

УДК 004.896

А.Ю. ГОРБОВИЙ, В.В. ЛАГОВСЬКИЙ, А.А. ОМЕЛЬЧУК  
Університет державної фіскальної служби України

## ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ТЕКСТИЛЬНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Штучний інтелект та експертні системи успішно використовуються в багатьох видах промисловості. В роботі показано, що впровадження цих систем дає ряд переваг. Обґрунтовується необхідність впровадження систем штучного інтелекту у виробництво в рамках концепції Industry 4.0. Описані основні напрямки розвитку систем штучного інтелекту у текстильній промисловості, та переваги і недоліки різних підходів.*

*Незважаючи на ряд прикладів використання цих систем в легкій промисловості, їх потенціал ще повністю не використовується. Однією з причин обмеженого застосування таких систем у текстильній промисловості є особливості областей знань і «ноу-хау» в цій галузі.*

*Конкурентоспроможність є ключовим фактором цієї галузі. Очевидно, що модернізація повинна бути спрямована на зниження витрат і збільшення обсягу виробництва. Це зазвичай досягається за рахунок зниження витрат на робочу силу і підвищення рівня автоматизації. Однак досвід майстрів, які все життя пропрацювали в цьому секторі, не може бути легко автоматизований. Ця інформація зазвичай втрачається, якщо не робляться зусилля для зберігання знань і досвіду в спеціалізованій системі. Підкреслюється, що вибір конфігурації для кожної системи буде залежати від ряду факторів. Подібні системи мають розроблятися фахівцями з інформаційних технологій спільно з експертами у галузі.*

*У роботі була запропонована структура системи експрес-експертизи, де функції експертизи відводяться системі на базі штучного інтелекту, з якою через мережу з'єднані портативні пристрої (клієнти). Пропонується застосування таких пристроїв особисто (покупець у магазині), на підприємствах (магазини одягу, текстильне виробництво), у державних органах (митна служба). У кожному з цих випадків система може мати спеціалізований адаптований функціонал: платні і безоплатні послуги, відкриті і конфіденційні бази даних, рекламні послуги.*

*Результати досліджень мають сприяти впровадженню нових систем контролю якості текстильних виробів, які дозволять підвищити якість продукції на ринку, що в кінцевому рахунку буде сприяти відновленню економіки України.*

*Ключові слова: штучний інтелект; Cognex; експертні системи; розпізнавання образів.*

А.Ю. ГОРБОВОЙ, В.В. ЛАГОВСКИЙ, А.А. ОМЕЛЬЧУК  
Университет государственной фискальной службы Украины

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Искусственный интеллект и экспертные системы успешно используются во многих видах промышленности. В работе показано, что внедрение этих систем дает ряд преимуществ. Обосновывается необходимость внедрения систем искусственного интеллекта в производство в рамках концепции Industry 4.0. Описаны основные направления развития систем искусственного интеллекта в текстильной промышленности, и преимущества и недостатки различных подходов.*

*Несмотря на ряд примеров использования этих систем в легкой промышленности, их потенциал еще полностью не используется. Одной из причин ограниченного применения таких систем в текстильной промышленности являются особенности областей знаний и «ноу-хау» в этой отрасли.*

*Конкурентоспособность является ключевым фактором этой отрасли. Очевидно, что модернизация должна быть направлена на снижение издержек и увеличение объема производства. Это обычно достигается за счет снижения затрат на рабочую силу и повышение уровня автоматизации. Однако опыт мастеров, которые всю жизнь проработали в этом секторе, не может быть легко автоматизирован. Эта информация обычно теряется, если не предпринимаются усилия для хранения знаний и опыта в специализированной системе. Подчеркивается, что выбор конфигурации для каждой системы будет зависеть от ряда факторов. Подобные системы должны разрабатываться специалистами по информационным технологиям совместно с экспертами в области.*

*В работе была предложена структура системы экспресс-экспертизы, где функции экспертизы отводятся системе на базе искусственного интеллекта, с которой через сеть соединены портативные устройства (клиенты). Предлагается применение таких устройств лично (покупатель в магазине), на предприятиях (магазины одежды, текстильное производство), в государственных органах (таможенная служба). В каждом из этих случаев система может иметь специализированный адаптированный функционал: платные и бесплатные услуги, открытые и конфиденциальные базы данных, рекламные услуги.*

*Результаты исследований должны способствовать внедрению новых систем контроля качества текстильных изделий, которые позволят повысить качество продукции на рынке, что в конечном счете будет способствовать восстановлению экономики Украины.*

*Ключевые слова: искусственный интеллект; Cognex; экспертные системы; распознавания образов.*

A.Y. HORBOVYY, V.V. LAGOVSKYY, A.A. OMELCHUK  
University of the State Fiscal Service of Ukraine

## **ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE TEXTILE INDUSTRY**

*Artificial intelligence and expert systems are successfully used in many types of industries. The work shows that the implementation of these systems provides a number of advantages. The necessity of introducing artificial intelligence systems into production within the framework of the Industry 4.0 concept is substantiated. The main directions of the development of artificial intelligence systems in the textile industry, and the advantages and disadvantages of various approaches are described.*

*Despite a number of examples of the use of these systems in light industry, their potential has not yet been fully exploited. One of the reasons for the limited use of such systems in the textile industry is the specific areas of expertise and know-how in the industry.*

*Competitiveness is a key factor in this industry. It is obvious that modernization should be aimed at reducing costs and increasing production. This is usually achieved through lower labor costs and increased levels of automation. However, the experience of the craftsmen who have worked in this sector all their lives cannot be easily automated. This information is usually lost if no effort is made to store knowledge and experience in a specialized system. It is emphasized that the choice of configuration for each system will depend on a number of factors. Such systems should be developed by information technology specialists in conjunction with experts in the field.*

*The work proposed the structure of an express examination system, where examination functions are assigned to a system based on artificial intelligence, with which portable devices (clients) are connected via a network. It is proposed to use such devices personally (the buyer in the store), at enterprises (clothing stores, textile production), in government*

agencies (customs service). In each of these cases, the system can have specialized adapted functionality: paid and free services, open and confidential databases, advertising services.

The research results should contribute to the introduction of new quality control systems for textile products, which will improve the quality of products on the market, which ultimately will contribute to the recovery of the Ukrainian economy.

Keywords: artificial intelligence; Cognex; expert systems; pattern recognition.

### Постановка проблеми

Використання комп'ютерів в харчовій і текстильній промисловості почалося в 1960-х роках. За ці роки було опубліковано значну кількість робіт, що описують застосування комп'ютерного контролю в різних областях текстильної промисловості, включаючи виробництво волокна, формування пряжі і тканини, фарбувальні машини. Хоча термін «штучний інтелект» був придуманий в 1956 році, саме протягом останнього десятиліття 20-го століття дослідники текстилю активно займалися його застосуванням в різних областях. Одним з ранніх застосувань штучного інтелекту була робототехніка, яка застосовувалася для автоматизації технологічного процесу. Однак останнім часом штучні нейронні мережі (ANN), нечітка логіка і деякі експертні системи привертають увагу дослідників в різних секторах промисловості.

Швидкий розвиток інформаційних технологій з одного боку, і постійне підвищення вимог до якості та екологічності продукції з іншого, призвели до появи компактних пристроїв, що здатні у режимі реального часу аналізувати структуру виробу чи вміст хімічних елементів у ньому.

Більше одного мільярда продуктів перевіряється, оцінюється і відстежується з використанням систем штучного інтелекту кожен день. Володіючи широким спектром рішень для промисловості, які вже забезпечують прийнятну якість, гнучкість і прибутковість для світових виробників, системи штучного інтелекту (зокрема від фірми Cognex) за своєю природою підготовлені до впровадження автоматизації виробництва за стандартами Industry 4.0.

Очікується, що застосування систем машинного зору значно розшириться у всьому ланцюгу виробництва. Розробники цих систем інвестують в них значні кошти задля збільшення функціональності і конкурентоспроможності, пропонуючи підприємствам моніторинг продуктивності в реальному часі (RTM). Такі інноваційні системи надають виробникам деякі переваги Big Data від Industry 4.0. Моніторинг допомагає відслідковувати, діагностувати і вирішувати проблеми зі штрих-кодами в режимі реального часу для досягнення більшої пропускну здатності, а також збирає і оцінює якість зображень штрих-коду та надає інші дані для управління технологічним процесом. Моніторинг працює разом з мережею давачів-зчитувачів, що використовують потужні алгоритми для зчитування практично будь-яких штрих-кодів (пошкоджених, розташованих під кутом, зім'ятих або перекритих відблисками).

Завдяки еволюції інформаційних технологій, обробка зображень на основі технологій штучного інтелекту, характеризується високою ефективністю і можливістю позбутися недоліків традиційних рішень для контролю якості текстильних виробів та встановити нові стандарти параметризації. Крім того, нові рішення характеризуються меншими витратами, високою роздільною здатністю і точністю, мобільністю і простотою в обслуговуванні [1].

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Якість тканини прямо залежить від особливостей і однорідності пряжі [2]. Для оцінки якості пряжі існують спеціалізовані пристрої, прикладом яких може слугувати виріб фірми Uster [1]. Ці тестери включають в себе, крім інших, характеристик, 8 мм

ємнісні датчики для аналізу маси пряжі, оптику темного поля для аналізу ворсистості пряжі з роздільною здатністю 1 см і некогерентне світло для вимірювання діаметра [3].

Подібні пристрої добре себе зарекомендували, однак, можна відзначити кілька недоліків, а саме: їх високу вартість, габарити, велику вагу, неможливість використання в режимі онлайн під час виробництва, обмежена роздільна здатність і точність в визначення параметрів пряжі [3]. Крім того, вони представляють собою комплекс складного вимірювального електронного та оптичного устаткування, вимагають періодичного технічного обслуговування через зміни параметрів електронного обладнання і не можуть використовуватися для оцінки нових типів ниток [4].

Застосування засобів та підходів штучного інтелекту може підвищити ефективність функціонування подібних систем.

Традиційний підхід – це використання систем, заснованих на правилах. Системи діагностики, засновані на правилах, представляють досвід кваліфікованих діагностів або знання про симптоми і несправності в формі правил, які зазвичай приймають форму «якщо симптом (симптоми), то несправність (несправності)». Висновок на основі правил включає отримання інформації про проблемні області та виклик правил, які відповідають цій інформації.

Експертні системи на основі правил є найбільш поширеними інтелектуальними діагностичними системами в галузі. Головними перевагами систем на основі правил є їх інтуїтивна простота. Інші перевагами є широка доступність, що значно полегшує розвиток; правила по своїй суті є модульними, що полегшує обслуговування і оновлення системи; послідовність виведення може бути легко простежена. Системи, засновані на правилах, мають і такі недоліки: складність накопичення знань для створення бази правил; нездатність впоратися з новими помилками. Системна залежність, тобто нова база правил, повинна бути згенерована для кожного нового типу системи. Традиційними підходами є дерева помилок (рішень) – ієрархічна структура даних, що складається з вузлів, які зберігають інформацію або знання, і гілок, які з'єднують вузли. У дереві помилок в якості відправної точки використовуються симптоми або результати тесту, за яким йде дерево рішень з розгалуженням, що складається з дій, рішень і, нарешті, рекомендацій щодо виправлення. Основною перевагою дерев відмов є простота і зручність використання. Однак для більш складних систем повне дерево відмов може бути дуже великим і закладним. Крім того, дерево відмов залежить від системи, і навіть невеликі зміни в системі можуть означати значні оновлення. Нарешті, дерево помилок не дає ніяких вказівок на знання, використані для генерації відповіді.

Модельно-орієнтований підхід – заснований на Model-Based Reasoning (MBR), використовує моделі, щоб передбачити помилки, застосовуючи спостереження і інформацію від реального пристрою або системи.

Рис. 1 дає широку класифікацію різних підходів до діагностики несправностей.

На початку 1970-х років були опубліковані перші дослідні звіти по модельній діагностиці. Деякими з ранніх областей, які були досліджені, стали хімічна і авіакосмічна промисловість. З тих пір дослідження по модельній діагностиці активізувалися як в 1980-х, так і в 1990-х роках. Сьогодні це все ще велика область досліджень з багатьма невирішеними питаннями. Були використані різні типи підходів, включаючи моделі відмов, структурні моделі та поведінкові моделі. Застосовувалися моделі несправностей (або словники несправностей), причинно-наслідкові зв'язки та моделі, що засновані на структурі і поведінці.

Три великих класи знань використовуються для діагностики: евристичні, фундаментальні і історичні. Евристичне знання використовує правила, які пов'язують симптоми з помилками, часто з відповідною достовірністю або можливостями.



Рис. 1. Підходи до діагностики з використанням штучного інтелекту.

Правило типу «якщо – то» є прикладом такого підходу. Фундаментальні знання використовують основоположні принципи роботи системи. Системи засновані на моделі мислення є прикладом такого підходу. Історичні знання використовують дані або досвід, записаний під час попередніх діагностичних заходів, для винесення нових діагнозів [5].

#### Мета дослідження

Метою роботи є дослідження можливостей застосування засобів штучного інтелекту та формування теоретико-методологічних основ ідентифікації та експертизи продукції в різних галузях легкої промисловості.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Функції експертизи відводяться системі на базі штучного інтелекту, з якою через мережу з'єднані портативні пристрої (клієнти). Таким чином, користувач може або власноруч проаналізувати показники приладу, або отримати підтримку у прийнятті рішень від системи [6]. Подібні пристрої можуть ефективно застосовуватися особисто (покупець у магазині), у бізнесі (магазин одягу), у державних органах (митна служба). У кожному з цих випадків система може мати спеціалізований функціонал: платні і безоплатні послуги, відкриті і конфіденційні бази даних, рекламу.

Пропонується наступна структура системи експрес-експертизи (рис. 2).

Прикладом реалізації такого пристрою може слугувати «NIRONE Sensor» компанії Spectral Engines, зовнішній вигляд якого і опис його конструкції та компонентів наведені на рис. 3 і рис. 4. Це спектральний сенсор, що працює в діапазоні довжин хвиль від 1100 до 2450 нм. Конструкція датчика заснована на InGaAs детекторах (арсенід галію-індію) і MEMS FPI (інтерферометр Фабрі-Перо), що дозволяє здійснювати швидкі та надійні вимірювання у різних умовах. Крім аналізатора складу матеріалів, «NIRONE Sensor» включає RGB-давач кольору. Детектори «NIRONE» розроблені безпосередньо для інтеграції в інформаційну систему користувача і для цього мають вбудовані мікроконтролер, роз'єм (шина I2C), засоби штучного інтелекту, які забезпечують стабільність вихідного сигналу [7–9].

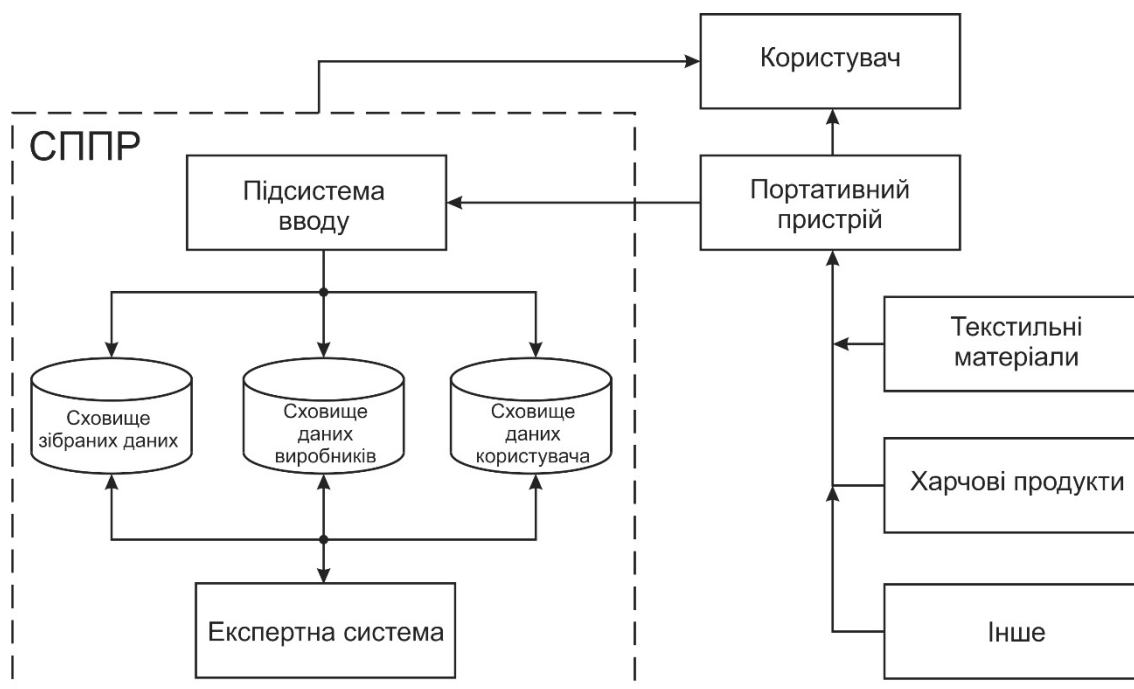


Рис. 2. Структура системи експрес-експертизи продукції.

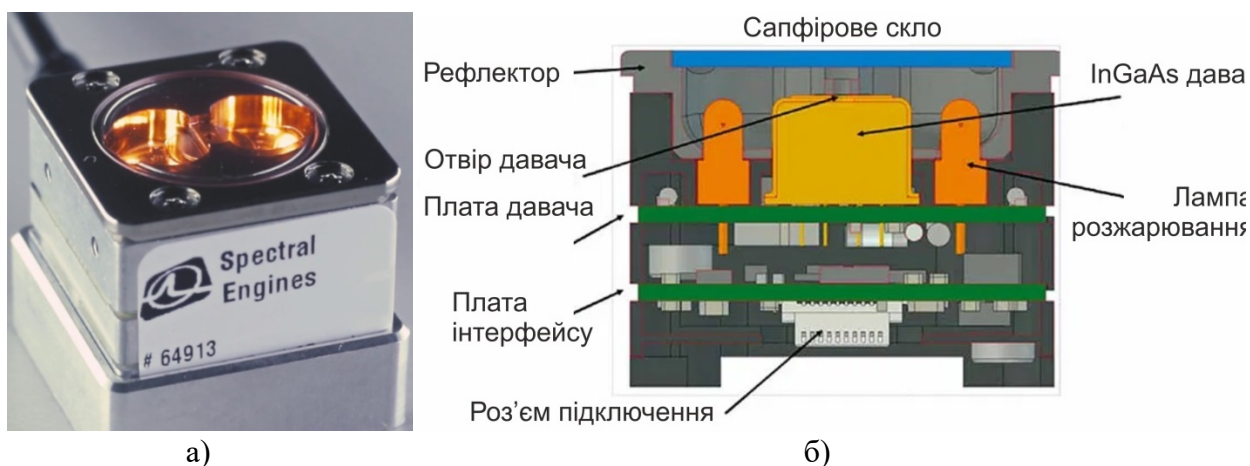


Рис. 3. Прилад «NIRONE Sensor»: а – загальний вигляд; б – опис основних компонентів.

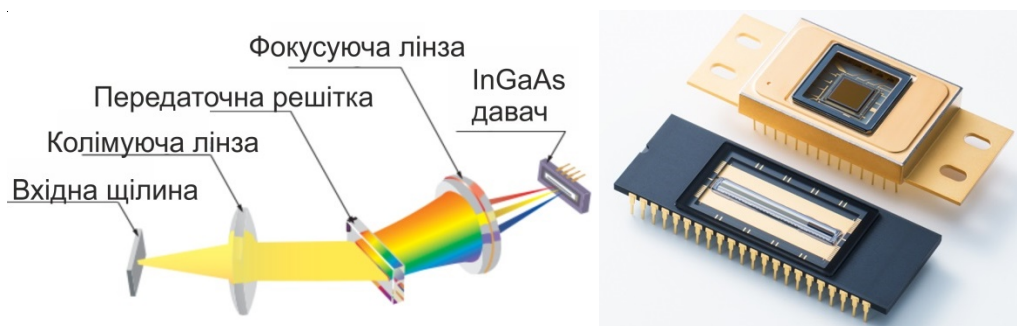


Рис. 4. Схема міні-спектрометра і вигляд мікросхеми InGaAs давача.

Високоєфективні програмні інструменти пропонуються компанією Cognex. Програмне забезпечення глибокого навчання Cognex ViDi (рис. 5) використовується для навчання оптимізованої для зору глибокої нейронної мережі (VODNN),

заснованої на наборі міток зображень [10]. Навчена мережа може робити наступне:

- Знаходити і визначати особливості на зображень.
- Знаходити і читати символи і рядки в зображеннях.
- Виявляти, знаходити і охарактеризувати дефекти на зображеннях.
- Класифікувати зображення.

Робота інструментів ViDi розділена на дві фази. Фаза навчання: тут інструменти аналізують маркований набір навчальних образів і навчають мережу. Фаза виконання: на цьому етапі інструменти опрацьовують вхідні зображення і виробляють маркування на основі своїх навчальних даних. Інструменти Cognex ViDi представляють собою набір інструментів машинного зору, які вирішують різні складні для програмування завдання за допомогою глибокого навчання. Кожен інструмент має різну спрямованість, аналізуючи окремі точки, окремі області або цілі зображення.

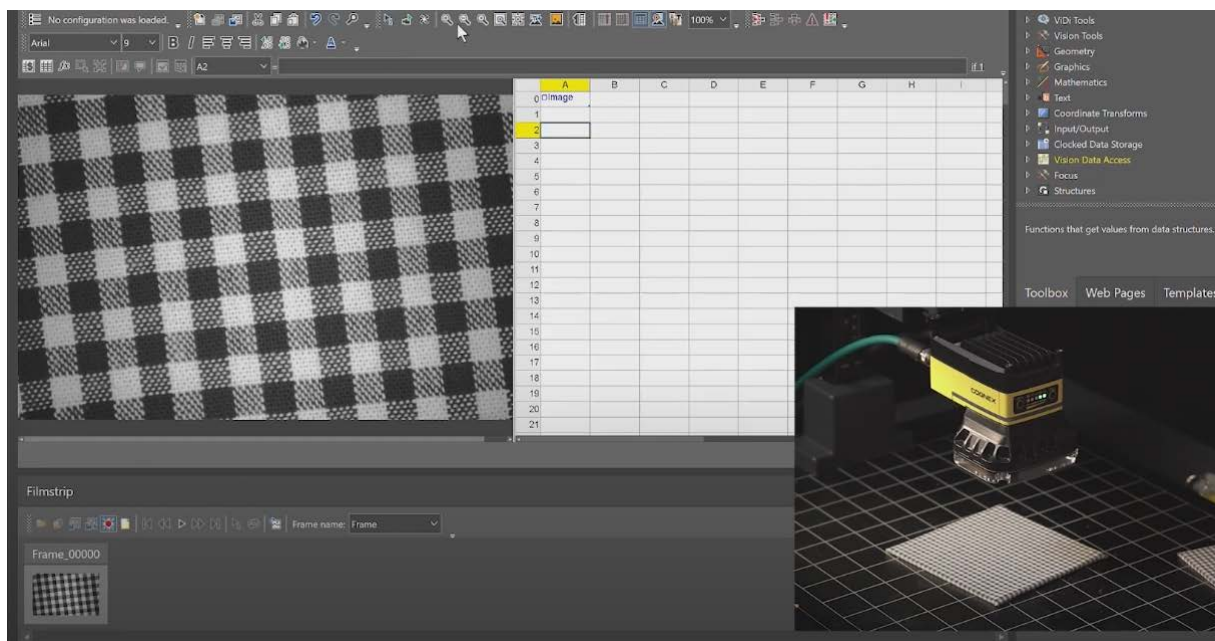


Рис. 5. Робоче вікно інструменту Red Analyze (ViDi Tool Graphics).

ViDi Blue Locate Tool використовується для пошуку і локалізації одного або декількох об'єктів в зображенні. Від невеликих об'єктів на різнобарвному фоні до скупчень складних об'єктів. ViDi Blue Read Tool використовується для оптичного розпізнавання символів в зображенні. Інструмент Blue Read дозволяє розпізнавати і читати символи, починаючи з чисто надрукованих символів і закінчуючи сильно деформованими символами на дуже яскравому фоні. ViDi Red Analyze Tool – режим використовується для виявлення аномалій і дефектів, наприклад пошук подряпин на декорованій поверхні, неповних або неправильних збірок приладів або проблем плетіння в текстилі. ViDi Green Classify Tool використовується для класифікації об'єкта або всієї сцени. Це може бути ідентифікація продуктів на основі їх упаковки, класифікація зварювальних швів або поділ допустимих і неприпустимих дефектів.

Коли інструмент Red Analyze (ViDi Tool Graphics) знаходиться в режимі супервізора, основна увага приділяється навчанню мережі тому, як виглядають дефекти. Під час тренування розглядаються тільки зображення з маркуванням. Зображення, які містять помічені області дефектів, використовуються для навчання. Крім того, інструмент також запам'ятовує частини позначених зображень, які не містять дефектних областей. В цілому, коли застосовується інструмент Red Analyze в

режимі супервізора, йде процес навчання програми розпізнавати дефекти і реагувати на них. Якщо зображення позначено як дефектне (рис. 6), то кожен дефект в зображенні повинен бути окреслений.

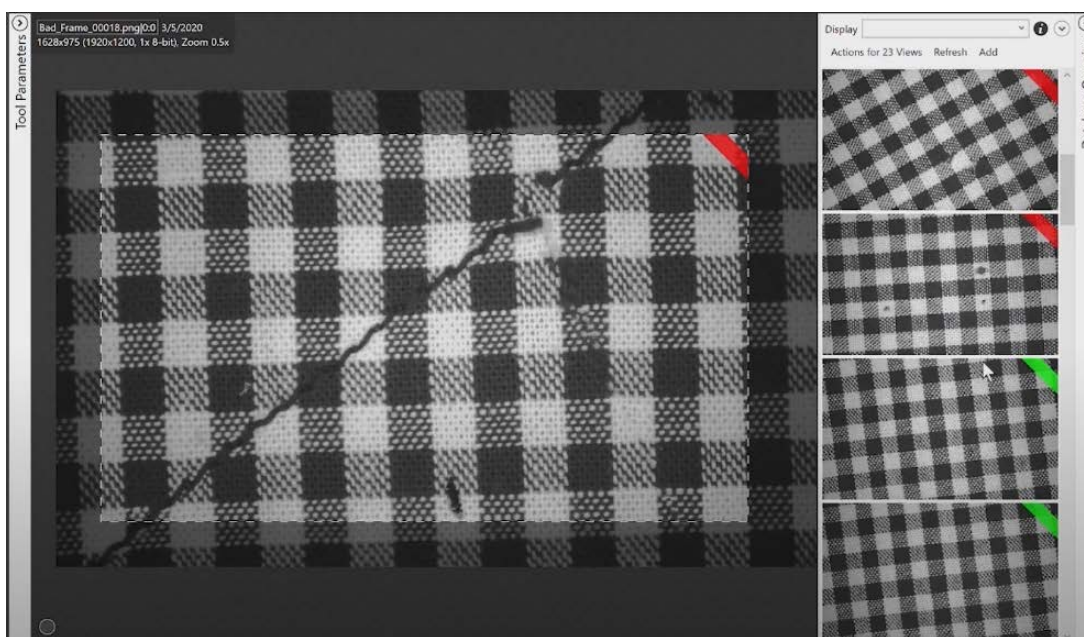


Рис. 6. Маркування дефектних і нормальних зображень.

Якщо позначити зображення як «нормальне» в режимі супервізора (тобто зображення, яке не містить дефектних областей), інструмент також буде використовувати це зображення для навчання. Зокрема, інструмент спробує навчити мережу таким чином, щоб зображення, помічені як «нормальні», не генерували ніяких дефектних відповідей (рис. 7).

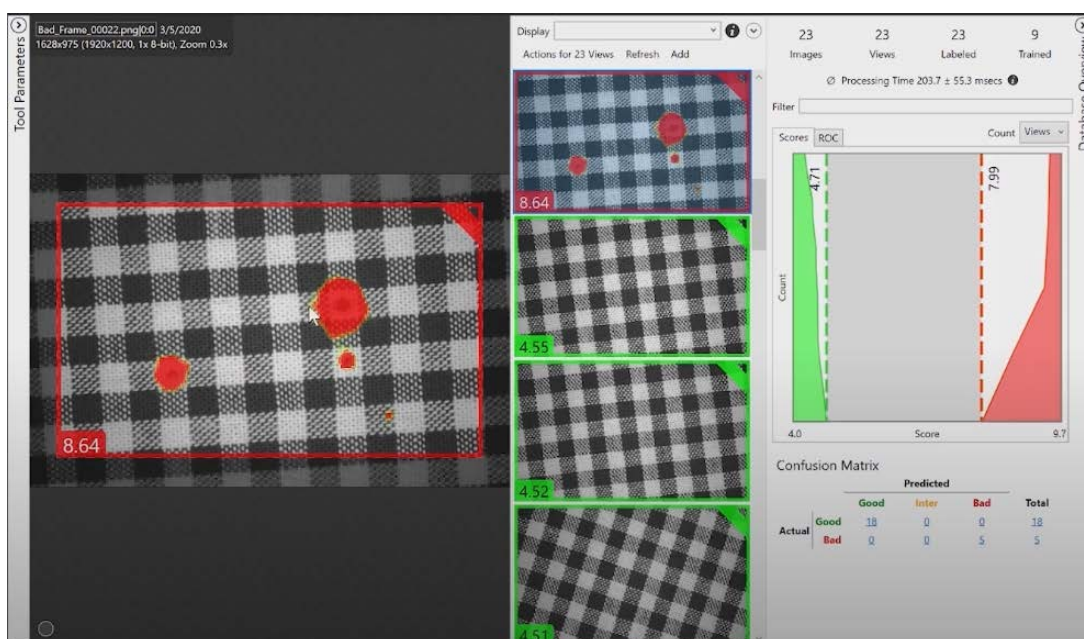


Рис. 7. Аналіз зображень у Red Analyze.



При виборі зображень необхідно переконатися, що в наявності є набір навчальних образів, який включає всі дефекти, з якими зіткнеться система під час роботи, а також зображення без дефектів. Якщо інструмент не навчений тому, як виглядає конкретний дефект (навчений тільки на подряпинах), тоді інструмент не знайде цей дефект (ігноруватиме плями).

### Висновки

У роботі досліджується можливість створення компактних пристроїв, що здатні у режимі реального часу аналізувати структуру виробу чи вміст хімічних елементів у ньому. На основі отриманих даних проводиться порівняння з відомими зразками (зібраними самою системою або наданими виробниками) і робиться висновок про відповідність. У подальшому планується провести поглиблені теоретичні дослідження у сфері штучного інтелекту, оцінити доцільність застосування експертних систем, нейронних мереж і методів розпізнавання образів для експрес-експертизи продукції та перевірки її на відповідність стандартам. Мають бути протестовані спеціалізовані сенсори, що виготовлені за різними технологіями, і на основі відібраних планується створити прототипи та провести практичні випробування у різних умовах.

Таким чином, у роботі обґрунтовується можливість створення українських зразків портативних приладів для експрес-експертизи продукції, що не будуть поступатися закордонним зразкам.

### Список використаної літератури

1. Carvalho V., Soares F., Vasconcelos R. Artificial Intelligence and Image Processing Based Techniques: A Tool for Yarns Parameterization and Fabrics Prediction. Proceedings of the *IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation* (Spain, Palma de Mallorca, September 22-25, 2009), pp. 1–4. DOI: 10.1109/ETFA.2009.5347255.
2. Neves J. A Irregularidade dos Fios Têxteis, Sua Origem, Medição e Análise. Oporto, 1968.
3. Carvalho V. Automatic Yarn Characterization System. (PhD Thesis), Braga: Minho University, 2008.
4. Salhotra. K. R. Fancy Yarn Manufacture-The Changing Scenario. *The Indian Textile Journal*. 1990. Vol. 101. P. 30–34.
5. Shamey R., Hussain T. Artificial Intelligence in the Colour and Textile Industry. *Review of Progress in Coloration and Related Topics*. 2003. Vol. 33. P. 33–45. DOI:10.1111/j.1478-4408.2003.tb00142.x.
6. Омельчук А. А., Лаговський В. В., Гнатюк С. С. Портативні засоби для експрес-експертизи продукції за допомогою спектрального аналізу. *Матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню космонавтики*. (м. Херсон, 08-10 квітня 2020 р.). Херсон: Видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2020. С. 58-59.
7. Zimmerleiter R., Reischer T., Koppensteiner R., Roßbory M., Brandstetter M. Inline Measurement of Formaldehyde Concentration in an Industrial Production Plant by NIR Microspectrometer Technology. Proceedings of the *Herbstkolloquium Prozessanalytik* (Germany, Marl, November 25-27, 2019). DOI:1-710.13140/RG.2.2.20282.34249.
8. NIRONE SENSOR S [Електронний ресурс]. *Theremino System*. URL: <https://www.theremino.com/en/downloads/automation> (дата звернення 19.03.20).

9. Theremino Spectrometer Documentation [Електронний ресурс]. *SPECTRAL ENGINES*. URL: <https://www.spectralengines.com/products/nirone-sensors> (дата звернення 19.06.20).
10. COGNEX ViDi SUITE. Deep Learning-based Industrial Image Analysis [Електронний ресурс]. *Cognex Corporation*. URL: <https://www.cognex.com/products/deep-learning/visionpro-vidi> (дата звернення 19.06.20).

### References

1. Carvalho, V., Soares, F., & Vasconcelos, R. (2009). Artificial Intelligence and Image Processing Based Techniques: A Tool for Yarns Parameterization and Fabrics Prediction. Proceedings of the *IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation* (Spain, Palme de Mallorca, September 22-25, 2009), pp. 1–4. DOI: 10.1109/ETFA.2009.5347255.
2. Neves, J. (1968). A Irregularidade dos Fios Têxteis, Sua Origem, Medição e Análise. Oporto.
3. Carvalho, V. (2008). Automatic Yarn Characterization System. (PhD Thesis), Braga: Minho University8.
4. Salhotra, K. R. (1990). Fancy Yarn Manufacture-The Changing Scenario. *The Indian Textile Journal*. **101**, 30–34.
5. Shamey, R., & Hussain, T. (2003). Artificial Intelligence in the Colour and Textile Industry. *Review of Progress in Coloration and Related Topics*. **33**, 33–45. DOI:10.1111/j.1478-4408.2003.tb00142.x.
6. Omelchuk A. A., Lahovskyi V. V., & Hnatiuk S. S. (2020). Portatyvni zasoby dlia ekspres-ekspertyzy produktsii za dopomohoiu spektralnoho analizu. Proceedings of the VIII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh z avtomatychnoho upravlinnia prysviachenoj Dniu kosmonavtyky. (Ukraine, Kherson, April, 08-10, 2020). Kherson: Vydavnytstvo FOP Vyshemyrskyi V.S., pp. 58–59.
7. Zimmerleiter, R., Reischer, T., Koppensteiner, R., Roßbory, M., & Brandstetter, M. (2019). Inline Measurement of Formaldehyde Concentration in an Industrial Production Plant by NIR Microspectrometer Technology. Proceedings of the *Herbstkolloquium Prozessanalytik* (Germany, Marl, November 25-27, 2019). DOI:1-710.13140/RG.2.2.20282.34249.
8. NIRONE SENSOR S. *Theremino System*. Retrieved from: <https://www.theremino.com/en/downloads/automation> (дата звернення 19.03.20).
9. Theremino Spectrometer Documentation. *SPECTRAL ENGINES*. Retrieved from: <https://www.spectralengines.com/products/nirone-sensors> (accessed 19.06.20).
10. COGNEX ViDi SUITE. Deep Learning-based Industrial Image Analysis. *Cognex Corporation*. Retrieved from: <https://www.cognex.com/products/deep-learning/visionpro-vidi> (accessed 19.06.20).

Горбовий Артур Юліанович – д.т.н., професор, директор навчально-наукового інституту інформаційних технологій Університету Державної фіскальної служби України, e-mail: [horbovuua@gmail.com](mailto:horbovuua@gmail.com), ORCID: 0000-0002-7281-2222.

Лаговський Володимир Вікторович – к.е.н., доцент, завідувач кафедри економічної кібернетики Університету Державної фіскальної служби України, e-mail: [kravchenko@gmail.com](mailto:kravchenko@gmail.com), ORCID: 0000-0002-2154-5427.

Омельчук Антон Анатолійович – к.т.н., доцент кафедри інтелектуальних управляючих та обчислювальних систем Університету Державної фіскальної служби України, e-mail: [tareon@ukr.net](mailto:tareon@ukr.net), ORCID: 0000-0001-6318-7464.