

# ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ ДЕФЕКТІВ ПОВЕРХНІ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

## Анотація

Запропоновано метод автоматизованого візуального контролю дефектів на промислових конвеєрних лініях. Розроблена інформаційно-вимірювальна система на базі згорткових нейронних мереж забезпечує високу точність локалізації структурних аномалій та швидкодію в режимі реального часу за рахунок апаратної оптимізації моделей.

**Ключові слова:** інформаційно-вимірювальна система, машинний зір, згорткова нейронна мережа, дефектоскопія, класифікація.

## Abstract

A method for automated visual control of defects on industrial conveyor lines is proposed. The developed information-measuring system based on convolutional neural networks provides high accuracy of structural anomalies localization and real-time performance due to hardware optimization of models.

**Keywords:** information-measuring system, machine vision, convolutional neural network, defectoscopy, classification.

## Вступ

Сучасне промислове виробництво вимагає переходу від суб'єктивного та повільного ручного візуального контролю якості до автоматизованих систем. Проте класичні математичні методи обробки зображень втрачають свою надійність в умовах інтенсивних промислових завод (блиски на металі, природна текстура деревини, мінливе освітлення).

Метою роботи є розробка високоточної інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) для автоматичної локалізації та класифікації дефектів поверхні з використанням оптимізованих рішень, здатних працювати на високих швидкостях конвеєрних ліній.

## Результати дослідження

Для забезпечення стійкості до оптичних перешкод запропоновано дворівневу архітектуру обробки відеоданих виявлення та класифікації дефектів поверхні деревини.

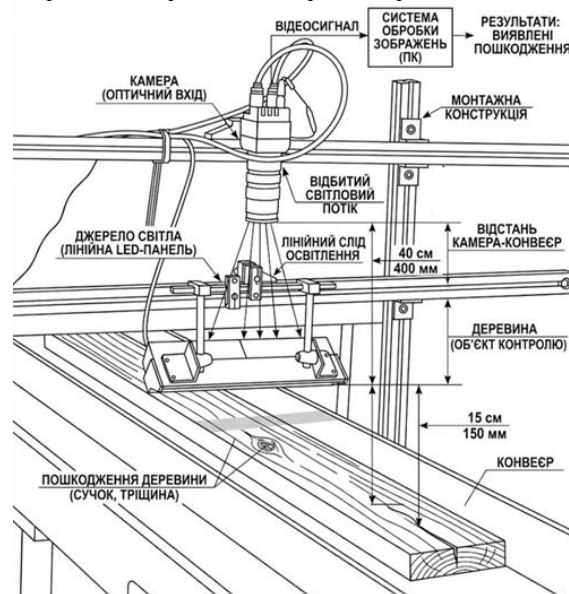


Рисунок 1— Розміщення підсистеми виявлення та класифікації дефектів

З огляду на те, що система має функціонувати в режимі реального часу, запуск класичних важких нейромереж безпосередньо на конвеєрі спричиняє неприпустимі часові затримки. Для вирішення цієї

проблеми проведено системну інтеграцію на базі промислових платформ периферійних обчислень із застосуванням методу квантування вагових коефіцієнтів нейромережі.

Для ділянок виробництва, де обчислювальні контролери не оснащені потужними графічними прискорювачами і запуск згорткових нейромереж є неможливим, у програмній підсистемі реалізовано детермінований алгоритм сегментації, заснований на класичному методі Оцу.

Метод Оцу є автоматичним, непараметричним і некерованим алгоритмом вибору порогу бінаризації зображення, який базується на критерії дискримінантної міри. На відміну від складних нейромереж, цей алгоритм передбачає, що зображення містить два основні класи пікселів: пікселі об'єкта та пікселі фону. Головною задачею методу є знаходження такого оптимального порогу яскравості, який мінімізує внутрішньокласову дисперсію і, відповідно, максимізує міжкласову дисперсію, гарантуючи найкраще відокремлення пошкодження від чистого матеріалу.

Математичний апарат методу спирається на гістограму яскравості зображення. Для заданого порогу  $t$  міжкласова дисперсія  $\sigma_B^2(t)$  розраховується за такою формулою:

$$\sigma_B^2(t) = w_1(t)(\mu_1 - \mu_T)^2 + w_2(t)(\mu_2 - \mu_T)^2, \quad (1)$$

де  $w_1(t)$  та  $w_2(t)$  — ймовірності (або вагові коефіцієнти) першого та другого класів, на які зображення розділяється поточним порогом  $t$ ;  $\mu_1$  та  $\mu_2$  — середні значення рівнів яскравості для першого (фон) та другого (дефект) класів відповідно;  $\mu_T$  — загальне середнє значення інтенсивності всього зображення.

Оптимальний поріг бінаризації  $t^*$  визначається алгоритмом шляхом послідовного перебору всіх можливих градацій яскравості сірого (звичай від 0 до  $L - 1$ , де  $L = 256$ ) та пошуку максимуму цільової функції міжкласової дисперсії:

$$t^* = \arg \max_{0 < t < L-1} \sigma_B^2(t). \quad (2)$$

Після математичного обчислення оптимального порогу  $t^*$  за формулою (2), алгоритм замінює кожен піксель зображення на чорний (якщо його інтенсивність менша за  $t^*$ ) або білий (якщо інтенсивність більша за  $t^*$ ). У результаті формується чітка бінарна маска дефекту.

Метод Оцу дозволяє миттєво та надійно ізолювати висококонтрастні пошкодження (наприклад, темні сучки на світлій деревині або наскрізні отвори) без залучення значних процесорних потужностей промислового контролера, що дозволяє проводити швидкісну класифікацію дефекту поверхні.

### Висновки

Встановлено, що розроблена інформаційно-вимірювальна система є повністю готовим апаратно-програмним рішенням, яке успішно поєднує високу метрологічну надійність, низькі обчислювальні витрати та безпрецедентну швидкодію. Впровадження таких комплексів на автоматизованих виробничих лініях дозволяє суттєво підвищити якість продукції та повністю виключити людський фактор із процесу технічного контролю.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паламар М. І., Стрембіцький М. О., Паламар А. М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів : навчальний посібник. Тернопіль : ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2018. - 157 с.
2. Пасічник В. В., Литвин В. В., Шаховська Н. Б. Проектування інформаційних систем : навчальний посібник. Львів, 2013. - 380 с.
3. Кожем'яко, А., Крупельницький, Л., Войцеховська, О., & Булига, І. (2026). Засоби інтелектуального оброблення даних для робототехнічних систем. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, 51(1), 57–67. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2026-51-1-57-67>.

**Черняк Петро Олегович** — студент групи КОІС-216, Факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: petrocernak@gmail.com

Науковий керівник: **Кожем'яко Андрій Вікторович** – канд. техн. наук, доцент кафедри БМІОЕС, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email : kvantron@vntu.edu.ua

**Cherniak Petro O.** — Department of Information electronical system, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : petrocernak@gmail.com

Supervisor: **Koshemiako Andrii V.** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor, BMIOES, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : kvantron@vntu.edu.ua