

УДК 681.004.7

**ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ І МАШИННЕ НАВЧАННЯ В ГАЛУЗІ ПАКОВАНЬ**Р. С. Зацерковна<sup>1</sup>, Р. Г. Зацерковний<sup>2</sup>, В. О. Степанець<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Українська академія друкарства,  
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

<sup>2</sup> Львівський торговельно-економічний університет,  
вул. Туган-Барановського, 10, Львів, 79008, Україна

*Описано контроль якості та виявлення дефектів у процесі виробництва пакувальної продукції. Обґрунтовано необхідність предиктивного обслуговування виробничого обладнання та розглянуто приклад організації цього виду обслуговування у пакувальній фірмі. Наведено приклад використання штучного інтелекту для покращення екологічної чистоти пакувального виробництва, аналізу відходів та відстеження пакувальної продукції.*

**Ключові слова:** *упаковка, пакування, інформаційні технології, штучний інтелект, машинне навчання.*

**Постановка проблеми.** Інтеграція технологій штучного інтелекту та машинного навчання у пакувальну галузь відкрила нову еру можливостей та інновацій у цій індустрії. Використовуючи сучасні алгоритми та засоби аналітики даних, технології ШІ та машинного навчання допомагають пакувальним компаніям оптимізувати свої операції, підвищувати якість продукції та задовольняти запити споживачів. Це уможливує впровадження цілком нових технологій: предиктивного (прогнозованого) обслуговування друкарських машин, моніторингу упаковки в режимі реального часу, а також адаптивного виробництва, що сприяє підвищенню продуктивності та економії коштів. Інсайти, які надають технології штучного інтелекту, полегшують розробку будь-яких пакувальних рішень, сприяючи покращенню ефективності усього виробничого процесу. У цій статті на конкретних прикладах висвітлюється потенціал ШІ та машинного навчання у пакувальній індустрії.

**Мета статті** — розглянути ключові технології ШІ та машинного навчання, що використовуються в галузі пакування, з метою розуміння новітніх тенденцій у цій галузі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В останні роки галузь пакування характеризується динамічним технологічним розвитком та стрімким впровадженням новітніх технологій. Алгоритми штучного інтелекту та засоби машинного навчання знайшли низку новітніх застосувань у цій галузі.

*Контроль якості та виявлення дефектів.* Алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання застосовуються в пакувальній промисловості для контролю

якості та виявлення дефектів. Наприклад, системи комп'ютерного зору, що працюють на основі алгоритмів глибокого навчання (deep learning), можуть перевіряти пакувальні матеріали та продукти з безпрецедентною точністю і швидкістю. Ці системи можуть виявляти такі дефекти, як друкарські помилки, розриви та інші аномалії, гарантуючи, що використовуються лише високоякісні пакувальні матеріали, а готова продукція відповідає суворим стандартам якості [1].

Реальним прикладом використання машинного навчання для контролю якості та виявлення дефектів є система контролю цілісності пломб за допомогою систем машинного зору на основі штучного інтелекту, розроблена ІТ-компанією Qualitas Technologies для компанії Tetra Pak (рис. 1). До впровадження їхнього рішення на виробничій лінії була відсутня автоматична перевірка цілісності пломб, тому дефекти в упаковці залишались невиявленими. Наслідками цієї проблеми можуть бути розливання рідини або навіть забруднення харчових продуктів. Велика кількість відкликів продукції є однією з основних причин втрати прибутку підприємства, а також збільшує кількість скарг від споживачів, що погіршує репутацію їхнього бренду [2].

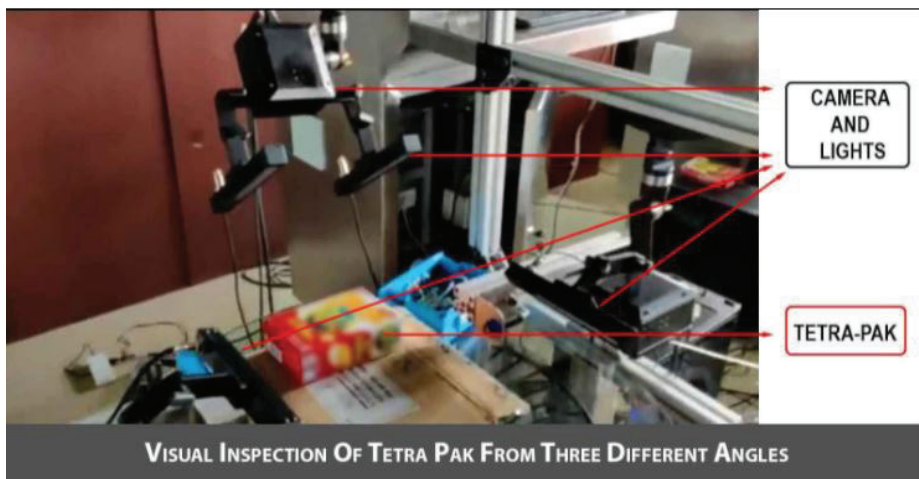


Рис. 1. Прототип системи для виявлення дефектів з використанням штучного інтелекту [1]

Вирішенням вищезазначених проблем є встановлення 5-мегапіксельної камери EagleEye з 16-міліметровим об'єктивом та отримання чітких зображень найдрібніших деталей упаковки з частотою, вищою за швидкість виробничої лінії. На основі зображень, що отримуються з виробничої лінії, було розроблено рішення для автоматичного виявлення упаковок, що мають витоки та інші дефекти, – програмне забезпечення Qualitas EagleEye Platform [3], модуль класифікації якого використовується для виявлення дефектів у режимі реального часу. Таким чином, система дозволяє щосекунди перевіряти 2 одиниці упаковки, уникаючи необхідності їхньої ручної перевірки.

*Предиктивне обслуговування.* Обидва традиційні підходи до обслуговування обладнання – *реактивне* (обладнання обслуговується лише тоді, коли воно потребує

ремонту чи заміни) та *превентивне* (обладнання обслуговується за певним визначеним графіком) – мають свої недоліки. У випадках, коли обладнання є важливим для виробничого ланцюжка, але тривалий плановий ремонт може спричинити фінансові втрати, використовується сучасна ідея предиктивного обслуговування, що базується на детальній діагностиці і контролі стану обладнання та передбаченні збоїв у його роботі [4].

Технології штучного інтелекту та машинного навчання дають змогу впроваджувати стратегії предиктивного обслуговування пакувального обладнання. Аналізуючи історичні дані про продуктивність і показники сенсорних датчиків у реальному часі, алгоритми предиктивного обслуговування можуть передбачати збої в роботі обладнання до того, як вони відбудуться, що дозволяє компаніям проактивно планувати заходи з технічного обслуговування і мінімізувати простой.

Прикладом використання предиктивного обслуговування у галузі пакування є система, розроблена консультантами AiSight для термопластавтоматів німецької фірми MENSHEN. За декілька останніх років щораз вищі вимоги до їхніх систем охолодження призвели до того, що насоси системи працювали на межі своїх потужностей. Це призводило до підвищеного енергоспоживання через появу точкової корозії на робочих колесах насосів; здебільшого ці пошкодження залишалися прихованими, доки насоси не були демонтовані та розібрані для перевірки. Як правило, пошкодження виявляли занадто пізно, щоб запобігти незапланованим простоям виробництва. Оскільки охолоджувальні насоси перебували в постійній експлуатації, вони були надзвичайно важливими для стабільності виробничих процесів компанії [5].

Рішення, розроблене AiSight, полягало у встановленні датчиків на двигунах і підшипниках насосів, що відповідають за охолодження термопластавтоматів. Оптимальне з'єднання до мережі забезпечувалось точками доступу WiFi. Після монтажу датчиків алгоритми виявлення аномалій розпочали роботу, і за декілька тижнів їхній аналіз показав, що три з семи насосів охолоджувальної води мали ранні ознаки кавітаційного пошкодження – це дозволило організувати їхній ремонт без простою виробництва (рис. 2). В подальшому це рішення продовжувало забезпечувати стійкість виробництва і надавати інформацію, необхідну для кращого планування техобслуговування [6].

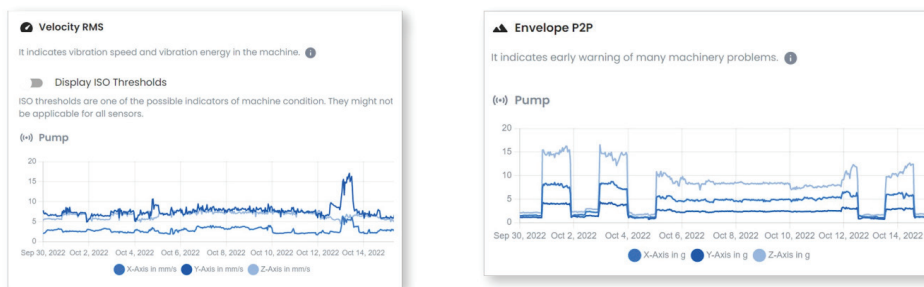


Рис. 2. Результати роботи системи для виявлення аномалій в устаткуванні фірми MENSHEN [5]

*Екологічна стійкість.* ШІ та машинне навчання можуть використовуватись для покращення екологічної чистоти пакувальних рішень. Ці новітні технології дозволяють компаніям аналізувати величезні обсяги даних, пов'язаних із властивостями матеріалів, споживчими вподобаннями та впливом на навколишнє середовище, щоб оптимізувати дизайн упаковки та свій виробничий процес для зменшення споживання ресурсів і впливу на навколишнє середовище. Інструменти проєктування на основі ШІ можуть моделювати різні сценарії пакування та визначати найбільш екологічні варіанти, допомагаючи компаніям досягати цілей сталого розвитку та нормативних вимог, залишаючись при цьому конкурентоспроможними на ринку [7].

Одним з прикладів використання ШІ з цією метою є продукт стартапу Greurartot, який займається аналізом відходів на основі штучного інтелекту. У 2023 році, ставши переможцем програми-акселератора Amcog Lift-Off, цей стартап отримав інвестицію в розмірі 500 000 доларів США від міжнародної компанії Amcog, що спеціалізується на виробництві пакувальних матеріалів. Greurartot впроваджує системи комп'ютерного зору зі штучним інтелектом на об'єктах з переробки відходів, які відстежують і сортують потоки відходів у великих масштабах. Дані, що надаються їхніми продуктами менеджерам з управління відходами, виробникам та регуляторним органам, полегшують сортування, переробку та звітування по всьому ланцюжку створення вартості відходів [8].

Бібліотека системи комп'ютерного зору Greurartot вміщує 67 категорій пластику, волокон, металів і загальних груп об'єктів. Оскільки актуальною сучасною проблемою є переробка пластику (на сьогодні переробляється менш ніж 10 % виготовлених пластиків), найбільшою з цих категорій є саме пластмаси. Greurartot AI може відслідковувати навіть виробника та точну модель продукції. Технологія Greurartot надає корпорації Amcog цінну інформацію про життєвий цикл упаковки, виробленої нею, а також дає цій компанії чітке розуміння ланцюжка відходів й того, як можна його вдосконалити (рис. 3).

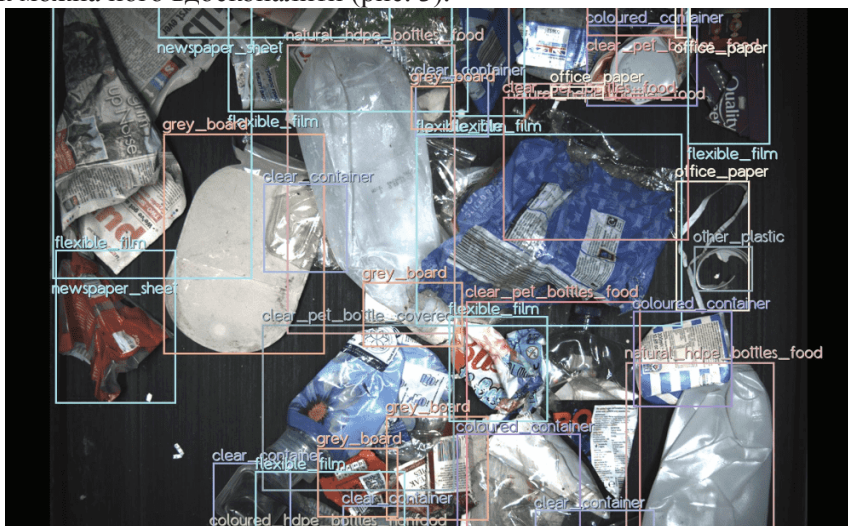


Рис. 3. Результати роботи Greurartot AI для аналізу упаковки в центрах переробки [8]

**Висновки.** Інтеграція технологій штучного інтелекту та машинного навчання відкриває суттєві новітні можливості для пакувальної галузі, про що свідчать реальні приклади таких компаній, як Tetra Pak, MENSHEN та Amcor. ШІ та машинне навчання дають змогу покращити контроль якості продукції, забезпечити організацію предиктивного обслуговування обладнання та підвищити екологічну чистоту виробництва упаковки, покращуючи свою ефективність, надійність та екологічну стійкість. Впроваджуючи інноваційні рішення, пакувальні компанії можуть задовольняти потреби споживачів, оптимізувати витрати та операції і впроваджувати позитивні зміни у всьому виробничому ланцюжку.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 4 Ways AI is changing the packaging industry | Monolith AI. *AI Software: Engineering Product Development*. URL: <https://www.monolithai.com/blog/4-ways-ai-is-changing-the-packaging-industry>.
2. Automated Seal Inspection On Tetrapaks Using Vision Systems | Qualitas Technologies. *Qualitas Technologies*. URL: <https://qualitastech.com/use-cases/automated-seal-inspection-tetrapaks/>.
3. Eagle Eye Inspection Services | Qualitas Technologies. *Qualitas Technologies*. URL: <https://qualitastech.com/eagle-eye-inspection-system/>.
4. Predictive Maintenance. *IT-Enterprise – your one-stop platform for digital transformation | www.it.ua*. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/pdm>.
5. Early warning systems for maintenance in the plastics and packaging industry - MENSHEN. *MENSHEN*. URL: <https://www.menshen.com/company/early-warning-systems-for-maintenance-in-the-plastics-and-packaging-industry/>.
6. A closure on unplanned downtime: how menshen prevents critical pump failures using aisight's predictive maintenance solution. *Easy Engineering Magazine International*. URL: <https://easyengineering.eu/a-closure-on-unplanned-downtime-how-menshen-prevents-critical-pump-failures-using-aisights-predictive-maintenance-solution/>.
7. 20 sustainable packaging solutions, developed with AI. *Board of Innovation*. URL: <https://www.boardofinnovation.com/blog/20-sustainable-packaging-solutions-developed-with-ai/>.
8. Amcor Lift-Off winner, Greyparrot, to advance AI-powered waste analytics for circular economy. URL: <https://www.amcor.com/media/news/greyparrot-lift-off-winner-ai-powered-waste-analytics>.

### REFERENCES

1. 4 Ways AI is changing the packaging industry | Monolith AI. *AI Software: Engineering Product Development*. Retrieved from <https://www.monolithai.com/blog/4-ways-ai-is-changing-the-packaging-industry> (in English).
2. Automated Seal Inspection On Tetrapaks Using Vision Systems | Qualitas Technologies. *Qualitas Technologies*. Retrieved from <https://qualitastech.com/use-cases/automated-seal-inspection-tetrapaks/> (in English).
3. Eagle Eye Inspection Services | Qualitas Technologies. *Qualitas Technologies*. Retrieved from <https://qualitastech.com/eagle-eye-inspection-system/> (in English).



4. Predictive Maintenance. *IT-Enterprise – your one-stop platform for digital transformation* | [www.it.ua](https://www.it.ua). Retrieved from <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/pdm> (in English).
5. Early warning systems for maintenance in the plastics and packaging industry - MENSHEN. *MENSHEN*. Retrieved from <https://www.menshen.com/company/early-warning-systems-for-maintenance-in-the-plastics-and-packaging-industry/> (in English).
6. A closure on unplanned downtime: how menshen prevents critical pump failures using ai-sight's predictive maintenance solution. *Easy Engineering Magazine International*. Retrieved from <https://easyengineering.eu/a-closure-on-unplanned-downtime-how-menshen-prevents-critical-pump-failures-using-aisights-predictive-maintenance-solution/>(in English).
7. 20 sustainable packaging solutions, developed with AI. *Board of Innovation*. Retrieved from <https://www.boardofinnovation.com/blog/20-sustainable-packaging-solutions-developed-with-ai/> (in English).
8. Amcor Lift-Off winner, Greyparrot, to advance AI-powered waste analytics for circular economy. Retrieved from <https://www.amcor.com/media/news/greyparrot-lift-off-winner-ai-powered-waste-analytics> (in English).

doi: 10.32403/1998-6912-2024-1-68-54-60

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING IN THE PACKAGING INDUSTRY

R. S. Zatserkovna<sup>1</sup>, R. H. Zatserkovnyi<sup>2</sup>, V. O. Stepanets<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine*

<sup>2</sup>*Lviv University of Trade and Economics,  
10, Tuhan-Baranovskyi St., Lviv, 79008, Ukraine  
zatserkovna.r@gmail.com*

*In recent years, the packaging industry has been characterized by dynamic technological development and the rapid introduction of the latest technologies. Artificial intelligence algorithms and machine learning tools have found a number of new applications in this industry; and the integration of artificial intelligence and machine learning technologies into the packaging industry has ushered in a new era of opportunity and innovation in the industry. Using advanced algorithms and data analytics, AI and machine learning tools help packaging companies optimize their operations, improve product quality, and meet consumer demands. These technologies enable the introduction of entirely new technologies: predictive maintenance of printing presses; real-time packaging monitoring; and adaptive manufacturing, which helps to increase productivity and save money. The insights provided by AI technologies facilitate the development of any packaging solution, helping to improve the efficiency of the entire*

*production process. This article highlights the potential of AI and machine learning in the packaging industry using specific examples.*

*The purpose of the article is to review the key AI and machine learning technologies used in the packaging industry in order to provide a comprehensive understanding of the latest trends in this field.*

*The article describes quality control and defect detection in the process of packaging production. The necessity of predictive maintenance of production equipment is substantiated and an example of the organization of this type of maintenance in a packaging company is provided. Finally, an example of the use of artificial intelligence to improve the environmental friendliness of packaging production, waste analysis and tracking of packaging products is presented.*

**Keywords:** *packaging, information technology, artificial intelligence, machine learning.*

*Стаття надійшла до редакції 12.05.2024.*

*Received 12.05.2024.*