРОМЕРЕЖЕВА СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ У ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ**

В умовах Industry 4.0 автоматизований контроль якості є важливою складовою підвищення ефективності та конкурентоспроможності промислових підприємств. Перспективним напрямом є застосування методів глибокого навчання, які забезпечують точне виявлення, локалізацію та класифікацію дефектів поверхні в режимі реального часу. Метою роботи є розробка нейромережевої системи контролю, придатної для використання безпосередньо у виробничих умовах.

Залежно від особливостей виробництва та характеру дефектів доцільно застосовувати різні архітектури нейронних мереж. Для задач швидкої локалізації дефектів у високошвидкісних виробничих процесах ефективними є одноетапні детектори сімейства YOLO, які забезпечують оперативне виявлення пошкоджених ділянок у вигляді обмежувальних рамок. У випадках, коли критичним є точне визначення геометричних параметрів дефекту, наприклад площі корозії, довжини тріщини чи форми пошкодження, доцільно використовувати сегментаційні архітектури U-Net або Mask R-CNN, які дають змогу класифікувати кожен піксель зображення та отримувати точну маску дефекту.

За умов обмеженої кількості розмічених даних перспективним є використання методів виявлення аномалій без учителя. У цьому разі модель навчається на зображеннях бездефектних зразків, а відхилення виявляються за помилкою реконструкції або за відхиленням локальних ознак від еталонного розподілу. До таких підходів належать згорткові автоенкодері, memoгу-bank методи та моделі на основі нормалізуючих потоків. Їх застосування є особливо доцільним у тих галузях, де отримання великого набору розмічених прикладів дефектів є ускладненим або економічно недоцільним.

Ефективність нейромережевої системи слід оцінювати не лише за загальною точністю класифікації, а й за спеціалізованими метриками, що враховують якість локалізації та дисбаланс класів. Для задач детекції та сегментації важливою є метрика Intersection over Union:

$$IoU = \frac{A_{overlap}}{A_{union}}$$

де  $A_{overlap}$  – площа перетину прогнозованої та еталонної областей,  $A_{union}$  – площа їх об'єднання.

Для комплексної оцінки якості класифікації доцільно використовувати F1-міру, яка визначається як гармонійне середнє між точністю та повнотою:

$$F_1 = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}$$

З метою підвищення стійкості моделі до реальних виробничих умов у процес навчання доцільно включати аугментацію даних, зокрема додавання шуму, розмиття руху, варіювання експозиції, колірної температури та геометричні перетворення. Це сприяє підвищенню узагальнювальної здатності моделі та забезпечує її надійне функціонування в умовах пилу, вібрацій, нестабільного освітлення та інших виробничих завод.

Для практичного впровадження системи доцільним є застосування підходів Edge AI, за яких нейромережевий висновок виконується безпосередньо поблизу джерела даних. Такий підхід дає змогу зменшити затримки передавання інформації, знизити навантаження на мережеву інфраструктуру та забезпечити роботу системи в режимі реального часу. Підвищення продуктивності апаратної реалізації досягається шляхом оптимізації моделі, зокрема квантування, зменшення розрядності обчислень і скорочення надлишкових параметрів.

#### **Список використаних джерел:**

1. Ma, Y., Yin, J., Huang, F., Li, Q. *Surface defect inspection of industrial products with object detection deep networks: a systematic review*. *Artificial Intelligence Review*, 2024, Vol. 57, Article 333. DOI: 10.1007/s10462-024-10956-3.