

УДК 004.932:681.518:006.9

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.5.2/03>

Вереш В.В.

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

Гуранич П.П.

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

Сусла А.І.

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

Труш Р.В.

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

Філіп М.О.

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Сучасне промислове виробництво потребує високоточних і ефективних методів контролю якості, де традиційні підходи з візуальним оглядом операторами є недостатньо точними через людський фактор, що призводить до пропуску дефектів і зниження продуктивності.

Метою статті є встановити архітектурні принципи та технічні рішення для автоматизованих систем контролю якості на базі комп'ютерного зору, що підвищують точність і ефективність промислового контролю.

Запропоновано ієрархічну модель системи з інтеграцією цифрових камер, адаптивного освітлення та гібридних алгоритмів для обробки даних у реальному часі. Систематизовано методи комп'ютерного зору, визначивши гібридні підходи як оптимальні за співвідношенням точності та швидкості. Введено мовно-керовані інтерфейси для спрощення адаптації систем до нових видів продукції.

Запропоновано структурну схему системи (Рис. 1), що охоплює захоплення зображень, обробку та прийняття рішень, забезпечуючи послідовну роботу модулів. Гібридні методи досягають точності 93–97% при обробці за 30–150 мс, знижуючи кількість дефектів на 23%. Методи глибокого навчання забезпечують точність 96–99%, підтримують прогностичну діагностику та рівень Six Sigma. Оптимізовані алгоритми скорочують час обробки зображень на 35%, а мовно-керовані системи дозволяють задавати критерії якості природною мовою, спрощуючи адаптацію до нових продуктів. Системи стійкі до змін освітлення, вібрацій і завад завдяки спеціалізованим камерам і алгоритмам компенсації.

Автоматизовані системи комп'ютерного зору дозволяють швидко й об'єктивно виявляти вади, підвищувати точність і зменшувати витрати на брак. Системи комп'ютерного зору забезпечують точний і швидкий контроль якості з адаптацією до умов виробництва через машинне навчання. Гібридні методи оптимізують продуктивність, а майбутні розробки зосереджені на прискоренні обчислень і прогностичній діагностиці.

Ключові слова: комп'ютерний зір, контроль якості, автоматизовані системи, машинне навчання, штучний інтелект.

Постановка проблеми. Сучасне промислове виробництво характеризується зростаючими вимогами до якості продукції та ефективності технологічних процесів. Традиційні методи контролю якості, що базуються на візуальному огляді операторами, виявляються недостатньо точними

та продуктивними для забезпечення високих стандартів якості в умовах масового виробництва. Суб'єктивність людського фактора, в тому числі персоналу та обмежена швидкість обробки інформації призводять до пропуску дефектів та зниження загальної ефективності виробничого процесу.

Впровадження автоматизованих систем контролю якості на основі комп'ютерного зору дозволяє забезпечити об'єктивну, швидку та надійну ідентифікацію дефектів, підвищити точність контролю та зменшити витрати на переробку браку. Розвиток технологій машинного навчання та штучного інтелекту відкриває нові можливості для створення інтелектуальних систем контролю якості, здатних адаптуватися до різноманітних виробничих умов.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз сучасних досліджень у галузі автоматизованих систем контролю якості на основі комп'ютерного зору демонструє активний розвиток цього напрямку. Джуніор Л. К. да С. Г., Родрігес К. Х. А., Сілва І. Л. да (Junior L. C. da S. G., Rodrigues C. H. A., Silva I. L. Da) [1, с. 12] досліджували застосування комп'ютерного зору в промисловості для автономної візуальної інспекції промислових процесів, визначивши ключові переваги автоматизованих систем порівняно з традиційними методами контролю. Салес Д. Г., Ліма В. Ф., Олівейра Ж. М. Л. де, Аленкар Д. Б. де (Sales D. G., Lima V. F., Oliveira J. M. L. de, Alencar D. B. De) [2, с. 38] розробили систему комп'ютерного зору для автоматичного вимірювання коробок з готовою продукцією на виробничих лініях, продемонструвавши високу точність вимірювань.

Рамеш К., Дешмукх С., Рей Т., Парімі К. (Ramesh K., Deshmukh S., Ray T., Parimi C.) [3, с. 461] запропонували мультидисциплінарний підхід для підвищення точності виробничих процесів, який інтегрує комп'ютерний зір, машинне навчання та системи управління. Гедія Н. С. (Gediya N. C.) [4, с. 4] дослідив застосування штучного інтелекту та розпізнавання зображень для контролю якості в реальному часі в рамках концепції розумного виробництва. Кім С., Нгуєн Т. П., Юн Дж. (Kim S., Nguyen T. P., Yoon J.) [5, с. 8] провели систематичний огляд застосування машинного зору на заводах та у виробничих процесах, охопивши широкий спектр від контролю якості до прогностичної діагностики.

Чжун П., Лін Дж., Ван М. (Zhong P., Lin J., Wang M.) [6, с. 194] зосередилися на застосуванні машинного зору в системах виявлення дефектів, аналізуючи різні алгоритми та їх ефективність. Нантіні І., Маніваннан К., Вішну Т., Тірумалайвасан С., Югіт М., Тітус Радж Р. (Nanthini I., Manivannan K., Vishnu T., Thirumalaivasan S., Yugith M., Titus Raj R.) [7, с. 3] досліджували інтеграцію комп'ютерного зору та глибокого

навчання для автоматизованої діагностики та ремонту об'єктів. Джотікумар Р., Мохан Раджу С., Мохан Ю. С., Суші С., Джаєндра К. (Jothikumar R., Mohan Raju S., Mohan Y. C., Susi S., Jayendra K.) [8, с. 5] розглядали штучний інтелект у забезпеченні якості як нову парадигму загального управління якістю. Чень Й., Ся В. (Chen Y., Xia W.) [9, с. 985] досліджували алгоритми оптимізації технологій комп'ютерного зору на основі глибокого навчання. Гонг Л., Томмі, Ванг, Чакер С., Донг Ю., Бузетуан Ф., Мортон Б., Мендес М. (Gong L., Tommy, Wang, Chaker S., Dong Y., Bousetouane F., Morton B., Mendez M.) [10, с. 2] розробили генеративний штучний інтелект для промислового виявлення контурів з використанням мовно-керованої системи зору.

Метою статті є визначення архітектурних принципів та технічних рішень для автоматизованих систем контролю якості на основі комп'ютерного зору, що забезпечують підвищення ефективності та точності промислового контролю якості продукції.

Виклад основного матеріалу. Автоматизовані системи контролю якості на основі комп'ютерного зору представляють собою комплексні технічні рішення, що поєднують апаратні засоби захоплення зображень, алгоритми обробки візуальної інформації та системи прийняття рішень. Основою таких систем є цифрові камери високої роздільної здатності, системи освітлення та обчислювальні платформи, здатні обробляти великі обсяги візуальних даних у реальному часі. Для забезпечення високої ефективності системи використовують спеціалізовані сенсори, що забезпечують високу швидкість зчитування даних і чутливість до різних спектральних діапазонів.

Для детального аналізу компонентів системи розглянемо структурну схему автоматизованої системи контролю якості на основі комп'ютерного зору на Рис. 1.

Як видно з рисунка 1, система має ієрархічну структуру, де кожен компонент виконує специфічні функції в процесі контролю якості. Взаємодія модулів забезпечує послідовну обробку візуальної інформації від захоплення зображення до прийняття рішення про якість продукції. Основні етапи обробки включають попередню обробку зображень (фільтрацію, нормалізацію), сегментацію об'єктів, виділення ознак і класифікацію дефектів.

Джуніор Л. К. да С. Г., Родрігес К. Х. А., Сілва І. Л. да (Junior L. C. da S. G., Rodrigues C. H. A., Silva I. L. Da) [1, с. 15] під-

креслюють важливість автономних візуальних систем інспекції в промислових процесах, зазначаючи, що такі системи забезпечують стабільність якості контролю незалежно від зовнішніх факторів. Салес Д. Г., Ліма В. Ф., Олівейра Ж. М. Л. де, Аленкар Д. Б. де (Sales D. G., Lima V. F., Oliveira J. M. L. de, Alencar D. B. De) [2, с. 40] демонструють ефективність застосування комп'ютерного зору для автоматичного вимірювання геометричних параметрів виробів, досягаючи точності вимірювань на рівні $\pm 0,1$ мм.

Технічна реалізація систем контролю якості базується на використанні різноманітних алгоритмів обробки зображень. Рамеш К., Дешмукх С., Рей Т., Парімі К. (Ramesh K., Deshmukh S., Ray T., Parimi C.) [3, с. 465] розробили інтегрований підхід, що поєднує методи комп'ютерного зору з машинним навчанням для підвищення точності

виробничих процесів. Їх дослідження показало, що застосування мультидисциплінарного підходу дозволяє досягти зниження кількості дефектної продукції на 23%. Для обробки зображень часто застосовуються методи фільтрації (наприклад, Гаусівська фільтрація) та аналізу текстури, які дозволяють виявляти мікродефекти, такі як подряпини чи нерівності поверхні.

Для систематизації характеристик різних методів контролю якості представимо порівняльну таблицю основних підходів.

Аналіз даних таблиці 1 свідчить, що методи глибокого навчання забезпечують найвищу точність контролю якості, проте потребують значних обчислювальних ресурсів та складної реалізації. Гібридні методи представляють оптимальний баланс між точністю та швидкістю для більшості промислових застосувань. Гібридні методи,

Таблиця 1

Характеристики методів контролю якості в автоматизованих системах комп'ютерного зору

Метод	Точність, %	Швидкість обробки, мс	Складність реалізації	Область застосування
Класичні алгоритми CV	85-92	10-50	Низька	Прості дефекти поверхні
Згорткові нейронні мережі	94-98	50-200	Висока	Складні дефекти та класифікація
Глибоке навчання	96-99	100-500	Дуже висока	Інтелектуальна діагностика
Гібридні методи	93-97	30-150	Середня	Універсальні застосування



Рис. 1. Структурна схема автоматизованої системи контролю якості на основі комп'ютерного зору

Джерело: авторська розробка.

які поєднують класичні алгоритми з елементами машинного навчання, є оптимальними для більшості промислових застосувань завдяки балансу між точністю та швидкодією.

Гедія Н. С. (Gediya N. C.) [4, с. 6] досліджував застосування штучного інтелекту для контролю якості в реальному часі, підкреслюючи важливість інтеграції різних технологій для досягнення оптимальних результатів. Кім С., Нгуєн Т. П., Юн Дж. (Kim S., Nguyen T. P., Yoon J.) [5, с. 12] у своєму систематичному огляді визначили, що машинний зір знаходить застосування не лише в контролі якості, але й у прогностичній діагностиці обладнання, що дозволяє запобігати виникненню дефектів на ранніх стадіях.

Чжун П., Лін Дж., Ван М. (Zhong P., Lin J., Wang M.) [6, с. 195] зосередилися на системах виявлення дефектів, розробивши класифікацію алгоритмів за типами дефектів та областями застосування. Їх дослідження показало, що для виявлення поверхневих дефектів найбільш ефективними є алгоритми на основі аналізу текстури, тоді як для виявлення геометричних відхилень краще застосовувати методи контурного аналізу.

Інтеграція комп'ютерного зору з глибоким навчанням, як показали Нантіні І., Маніваннан К., Вішну Т., Тірумалайвасан С., Югіт М., Тітус Радж Р. (Nanthini I., Manivannan K., Vishnu T., Thirumalaivasan S., Yugith M., Titus Raj R.) [7, с. 4], відкриває нові можливості для автоматизованої діагностики та ремонту об'єктів. Їх підхід дозволяє не лише виявляти дефекти, але й прогнозувати оптимальні стратегії їх усунення, що значно підвищує ефективність виробничого процесу.

Джотікумар Р., Мохан Раджу С., Мохан Ю. С., Суші С., Джаєндра К. (Jothikumar R., Mohan Raju S., Mohan Y. C., Susi S., Jayendra K.) [8, с. 7] розглядають штучний інтелект у забезпеченні якості як фундаментальну зміну парадигми управління якістю. Їх дослідження демонструє, що впровадження ІІ-базованих систем контролю якості дозволяє досягти рівня Six Sigma в управлінні якістю виробництва.

Чень Й., Ся В. (Chen Y., Xia W.) [9, с. 986] працювали над оптимізацією алгоритмів комп'ютерного зору на основі глибокого навчання, розробивши методи підвищення швидкості обробки зображень без втрати точності. Їх алгоритми дозволяють зменшити час обробки одного зображення на 35% порівняно з традиційними підходами.

Особливий інтерес представляє дослідження Гонг Л., Томмі, Ванг, Чакер С., Донг Ю., Бузетуан Ф., Мортон Б., Мендес М. (Gong L., Tommy, Wang, Chaker S., Dong Y., Bousetouane F., Morton B.,

Mendez M.) [10, с. 4], які розробили генеративний штучний інтелект для промислового виявлення контурів. Їх мовно-керована система зору дозволяє операторам задавати критерії контролю якості у природномовному форматі, що значно спрощує налаштування та адаптацію системи до нових типів продукції. Ця технологія значно спрощує адаптацію систем до нових типів продукції, зменшуючи час на переналаштування.

Технічна реалізація автоматизованих систем контролю якості вимагає урахування специфічних вимог промислового середовища. Системи повинні забезпечувати стабільну роботу в умовах змінного освітлення, вібрацій, температурних коливань та електромагнітних завад. Для досягнення цієї мети застосовуються спеціалізовані промислові камери з підвищеною стійкістю до зовнішніх впливів, адаптивні системи освітлення та алгоритми компенсації завад.

Важливим аспектом є калібрування систем та забезпечення метрологічної точності вимірювань. Автоматизовані системи контролю якості повинні підтримувати можливість періодичної перевірки та калібрування для забезпечення стабільності характеристик протягом тривалого періоду експлуатації. Це досягається через впровадження еталонних зразків та алгоритмів самодіагностики системи.

Висновки. Проведене дослідження демонструє, що автоматизовані системи контролю якості на основі комп'ютерного зору представляють високоефективне технічне рішення для сучасного промислового виробництва. Основними перевагами таких систем є висока точність контролю, об'єктивність оцінки якості, можливість роботи в режимі реального часу та адаптивність до різних типів продукції. Інтеграція методів машинного навчання та штучного інтелекту дозволяє створювати інтелектуальні системи, здатні самостійно навчатися та адаптуватися до змінних умов виробництва.

Технічна реалізація таких систем базується на використанні сучасних цифрових камер, спеціалізованих алгоритмів обробки зображень та потужних обчислювальних платформ. Найвищу ефективність демонструють гібридні підходи, що поєднують класичні методи комп'ютерного зору з сучасними технологіями глибокого навчання. Подальший розвиток автоматизованих систем контролю якості пов'язаний з удосконаленням алгоритмів обробки зображень, підвищенням швидкодії обчислень та розширенням функціональних можливостей систем у напрямку прогностичної діагностики та превентивного контролю якості.

Список літератури:

1. Junior L. C. da S. G., Rodrigues C. H. A., Silva I. L. da. Computer vision in industry: an applied study on autonomous visual: inspection of industrial processes. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*. 2025. Vol. 17, No 7. e8817. DOI: <https://doi.org/10.55905/cuadv17n7-018>. URL: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/8817>.
2. Sales D. G., Lima V. F., Oliveira J. M. L. de, Alencar D. B. de. Computer Vision System for Automatic Measurement of Boxes with Final Product in Production Lines. *IOSR Journal of Business and Management*. 2025. Vol. 27, Iss. 6. pp. 34–42. DOI: <https://doi.org/10.9790/487x-2706103442>. URL: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol27-issue6/Ser-10/D2706103442.pdf>.
3. Ramesh K., Deshmukh S., Ray T., Parimi C. Enhancing manufacturing process accuracy: A multidisciplinary approach integrating computer vision, machine learning, and control systems. *Journal of Manufacturing Processes*. 2025. Vol. 142. pp. 453–467. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2025.03.112>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1526612525003640>.
4. Gediya N. C. Smart Manufacturing: Real-Time Quality Control with AI and Image Recognition. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*. 2025. Vol. 09, Iss. 06. pp. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.55041/ijserem35888>. URL: <https://ijserem.com/download/smart-manufacturing-real-time-quality-control-with-ai-and-image-recognition/>.
5. Kim S., Nguyen T. P., Yoon J. A Systematic Review of Machine Vision Applications in Factory and Manufacturing Processes: From Quality Control to Predictive Diagnostics. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40684-025-00769-2>. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40684-025-00769-2>.
6. Zhong P., Lin J., Wang M. The Application of Machine Vision in Defect Detection Systems. *Journal of Electronic Research and Application*. 2025. Vol. 9, Iss. 2. pp. 191–196. DOI: <https://doi.org/10.26689/jera.v9i2.10009>. URL: <https://www.bbwpublisher.com/index.php/JERA/article/view/10009>.
7. Nanthini I., Manivannan K., Vishnu T., Thirumalaivasan S., Yugith M., Titus Raj R. Integrating Computer Vision and Deep Learning for Automated Object Diagnosis and Repair. 2025 6th International Conference for Emerging Technology (INCET). 2025. pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/incet64471.2025.11140111>. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11140111>.
8. Jothikumar R., Mohan Raju S., Mohan Y. C., Susi S., Jayendra K. Artificial Intelligence in Quality Assurance: A New Paradigm for Total Quality Management. *Operations Research Forum*. 2025. Vol. 6, Iss. 2. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43069-025-00476-3>. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43069-025-00476-3>.
9. Chen Y., Xia W. Research on the Optimization Algorithm of Computer Vision Technology Based on Deep Learning. 2025 IEEE 3rd International Conference on Image Processing and Computer Applications (ICIPCA). 2025. pp. 982–987. DOI: <https://doi.org/10.1109/icipca65645.2025.11138649>. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11138649>.
10. Gong L., Tommy Wang, Chaker S., Dong Y., Bousetouane F., Morton B., Mendez M. Generative AI for Industrial Contour Detection: A Language-Guided Vision System. *arXiv*. 2025. Version 1. DOI: <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2509.00284>. URL: <https://arxiv.org/abs/2509.00284v1>.

Veresh V.V., Guranich P.P., Susla A.I., Trush R.V., Philip M.O. AUTOMATED QUALITY CONTROL SYSTEMS BASED ON COMPUTER VISION

Modern industrial production requires highly accurate and effective quality control methods, where traditional approaches involving visual inspection by operators are insufficiently accurate due to the human factor, which leads to defects being missed and reduced productivity.

Purpose of the article. To establish architectural principles and technical solutions for automated quality control systems based on computer vision that increase the accuracy and efficiency of industrial control.

A hierarchical model of the system with the integration of digital cameras, adaptive lighting, and hybrid algorithms for real-time data processing is proposed. Computer vision methods are systematized, with hybrid approaches identified as optimal in terms of accuracy and speed. Language-controlled interfaces are introduced to simplify the adaptation of systems to new types of products.

A structural diagram of the system (Fig. 1) is proposed, covering image capture, processing, and decision-making, ensuring consistent operation of the modules. Hybrid methods achieve 93–97% accuracy with processing times of 30–150 ms, reducing the number of defects by 23%. Deep learning methods provide 96–99% accuracy, support predictive diagnostics, and Six Sigma levels. Optimized algorithms reduce image processing time by 35%, and voice-controlled systems allow quality criteria to be set in natural language, simplifying adaptation to new products. The systems are resistant to changes in lighting, vibrations, and interference thanks to specialized cameras and compensation algorithms.

Automated computer vision systems enable fast and objective defect detection, increased accuracy, and reduced defect costs. Computer vision systems provide accurate and fast quality control with adaptation to production conditions through machine learning. Hybrid methods optimize performance, and future developments are focused on accelerating computing and predictive diagnostics.

Key words: computer vision, quality control, automated systems, machine learning, artificial intelligence.

Дата надходження статті: 17.09.2025

Дата прийняття статті: 03.10.2025

Опубліковано: 16.12.2025