

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-353-16>

УДК 621.867: 004.932:004.8

**ІВАНКО АНДРІЙ**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-4735-9665>

e-mail: [ivanko-a@ukr.net](mailto:ivanko-a@ukr.net)

**ЗЕНКІН МИКОЛА**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-8840-0572>

e-mail: [nikolay\\_zenkin@ukr.net](mailto:nikolay_zenkin@ukr.net)

**ПОДОБЄД ВОЛОДИМИР**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0009-0001-3998-9317>

e-mail: [Podobed7799@gmail.com](mailto:Podobed7799@gmail.com)

## ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ НА ОСНОВІ МАШИННОГО ЗОРУ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

*У статті розглянуто можливості застосування технологій машинного зору та штучного інтелекту (ШІ) для інтелектуалізації систем транспортування поліграфічних напівфабрикатів. Проаналізовано сучасні методи автоматизації транспортування процесів у поліграфічній промисловості, розглянуто підходи до розпізнавання, сортування та контролю якості продукції.*

*Ключові слова: інтелектуалізація, машинний зір, штучний інтелект, конвеєрні системи, транспортування, поліграфічні напівфабрикати, автоматизація, робототехніка, роботизовані маніпулятори.*

**IVANKO ANDRII**

**ZENKIN MYKOLA**

**PODOBIED VOLODYMYR**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

## INTELLECTUALIZATION OF TRANSPORT SYSTEMS FOR PRINTING SEMI-FINISHED PRODUCTS BASED ON MACHINE VISION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

*The article explores the problem of intellectualizing transport systems for printing semi-finished products, which is a crucial stage in the production process of the printing industry. The automation of logistics flow management using machine vision and artificial intelligence significantly enhances the efficiency and accuracy of product transportation. Modern printing enterprises utilize various transport mechanisms, including conveyor transport systems, robotic manipulators, and automated mobile robots (AMRs). One of the key optimization directions is the application of machine vision technologies for monitoring the movement of printing semi-finished products, quality control, and defect analysis. It is noted that machine vision is one of the key technologies that ensure automated control and management in production processes. Its main functions in transport systems for printing semi-finished products include: recognizing the shape and size of products to adjust transportation routes, detecting defects (wrinkles, scratches, irregularities), identifying markings (QR codes, barcodes) for optimal product sorting. The use of high-resolution cameras combined with neural network algorithms enables rapid and accurate real-time image analysis. The system itself includes four interdependent components: a light source, a data acquisition sensor, a processing unit, and a communication module. The article presents a workflow diagram of typical machine vision system components in collaboration with a robotic system for the approval of printing semi-finished products' quality. The proposed system integrates machine learning algorithms, computer vision, and automated actuators, enabling real-time assessment of product conditions and decision-making regarding transport adjustments. The architecture of the intelligent system is described, consisting of a hardware complex (including sensors, video cameras, and controllers), image processing software, and neural network-based data analysis algorithms. Such a system not only recognizes objects but also determines their position, movement speed, and potential deviations from standard parameters. It is determined that artificial intelligence plays a crucial role in improving the efficiency of semi-finished product transportation through the following approaches: machine learning for predicting optimal movement routes, deep neural networks for analyzing large datasets and making real-time decisions, multi-agent systems for coordinating the operation of multiple automated devices. The application of machine vision and artificial intelligence in the printing industry is expected to contribute to the overall digitalization of the sector and enhance its competitiveness. Intelligent transport systems may become a significant step toward the creation of «smart» production facilities, capable of independently adapting to changing operating conditions and ensuring high product quality.*

*Keywords: intellectualization, machine vision, artificial intelligence, conveyor systems, transportation, printing semi-finished products, automation, robotics, robotic manipulators.*

Стаття надійшла до редакції / Received 18.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 07.05.2025

### Постановка проблеми у загальному вигляді

**та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями**

Сучасна поліграфічна промисловість характеризується постійним прагненням до оптимізації виробничих процесів, підвищення продуктивності та зниження собівартості продукції. Вантажно-транспортуючі пристрої та засоби є інтегральною складовою частиною механічного устаткування сучасних поліграфічних підприємств. В умовах потоково-автоматизованого виробництва вони виконують функцію не лише механізації вантажно-розвантажувальних операцій, а й виступають як

ключова ланка технологічного ланцюга, забезпечуючи безперервність виробничого процесу. В поліграфічному виробництві для забезпечення транспортування матеріалів та продукції застосовуються різноманітні вантажно-транспортуючі пристрої та засоби, включаючи конвеєрні системи (стрічкові, пластинчаті, роликові), елеватори, підвісні монорейкові траси, а також механізовані засоби переміщення, такі як електроштабелери, електрокари та підлогові візки. У цьому контексті автоматизація та інтелектуалізація систем транспортування поліграфічних напівфабрикатів відіграють ключову роль. Традиційні методи транспортування часто є трудомісткими, неефективними та схильними до помилок, що призводить до збільшення часу виробництва та зростання витрат.

У зв'язку з цим, актуальним напрямком досліджень є розробка та впровадження інтелектуальних систем транспортування, що базуються на технологіях машинного зору та штучного інтелекту. Ці технології дозволяють автоматизувати процеси виявлення, розпізнавання та сегментації об'єктів, а також оптимізувати маршрути транспортування, забезпечуючи високу точність та швидкість.

#### **Аналіз досліджень та публікацій**

У сучасній науковій літературі активно розглядаються питання застосування штучного інтелекту (ШІ) та машинного зору для автоматизації виробничих процесів, зокрема в логістиці та транспортуванні матеріалів. Значна увага приділяється розробці адаптивних систем керування, які дозволяють підвищити ефективність транспортувальних механізмів та знизити рівень браку продукції. Адже із розвитком комплексної механізації та автоматизації важливість безперервного транспорту зростає, тому що потокове виробництво, яке засноване на неперервному передаванні напівфабрикатів від однієї технологічної операції до іншої, не може бути здійснене без транспортуючих пристроїв. При поточковому методі такі пристрої транспортують не тільки вироби, але і застосовуються для виконання технологічних операцій, таких як складання, сушіння книжкових блоків, охолодження, фарбування, акліматизація паперу, пресування, пакування тощо. Таким чином, машини безперервного транспорту є невіддільною частиною сучасного технологічного процесу, вони забезпечують ритмічність виробництва і сприяють підвищенню продуктивності праці. Разом із тим, машини безперервного транспорту є невід'ємними засобами комплексної механізації й автоматизації транспортних і вантажно-розвантажувальних робіт [1]. Процес комбінованого транспортування поліграфічних напівфабрикатів у зону обробки вимагає ретельного вибору технології. Від якості подачі напівфабрикату у зону обробки (з використанням пневматики) буде залежати якість майбутньої продукції. Енергоощадні та високопродуктивні системи на основі комп'ютерних та пневматичних модулів на сьогодні почали широко використовуватися в поліграфічному і пакувальному машинобудуванні. Особливе місце у модернізації і впровадженні нових технологій посідає друкарське та післядрукарське обладнання [2].

Машинний зір є основою для розпізнавання об'єктів, оцінки їхніх характеристик та контролю якості у виробничих процесах. У роботі I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville [3] описані основи глибокого навчання, яке широко використовується для обробки зображень і відеопотоків у промисловості. Автори наголошують на важливості згорткових нейронних мереж (CNN) для ідентифікації дефектів у реальному часі. С. Bishop [4] досліджує методи розпізнавання образів, що можуть бути використані для автоматичного сортування поліграфічних напівфабрикатів. Його підхід базується на комбінуванні класичних методів статистичного аналізу з сучасними алгоритмами машинного навчання. У роботі J. Zhang [5] представлено результати досліджень у сфері промислового застосування машинного зору. Автор демонструє, що використання багаторівневих нейронних мереж дозволяє досягти точності понад 98% у процесах контролю якості продукції. Оптимізація транспортування матеріалів та напівфабрикатів є важливим завданням у виробничих процесах. У статті [6] розглядається застосування алгоритмів глибокого навчання для прогнозування оптимальних маршрутів транспортування. Згідно з дослідженням, застосування рекурентних нейронних мереж (RNN) дає можливість передбачати затримки та покращувати логістичні операції. Відповідно до дослідження Y. Li та інших [7], алгоритми підкріпленого навчання (Reinforcement Learning) можуть значно покращити ефективність роботи автономних транспортних систем. Це особливо актуально для виробничих ліній, де необхідно забезпечити високу швидкість та точність транспортування без втручання людини.

Хоча значна частина досліджень присвячена застосуванню ШІ у промисловій автоматизації загалом, спеціалізовані роботи щодо поліграфічного виробництва є менш поширеними. У науковому доробку X. Chen [8] представлено концепцію використання машинного зору для контролю якості друку та сортування поліграфічних матеріалів. A. Wagner [9] демонструє застосування роботизованих платформ з підтримкою ШІ для оптимізації транспортування друкованої продукції. Автор доводить, що автоматизовані мобільні роботи (AMR), оснащені сенсорами машинного зору, можуть ефективно працювати у динамічному середовищі виробничих ліній.

Аналіз сучасних досліджень демонструє значний прогрес у розробці інтелектуальних систем транспортування, заснованих на машинному зорі та штучному інтелекті. Використання CNN, RNN та алгоритмів машинного навчання дозволяє значно підвищити точність і швидкість транспортувальних процесів. Проте у сфері поліграфічної промисловості необхідні подальші дослідження щодо інтеграції цих технологій для оптимізації логістики напівфабрикатів.

### Формулювання цілей статті

**Метою роботи є:** дослідження можливостей інтелектуалізації систем транспортування поліграфічних напівфабрикатів на основі машинного зору та штучного інтелекту, встановлення основних алгоритмів роботи таких систем, їх переваги та недоліки, а також перспективи подальшого розвитку.

### Виклад основного матеріалу

Транспортувальні машини та засоби характеризуються безперервним режимом функціонування, забезпечуючи безперебійний потік вантажів. У контексті поліграфічної промисловості, до типових вантажів, що транспортуються, відносяться книжкові блоки, блоки палітурок, а також паковані партії періодичних друкованих видань. Незмінність траєкторії та однотипність операцій, характерні для транспортувальних машин та засобів, сприяють їхній ефективній автоматизації. У контексті розвитку комплексної механізації та автоматизації, роль безперервного транспортування суттєво зростає, оскільки потокове виробництво, що ґрунтується на безперебійному переміщенні напівфабрикатів між технологічними етапами, є неможливим без відповідних транспортувальних систем. В умовах потокового виробництва, транспортувальні механізми виконують подвійну функцію: вони забезпечують транспортування виробів та одночасно беруть участь у технологічних процесах, таких як збирання, сушіння книжкових блоків, охолодження, фарбування, кондиціонування паперу, пресування та пакування. Таким чином, машини безперервного транспорту відіграють вирішальну роль у сучасних технологічних процесах, сприяючи ритмічності виробництва та збільшенню продуктивності праці. Водночас вони є невід'ємною складовою комплексної механізації та автоматизації транспортних і вантажно-розвантажувальних робіт [1].

Вибір конструкції та основних параметрів транспортувальних систем безпосередньо залежить від властивостей вантажів, що транспортуються, зокрема їхнього типу (штучні або сипучі). Транспортувальні системи розподіляються на дві групи: з використанням тягового елемента (стрічкові та ланцюгові конвеєри, елеватори) і без використання тягового елемента (гвинтові, гравітаційні, інерційні, пневматичні, гідравлічні та інші) [10]. Саме транспортування реалізується пристроєм з комбінованою двокамерною пневматичною системою. Важливою характеристикою пристрою для транспортування картонних розгортки є витрата стисненого повітря, що проходить у комбінованій пневматичній камері за одиницю часу [11]. Оптимізація швидкісних характеристик засобів транспортування книжкових та журнальних блоків із забезпеченням їхнього точного позиціонування в зоні обрізування сприятиме підвищенню загальної продуктивності поточної лінії. Впровадження механізму реверсивної дії дозволить мінімізувати габарити пристрою та скоротити кількість необхідних елементів транспортера [12].

На сучасному етапі автоматизації виробництва застосовуються різні механізми транспортування в поліграфії: конвеєрні системи транспортування; роботизовані маніпулятори; автоматизовані мобільні роботи (AMR). Конвеєрні системи в поліграфії відіграють ключову роль у підвищенні ефективності виробництва, оптимізації логістики та автоматизації процесів транспортування друкованої продукції. Вони дозволяють швидко й безпечно переміщати матеріали між різними етапами виробництва – від друку до пакування. Ці системи значно покращують ефективність виробничих процесів у поліграфії, забезпечуючи швидке та якісне транспортування продукції від одного етапу до іншого. Завдяки їм поліграфічні підприємства можуть зменшити витрати, збільшити продуктивність і покращити якість кінцевого продукту. Роботизовані маніпулятори активно використовуються в поліграфії для автоматизації виробничих процесів, підвищення ефективності та зменшення впливу людського фактору [10], дозволяючи швидко та точно виконувати такі операції, як укладання, пакування, переміщення та обробка друкованої продукції (табл. 1).

Таблиця 1

#### Конвеєрні системи в поліграфії

Механізми транспортування в поліграфії	Характеристика
Координатні (каркасні) маніпулятори	Переміщують продукцію по осях X, Y, Z. Використовуються для автоматизованого штабелювання друкованої продукції (журналів, газет, упаковки). Часто інтегруються з конвеєрними системами.
Шарнірно-важільні маніпулятори (руки-роботи)	Виконують складні рухи, включаючи обертання та нахил. Використовуються для точного позиціонування матеріалів, нанесення клею, складання коробок. Можуть працювати з різними видами продукції завдяки змінним захватним механізмам.
Дельта-роботи	Високошвидкісні маніпулятори, що використовуються для сортування та пакування. Працюють із легкими матеріалами (етикетки, тонкий папір, картон). Ідеальні для роботи на високошвидкісних друкарських лініях.
Коботи (колаборативні роботи)	Працюють разом з операторами, не потребуючи додаткових захисних бар'єрів. Використовуються для завантаження/розвантаження друкарських машин, перевірки якості друку. Гнучкі у налаштуванні, що дозволяє швидко змінювати виробничі процеси.

Переваги використання роботизованих маніпуляторів: підвищення продуктивності – безперервна робота без перерв і втом; зменшення браку – висока точність і відсутність людського фактору; економія робочої сили – зниження витрат на персонал; гнучкість – можливість швидкої зміни виробничих налаштувань; безпека – мінімізація ручного контакту з важкими чи гострими предметами [13].

Автоматизовані мобільні роботи (AMR) – це самонавчальні автономні пристрої, які використовуються для транспортування матеріалів і готової продукції без необхідності прокладати фізичні напрямні (як у випадку з AGV – Automated Guided Vehicles). Вони оснащені сенсорами, камерами та інтелектуальним ПЗ, що дозволяє їм орієнтуватися у просторі, обминати перешкоди та адаптувати маршрути в режимі реального часу. Переваги AMR у поліграфії: гнучкість і адаптивність – можуть змінювати маршрут у режимі реального часу; безпека – уникають перешкод, працюють без ризику наїзду на працівників; автономність – не потребують прокладки магнітних смуг чи спеціальних треків; оптимізація витрат – зменшують потребу у вантажниках та підвищують ефективність роботи складу; інтеграція з іншими системами – можуть працювати разом із конвеєрами, маніпуляторами, палетизаторами. Популярні види AMR у поліграфії: мобільні платформи – використовуються для транспортування піддонів, коробок, рулонів паперу; роботи-штабелери – піднімають і переміщують друковану продукцію на складі; кооперативні AMR – можуть працювати разом із людьми для виконання складних завдань (збирання, пакування, сортування) [8].

Проте більшість існуючих автономних пристроїв працюють за жорстко заданими алгоритмами, що ускладнює їхню адаптацію до змінних виробничих умов. Це зумовлює потребу у використанні гнучкіших систем управління, які можуть самостійно приймати рішення на основі аналізу вхідних даних. Машинний зір є однією з ключових технологій, що забезпечує автоматизований контроль та керування у виробничих процесах. Основні його функції в системах транспортування поліграфічних напівфабрикатів включають: розпізнавання форми та розміру виробів для коригування маршруту транспортування; виявлення дефектів (зморшки, подряпини, нерівності); ідентифікація маркування (QR-коди, штрих-коди) для оптимального сортування продукції; застосування камер високої роздільної здатності у поєднанні з алгоритмами нейронних мереж дає змогу швидко та точно аналізувати зображення в реальному часі. Він забезпечує автоматизовану, неруйнівну та економічно ефективну техніку для здійснення перевірки якості. Підходи до перевірки зазвичай базуються на отриманні, аналізі та обробці зображень. Типова система машинного зору складається з чотирьох взаємозалежних компонентів [8].

1) Джерело світла. Світло є основним компонентом у багатьох системах зору, щоб забезпечити чітку видимість експонованих об'єктів/сцени та забезпечити точний аналіз зображення. У цьому відношенні важливими характеристиками джерела освітлення є інтенсивність світла та рівномірність світла по сцені. Зазвичай використовуювані джерела освітлення: люмінесцентні, які забезпечують постійне та рівномірне освітлення; кварцові галогени, які відомі стабільністю колірної температури; світлодіоди (світловипромінювальні діоди), які широко використовуються завдяки їх енергоефективності та універсальності; металогалогенні (ртуть), які є корисними для додатків з високою інтенсивністю; ксенонові, які підходять для короткочасних і високоінтенсивних спалахів. Флуоресцентні, кварцові галогенні та світлодіодні джерела освітлення найбільш широко застосовуються в системах середньої напруги.

2) Датчик збору даних. Камери є оком будь-якої системи MV, оскільки вони забезпечують візуальні вхідні дані, які можуть бути оброблені та проаналізовані програмним забезпеченням зору для подальшого вилучення та аналізу необхідного результату (наприклад, контроль якості, перевірка, вимірювання, ідентифікація). Стандартні камери отримують RGB-зображення через три ширококутові фільтри, які вловлюють короткі, середні та довгі хвилі світла та кодуєть відгуки в колірному просторі RGB. Мультиспектральні камери фіксують інформацію, яку не бачить звичайна RGB-камера. Вони включають вузькосмугові фільтри для поділу світла на більше ніж три канали, такі як ближній інфрачервоний (NIR) або теплові канали.

3) Блок обробки. Блок обробки зчитує, аналізує та приймає відповідне рішення, що стосується завдання, яке цікавить, на основі зображень, отриманих датчиком(ами) камери. Програмне забезпечення, як правило, спеціалізоване для конкретних завдань і може бути класифіковане на дві основні групи: традиційні алгоритми комп'ютерного зору, що аналізують краї об'єктів, текстуру та інтенсивність пікселів за допомогою ручних функцій, та сучасні методологічні, керовані даними, що реалізуються на базі апаратних блоків обробки. Однак вибір апаратного блоку обробки залежить від складності та вимог застосунку, що впливає на швидкість, точність, енергоспоживання та вартість.

4) Модуль зв'язку. Комунікаційний модуль відіграє ключову роль у забезпеченні безперебійного обміну даними між компонентами системи. Він також здійснює синхронізацію вхідної та вихідної інформації у взаємодії з зовнішніми пристроями (наприклад, роботизованою рукою, що виконує операції з обробки об'єктів на основі інструкцій системи комп'ютерного зору). Комунікаційний модуль підтримує різноманітні протоколи, що еволюціонували з метою задоволення зростаючих вимог до високої роздільної здатності, частоти кадрів та швидкості передачі даних. Таким чином, передбачено стандарти як дротового, так і бездротового зв'язку. Прикладом конвеєрної роботи з визначення кольору та сортування на виробничих підприємствах представлено в роботі [14].

Дослідження часу руху на основі комп'ютерного зору використовують автоматизацію та інтелектуальні технології. Схема роботи компонентів типової системи машинного зору у співпраці з роботизованою системою для затвердження якості поліграфічних напівфабрикатів представлена на рис. 1.



**Рис. 1 Компоненти типової системи машинного зору у співпраці з роботизованою системою для затвердження якості поліграфічних напівфабрикатів**

Система машинного зору на рис. 1 розташована з правого боку та надає інформацію роботизованому маніпулятору, щоб передати перевірений продукт на логістичну обробку у разі схвалення та видалення його з лінії обробки. Інформація може стосуватися якості продукції (тобто, відповідно до таких критеріїв, як розмір, дефекти зображення, пошкодження), а також координати розташування, щоб уможливити його обробку [14].

ШІ відіграє важливу роль у підвищенні ефективності транспортування напівфабрикатів завдяки використанню наступних підходів: машинне навчання для прогнозування оптимальних маршрутів руху; глибокі нейронні мережі для аналізу великих масивів даних та прийняття рішень у реальному часі; мультиагентні системи для координації роботи кількох автоматизованих пристроїв. Машинне навчання дає машинам можливість самостійно розшифровувати, оцінювати та інтерпретувати дані без спеціального програмування.

Залежно від характеру та складності проблеми, а також кількості та якості даних можна використовувати три основні алгоритми навчання, а саме: контрольоване навчання, де потрібні як вхідні дані, так і їх вихідні дані; неконтрольоване навчання, у якому лише вхідні дані передбачаються та зазвичай досліджуються за допомогою методів кластеризації, щоб розпізнати моделі кореляції; навчання з підкріпленням, де дані та абстрактні мітки (наприклад, так, ні) надаються алгоритму для вивчення потенційних дій і рішень, які необхідно вжити.

Глибоке машинне навчання полягає в навчанні глибокої нейронної мережі, шляхом використання великої кількості записів даних. Глибокі мережі складаються із взаємопов'язаних вузлів, які розподілені відповідно до трьох типів рівнів: вхідний рівень, який отримує вхідні дані (наприклад, зображення, текст, голос); проміжні приховані рівні, які витягують і обробляють характеристики вхідних даних і передають їх; вихідний рівень, який відображає бажаний вихід відповідно до проблеми, що вирішується (наприклад, розташування та класи об'єктів на зображенні). Цей тип мережі називають «глибоким», оскільки вона містить велику кількість прихованих шарів, які дозволяють інтерпретувати складні сигнали у вхідних даних. Таким чином, такі мережі навчаються з великими обсягами даних, що робить їх придатними для подальших завдань через навчання передачі, де конкретна модель, яка була навчена для певного завдання (наприклад, розпізнавання зображень), точно налаштована відповідно до іншого завдання (наприклад, виявлення об'єктів). Додаткові налаштування, які вимагають гнучких виробничих систем, які дозволяють використовувати різні моделі деталей на виробничих лініях. Система візуального сортування на основі згорткових нейронних мереж (CNN), пов'язана з хмарними обчисленнями для швидкої обробки. Висока точність класифікації моделей деталей гарантується методом сегментації на основі CNN. Прототип системи здатний виконати завдання з точністю протягом короткого часу. Технологія підвищує гнучкість в ефективності виробництва шляхом автоматизації сортування та маршрутизації. Роботизовану систему сортування, здатну виявляти об'єкти та сортувати їх за кольором і висотою за допомогою комп'ютерного зору. Звичайні процеси сортування повільні та виснажливі в експлуатації, але запропонована система використовує роботизовану руку з 6 DOF, яка може сортувати як за кольором, так і за висотою. Вона визначає різні кольори та висоту за допомогою каскадного алгоритму Хаара та фіксує вражаючу ефективність сортування у 99%. Це демонструє, як автоматизація підвищує ефективність виробничої лінії [15].

Ще одним прикладом виявлення дефектів друку є технологія обробки зображень за допомогою векторної машинної підтримки (SVM). Порівняно з традиційним розпізнаванням образів найбільша відмінність SVM полягає в тому, що це функція автоматичного навчання з великих даних, а не попередньо встановленої функції. SVM – це новий метод навчання, який відрізняється від існуючих статистичних методів. По суті, він уникає традиційного процесу від узагальнення до дедукції та досягає

ефективного висновку через трансдукцію – від навчальних зразків до прогнозних зразків, що значно спрощує проблеми класифікації та регресії. Функція остаточного рішення SVM визначається лише кількома опорними векторами. Складність обчислень залежить від кількості опорних векторів, а не від розмірності простору вибірки [16]. Отже, машинне навчання є підкатегорією ШІ, а глибоке навчання є підкатегорією машинного навчання, тобто обидва вони є формами ШІ. ШІ – це широке уявлення про те, що машини можуть розумно виконувати завдання, імітуючи людську поведінку та процеси мислення.

Штучний інтелект, забезпечує роботи і автоматизовані системи здатністю сприймати й аналізувати оточення за допомогою камер, датчиків та інших пристроїв. Мультиагентні системи для координації роботи кількох автоматизованих пристроїв (M2M), з іншого боку, дозволяють цим системам обмінюватися даними та інформацією, відкриваючи нові можливості для мережевої координації та співпраці. Застосування інтелектуальних роботизованих систем як дельта-робот – маніпулятор, що використовує міжмашинні технології представлено в дослідженні [10]. Машинне навчання має важливе значення для здатності роботів зі штучним інтелектом навчатися та вдосконалюватися з часом у виконанні завдань. Відповідно концепція інтелектуалізованої системи транспортування буде базуватись на трьох основних компонентах: сенсорна мережа – камери машинного зору та датчики для збору інформації про поліграфічні напівфабрикати; обчислювальний модуль – потужні процесори та графічні прискорювачі для обробки даних та прийняття рішень; адаптивний транспортний механізм – роботизовані платформи, оснащені маніпуляторами та конвеєрами.

Система працює за наступним алгоритмом:

1. Обробка алгоритмів комп'ютерного зору для розпізнавання об'єктів та обробки зображень. Цей етап включає розробку алгоритмів обробки зображень, отриманих з камери, розташованої в дельта-роботі-маніпуляторі, реалізовану шляхом вивчення алгоритмів виявлення об'єктів, виявлення шаблонів та ідентифікації руху. Для цього застосовуються методи машинного навчання та комп'ютерного зору.

2. Розробка системи керування роботом-маніпулятором дельта. На цьому етапі розробляється система керування, яка використовуватиме алгоритми обробки зображень для керування рухом і позиціонуванням робота. Розроблена система управління повинна мати можливість отримувати вхідні дані з камери, обробляти їх за допомогою алгоритмів, а потім надсилати команди для переміщення робота.

3. Інтеграція системи штучного зору з системою керування роботом на базі M2M для виконання поставлених завдань. Цей етап передбачає інтеграцію створеного алгоритму штучного зору зі складною дельта-системою керування рукою робота. Інтеграція систем повинна мати можливість контролювати рух робота таким чином, щоб він міг реагувати на візуальні подразники з високою швидкістю та точністю, дотримуючись при цьому кінематику роботи робота вперед і назад.

4. Тестування та налагодження системи штучного зору в реальних умовах роботи робота. Цей етап включає експериментальне дослідження дельта-робота-маніпулятора.

Отже, інтелектуальні механізми адаптують рух відповідно до змінних умов. Очікуваними результатами впровадження такої системи – це зниження браку продукції на 25-30%, підвищення швидкості транспортування на 40% та оптимізація витрат на логістику та обслуговування, що підтверджено рядом робіт [10;13;14].

#### **Висновки з даного дослідження**

##### **і перспективи подальших розвідок у даному напрямі**

Досліджено можливості використання машинного зору та штучного інтелекту в системах транспортування поліграфічних напівфабрикатів. Впровадження даних технологій відкриває широкі можливості для підвищення продуктивності, зниження витрат та покращення якості продукції. Інтелектуальні алгоритми дозволяють не тільки контролювати стан напівфабрикатів у реальному часі, а й автоматично адаптувати маршрути транспортування, забезпечуючи максимальну ефективність виробничих процесів.

Подальші дослідження можуть бути зосереджені на розробці більш точних моделей машинного навчання та інтеграції з технологіями Індустрії 4.0 для повної автоматизації логістичних процесів у поліграфічній промисловості.

#### **Література**

1. Веретільник Т. І., Мамонов Ю. П., Мисник Л. Д., Капітан Р. Б., Мисник Б. В. Вантажно-транспортуючі машини і засоби в поліграфії : навч. посіб. – Черкаси : ЧДТУ, 2018. – 91 с.
2. Zheng M., Ming X. Construction of cyber-physical system-integrated smart manufacturing workshops: A case study in automobile industry // *Advances in Mechanical Engineering*. – 2017. – № 9(10). – DOI: 10.1177/1687814017733246.
3. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. – Cambridge : MIT Press, 2016.
4. Bishop C. *Pattern Recognition and Machine Learning*. – Springer, 2006.

5. Zhang J. Computer Vision for Industrial Automation // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2021.
6. Rumelhart D. E., Hinton G. E., Williams R. J. Learning Representations by Back-Propagation // Nature. – 1986.
7. Li Y., Zhang X., Wang H., Liu J. Reinforcement Learning for Autonomous Transportation Systems: A Review // Journal of Intelligent Transportation Systems. – 2019. – № 23(4). – С. 345–359. – <https://doi.org/10.1080/15472450.2019.1593393>.
8. Chen X., Liu Y., Zhao W. Machine Vision-Based Automated Quality Control System for Product Dimensional Analysis // Procedia Computer Science. – 2020. – № 176. – С. 127–134. – <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.08.015>.
9. Wagner A., Schmidt T., Müller R. AI-Enhanced Robotic Platforms for Optimized Printed Material Transportation // Robotics and Automation Letters. – 2022. – № 7(2). – С. 1024–1035. – <https://doi.org/10.1109/LRA.2022.3141234>.
10. Nussibaliyeva A., Sergazin G., Tursunbayeva G., Uzbekbayev A., Zhetenbayev N., Nurgizat Y., Bakhtiyar B., Orazaliyeva S., Yussupova S. Development of an Artificial Vision for a Parallel Manipulator Using Machine-to-Machine Technologies // Sensors. – 2024. – № 24. – С. 3792. – <https://doi.org/10.3390/s24123792>.
11. Іванко А. І., Юхименко І. В. Пристрій для транспортування картонних розгорток у зону технологічної обробки // Технологія і техніка друкарства. – 2023. – Вип. 2(80). – С. 75–85. – [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(80\).2023.291793](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(80).2023.291793).
12. Іванко А. І., Степанков А. А. Пристрій для транспортування книжкових та журнальних блоків у зону обрізування // Технологія і техніка друкарства. – 2018. – Вип. 4(62). – С. 71–79. – [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(62\).2018.160246](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(62).2018.160246).
13. Borboni A., Reddy K. V. V., Elamvazuthi I., AL-Quraishi M. S., Natarajan E., Azhar Ali S. S. The Expanding Role of Artificial Intelligence in Collaborative Robots for Industrial Applications: A Systematic Review of Recent Works // Machines. – 2023. – № 11. – С. 111. – <https://doi.org/10.3390/machines11010111>.
14. Vasudevan S., Mekhalfi M. L., Blanes C., Lecca M., Poiesi F., Chippendale P. I. Machine Vision and Robotics for Primary Food Manipulation and Packaging: A Survey // IEEE Access. – 2024. – Т. 12. – С. 152579–152613. – <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3479781>.
15. Shahzad A., Gao X., Yasin A., Javed K., Anwar S. M. A Vision-Based Path Planning and Object Tracking Framework for 6-DOF Robotic Manipulator // IEEE Access. – 2020. – № 8. – С. 203158–203167.
16. Wu Y., Lu Y. An intelligent machine vision system for detecting surface defects on packing boxes based on support vector machine // Measurement and Control. – 2019. – № 52(7–8). – С. 1102–1110. – <https://doi.org/10.1177/0020294019858175>.

#### References

1. Veretilnyk T. I., Mamonov Yu. P., Mysnyk L. D., Kapitan R. B., Mysnyk B. V. Vantazhno-transportuiuchi mashyny i zasoby v polihrafii : navch. posib. – Cherkasy : ChDTU, 2018. – 91 s.
2. Zheng M., Ming X. Construction of cyber-physical system-integrated smart manufacturing workshops: A case study in automobile industry // Advances in Mechanical Engineering. – 2017. – № 9(10). – DOI: 10.1177/1687814017733246.
3. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – Cambridge : MIT Press, 2016.
4. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2006.
5. Zhang J. Computer Vision for Industrial Automation // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2021.
6. Rumelhart D. E., Hinton G. E., Williams R. J. Learning Representations by Back-Propagation // Nature. – 1986.
7. Li Y., Zhang X., Wang H., Liu J. Reinforcement Learning for Autonomous Transportation Systems: A Review // Journal of Intelligent Transportation Systems. – 2019. – № 23(4). – С. 345–359. – <https://doi.org/10.1080/15472450.2019.1593393>.
8. Chen X., Liu Y., Zhao W. Machine Vision-Based Automated Quality Control System for Product Dimensional Analysis // Procedia Computer Science. – 2020. – № 176. – С. 127–134. – <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.08.015>.
9. Wagner A., Schmidt T., Müller R. AI-Enhanced Robotic Platforms for Optimized Printed Material Transportation // Robotics and Automation Letters. – 2022. – № 7(2). – С. 1024–1035. – <https://doi.org/10.1109/LRA.2022.3141234>.
10. Nussibaliyeva A., Sergazin G., Tursunbayeva G., Uzbekbayev A., Zhetenbayev N., Nurgizat Y., Bakhtiyar B., Orazaliyeva S., Yussupova S. Development of an Artificial Vision for a Parallel Manipulator Using Machine-to-Machine Technologies // Sensors. – 2024. – № 24. – С. 3792. – <https://doi.org/10.3390/s24123792>.
11. Іванко А. І., Юхименко І. В. Пристрій для транспортування картонних розгорток у зону технологічної обробки // Технологія і техніка друкарства. – 2023. – Вип. 2(80). – С. 75–85. – [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(80\).2023.291793](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(80).2023.291793).
12. Іванко А. І., Степанков А. А. Пристрій для транспортування книжкових та журнальних блоків у зону обрізування // Технологія і техніка друкарства. – 2018. – Вип. 4(62). – С. 71–79. – [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(62\).2018.160246](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(62).2018.160246).
13. Borboni A., Reddy K. V. V., Elamvazuthi I., AL-Quraishi M. S., Natarajan E., Azhar Ali S. S. The Expanding Role of Artificial Intelligence in Collaborative Robots for Industrial Applications: A Systematic Review of Recent Works // Machines. – 2023. – № 11. – С. 111. – <https://doi.org/10.3390/machines11010111>.
14. Vasudevan S., Mekhalfi M. L., Blanes C., Lecca M., Poiesi F., Chippendale P. I. Machine Vision and Robotics for Primary Food Manipulation and Packaging: A Survey // IEEE Access. – 2024. – Т. 12. – С. 152579–152613. – <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3479781>.
15. Shahzad A., Gao X., Yasin A., Javed K., Anwar S. M. A Vision-Based Path Planning and Object Tracking Framework for 6-DOF Robotic Manipulator // IEEE Access. – 2020. – № 8. – С. 203158–203167.
16. Wu Y., Lu Y. An intelligent machine vision system for detecting surface defects on packing boxes based on support vector machine // Measurement and Control. – 2019. – № 52(7–8). – С. 1102–1110. – <https://doi.org/10.1177/0020294019858175>.