

## Розробка автоматизованої системи розпізнавання показань приладів за допомогою камери машинного зору

*Особливістю сьогодення є автоматизація усіх сфер людського життя. Це пов'язано як з розвитком ІТ-сфери, так і впровадженням технологічних змін, які є трендами Індустрії 4.0.*

*Нові прилади, які випускаються виробниками продукції і призначені для обробки показань датчиків параметрів фізичного середовища, мають проходити етапи налагодження, калібрування та перевірки. Кожен з етапів займає певний людський та машинний час, який позначається на ціні та кількості продукції, що випускається. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» визначає, що законодавчо регульовані засоби виміральної техніки підлягають періодичній повірці, а також повірці після ремонту. Світова тенденція показує, що бланк звіту оформлення результатів має зберігатись у цифровому вигляді в базі даних або хмарному середовищі. На сьогодні цей звіт формується оператором даних вручну, а це займає певний час. Тому важливим завданням є повна автоматизація виробництва.*

*Розглянуто основні проблеми, які виникають під час побудови автоматизованої системи керування з використанням камер машинного зору. Наведено основні технічні параметри камер. Увесь технологічний процес отримання показань приладів розділено на підсистеми. Синтезовано апаратно-програмний комплекс отримання показань приладів за допомогою машинного зору. Розроблено алгоритми розпізнавання показань приладів із зображення. Наведено вимоги до вибору джерел освітлення. Запропонована система призначена для автоматизації перевірки існуючих приладів з можливістю запровадження нових розроблених програмних алгоритмів.*

*У подальших дослідженнях планується розширення кількості та типів приборів, використання розробленої системи для визначення механічних дефектів під час виготовлення приладів.*

**Ключові слова:** машинний зір; автоматизована система керування; апаратно-програмний комплекс; автоматизація виробництва.

**Актуальність теми.** Після проведення у 2011 році промислової виставки в Ганновері з'явився термін «Індустрія 4.0», який позначив курс широкого застосування інформаційних технологій у виробництві. З того часу цей термін використовують як синонім четвертої промислової революції. Суть її полягає в тому, що матеріальний і віртуальний світ об'єднуються, у результаті чого з'являється одна загальна цифрова екосистема.

Як відомо, автоматизація виробництва дозволяє прискорити ряд процесів, знизити час людської праці у виготовленні продукції, увести повний контроль якості продукції, що випускається. На поточному етапі розвитку автоматизації виробництва можливе використання повністю автоматичних ліній виробництва, роботів-коботів, які працюють самостійно і спільно з людиною, систем машинного зору.

Метою машинного зору є отримання зображення від об'єктів реального світу, їх обробка програмними засобами та видача результату для подальшого управління технологічним процесом. Промислові камери, зазвичай, є одним із компонентів систем машинного зору. Це камери високої роздільної здатності, які підключаються до персонального комп'ютера. Їх застосовують у місцях, де необхідна висока чутливість, висока роздільна здатність зображення і швидкість зйомки.

Прилади з лічильниками імпульсів призначені для підрахунку кількості імпульсів, що надходять з вимірвальних датчиків на лічильні входи, і перерахунку їх у необхідні фізичні одиниці вимірювання. Для отримання точної інформації прилад має пройти етапи перевірки і калібрування та перевірки справності.

Деякі вимірвальні прилади не містять інтерфейс обміну для передачі даних за промисловими протоколами. Процес виробництва та перевірки такого приладу займає певний час, який витрачається на монтаж, ручне налаштування. Для проведення процесів калібрування та перевірки такого обладнання оператору необхідно вручну проводити операції контролю і порівняння, приймати рішення про допуск, формувати звіти. Цей час відбивається на вартості кінцевого продукту. Для вирішення автоматизації

виробництва і формування звіту ставиться завдання створення автоматизованої системи з використанням машинного зору.

**Аналіз попередніх досліджень.** Машинний зір знайшов широке застосування в контролі якості. Так у [1] розроблена автоматизована система контролю якості виробництва акрилового волокна, яка показала від 99 до 100 % виявлень браку виробленої продукції. Недоліками системи виявилися помилкові спрацьовування через коливання освітлення протягом дня. Розробники розв'язали проблему завдяки використанню екрана, який блокував прямі сонячні промені, що потрапляли на волокно. У [2] розроблено робота-інспектора підводного трубопроводу на основі машинного зору, який за допомогою методу розпізнавання на основі нейронних мереж у режимі реального часу виявляє дефекти нафтопроводу. У [3; 4] розроблено метод, що поєднує технологію комп'ютерного машинного зору з програмою у MatLab для виявлення поверхневих дефектів фруктів. Послідовно застосовуються операції перетворення в градації сірого, фільтра шуму, алгоритму OTSU, виділення кордонів. Однак у цій послідовності операцій є певні недоліки, які не дають можливості виявлення деяких дрібних дефектів продукції і дефектів, схожих на колір плодів.

У [5] пропонується спрощений алгоритм підключення системи машинного зору до робота. Використовується програма у MatLab, де контролер робота поводить як Master-компонент, а персональний комп'ютер (ПК) як Slave-компонент. ПК відправляє координати виявленого об'єкта і дає орієнтацію на контролер робота за запитом. Також описуються обмеження подібних систем.

У [6–8] наводиться огляд рішень 3D-зору, які використовуються в робототехніці. Методи машинного зору було проаналізовано, виходячи з розрахунку точності, дальності, безпеки, часу обробки і сканування інформації. У [7] представлені принципи обробки зображень, можливості застосування машинного зору в галузях промисловості. Застосуванню машинного зору для різних культур харчової промисловості присвячені роботи [7; 9]. Описуються переваги і недоліки його використання в різних секторах сільського господарства та садівництва.

Найбільш близькою до теми статті є робота [10], де система машинного зору використовується для автоматичної ідентифікації символічного ряду на заготовках на лінії прокатного стану. Система дозволяє перетворити графічну інформацію з лицьового боку заготовки в символічний рядок, який у подальшому використовується для управління технологічним процесом прокатного стану та архівування параметрів процесу.

**Метою статті** є розробка автоматизованої системи управління, яка за допомогою камери машинного зору та алгоритмів розпізнавання зображення має отримувати показання приладу з індикатора та передавати в ПК показання вимірювань. Програма на ПК повинна формувати звіт та зберігати отримані дані в базі даних або у хмарному сховищі.

**Викладення основного матеріалу.** Система машинного зору є комплексом, що складається з підсистем, які містять промислову камеру, освітлення, персональний комп'ютер, інтерфейс обміну між компонентами системи, програмне забезпечення, обладнання введення-виведення. Для побудови автоматизованої системи виробництва з використанням камери машинного зору необхідно виконати ряд завдань:

- вибір камери машинного зору;
- вибір ПК;
- вибір ПЛК;
- вибір інтерфейсу обміну;
- створення сховища для зберігання звітів у базі даних або у хмарному середовищі;
- підбір освітлення.

На сьогодні існує понад 250 виробників промислових камер машинного зору. Згідно зі звітом щодо аналізу обсягу ринку залежно від галузей промисловості [11] найбільшими світовими виробниками камер машинного зору є: Basler, Omron, Cognex.

До кожної промислової камери виробника додається пакет програмного забезпечення, що дозволяє створити програму для розв'язання окремої задачі. У програмному забезпеченні надається більш-менш загальний функціонал компонентів, які дозволяють виділяти кордони зображення, зчитати штрих-код, визначити кількість однотипних елементів на зображенні, зробити розпізнавання тексту, визначити наявність / відсутність об'єктів на зображенні. Також розробник програмного забезпечення може написати власний код обробки зображення, використовуючи бібліотеку OpenCV мовами програмування C++ та Python.

При виборі камери необхідно розглядати такі характеристики [12]:

- тип камери: мережева або промислова;
- кадрова частота;
- роздільна здатність, розміри пікселя;
- інтерфейс зв'язку камери з ПК та іншими компонентами системи;
- фокус камери: довго-, середньофокусні або зі стандартним об'єктивом.

Крім вибору камери, однією з проблем є правильний підбір освітлення. Світло – це важливий компонент систем машинного зору. За допомогою освітлення підкреслюються певні деталі об'єкта, виділяються дефекти. Вибір правильного освітлення є складним завданням. Рекомендується вибирати місце зйомки, далеке від попадання прямих сонячних променів, щоб не створювати відблиски. Також у разі потреби використовувати джерела штучного освітлення [13]:

- фонове (використовується для визначення форми приладу або отворів);
- смугове (використовується для виділення певної частини об'єкта);
- купольне (використовується для створення рівномірного освітлення й усунення відблисків);
- кільцеве освітлення (забезпечує безтіньове освітлення і хороший контраст зображення. Однак може викликати відблиски на відображуваних деталях);
- освітлення, що створюється спалахом;
- використання кольорових фільтрів на джерелах освітлення для створення контрасту, щоб освітлити або затемнити певні деталі об'єкта.

Прилад, з якого буде читуватися інформація, зображено на рисунку 1.



Рис. 1. Зовнішній вигляд приладу

Цей прилад відображає інформацію про поточну кількість отриманих імпульсів на дисплеї, що складається з 4 розрядів. Він не має інтерфейсу обміну даними, тому для отримання інформації використовується камера машинного зору. Для автоматизації обрана промислова камера Omron MV40 (рис. 2). Камера має роздільну здатність до 2592x1944 пікселів, протокол Ethernet, автофокус, спалах, індикатори у вигляді світлодіодів.



Рис. 2. Камера машинного зору, яка використовується

Ґрунтуючись на аналізі літератури та характеристиках приладу, синтезовано структурну схему автоматизованої системи з використанням машинного зору (рис. 3).

Структурна схема складається з таких підсистем:

- підсистема обробки даних. До цієї підсистеми належить персональний комп'ютер, на якому оператор запускає програму старту процесу перевірки, формуються звіти та зберігаються в базі даних та хмарному середовищі;
- підсистема налаштування. До цієї підсистеми належить програмований логічний контролер (ПЛК). Програма на ПЛК обирає програму на камері і визначає її параметри;
- підсистема отримання зображення. До цієї підсистеми належить камера, у якій зберігається програма отримання зображення, обробки та виділення показів приладу;
- підсистема вимірювання. До цієї підсистеми належить прилад з датчиком.

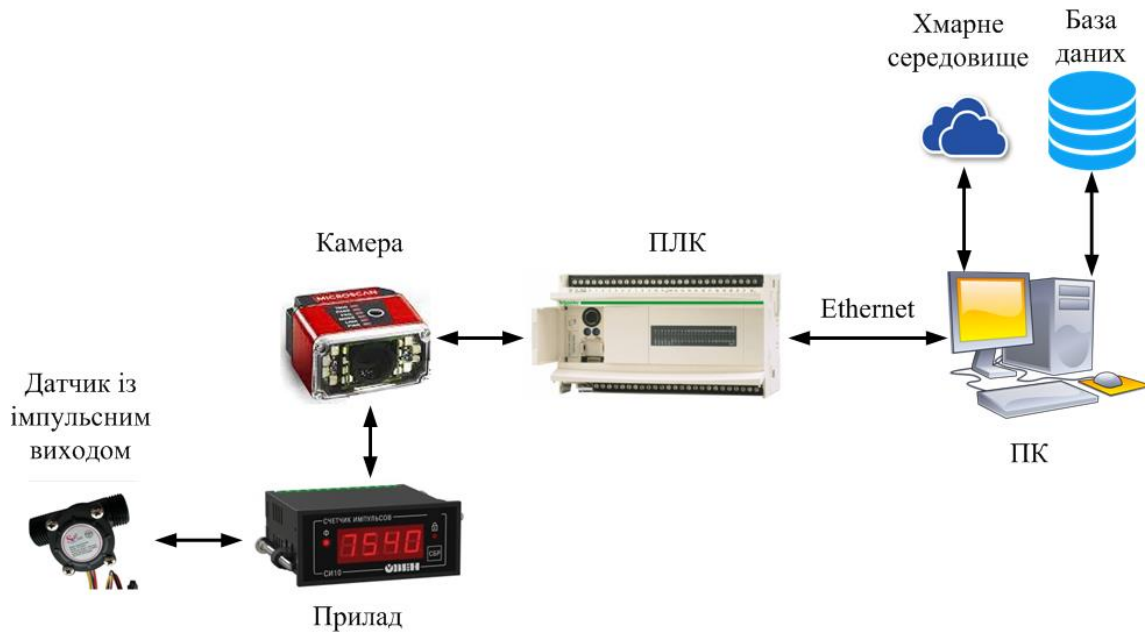


Рис. 3. Структурна схема автоматизації

Обмін між камерою, ПЛК та ПК відбувається за протоколом TCP/IP. ПК, ПЛК і камера мають бути в одній підмережі. Запуск програми розпізнавання запускається спеціалістом. Спочатку перевіряється готовність камери до роботи. Якщо камера увімкнена і готова до роботи, то на прилад, який перевіряється, подається напруга. Потім ПЛК відправляє команду на загрузку проєкту камери, який відповідає приладу, що перевіряється. Далі визначається поточний рівень освітлення і відбувається налаштування освітленості, виставлення підсвічування, витримки камери. Після цього камера виконує свою програму (рис. 4) і формує рядок та статус обробки: помилка чи все добре. ПЛК зчитує сформовані дані. Якщо слово помилки = 0, то дані передаються на ПК, програма зупиняється.

Програма машинного зору для визначення показань приладу побудована на основі послідовних інструкцій.

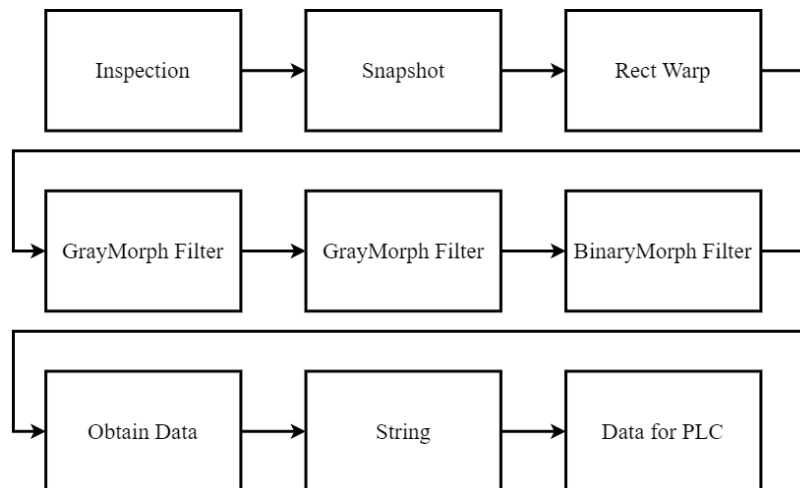


Рис. 4. Алгоритм отримання інформації

Спочатку проводиться інспекція, далі робиться знімок (рис. 5, а). Після цього компонентом «Rect Warp» виділяється область (ROI), яка далі буде оброблятися (рис. 5, б).

Щоб отримати різницю між вихідним зображенням і зображенням після того, як воно було відкрите, виконується обробка фільтром GrayMorph з кодом «TopHat» (рис. 5, в). Після цього йде обробка фільтром GrayMorph з кодом «Close», щоб показати, що за операцією Dilation (додає пікселі до кордонів об'єктів на зображенні) має слідувати операція Erosion (видалення пікселів на кордонах об'єкта) (рис. 5, г). Далі за допомогою двійкового фільтра видаляються зовнішні елементи, які не

охоплені контуром (рис. 5 д). За допомогою компонента шрифту виділяється кожен окремий розряд (рис. 5, е). А за допомогою компонента «string» формується рядок даних, який передається в ПЛК.



Рис. 5. Розпізнавання зображення

Результати використання розробленої системи показали можливість отримання зображення, застосування фільтрації та виділення корисної інформації не більше ніж за 0,25 с.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Розглянуто тенденції розвитку інформаційних технологій у виробництві, що дозволило визначити проблему автоматизації виробництва приладів. Проведено огляд джерел, де використовуються камери машинного зору. Огляд показав, що для контролю якості продукції, яка виробляється, використовуються автоматизовані системи з використанням камер машинного зору.

Синтезовано структурну схему апаратно-програмного комплексу отримання показань лічильника імпульсів. Розроблено алгоритм отримання показань приладів за допомогою камери машинного зору, що дозволяє автоматизувати процес розпізнавання значень під час етапу калібрування. Проведено моделювання роботи апаратно-програмного комплексу, який пропонується. Результати моделювання підтвердили можливість впровадження комплексу у виробництво. Розроблена система дозволяє отримати зображення, відфільтрувати, виділити інформацію та передати її на персональний комп'ютер за час, не більший ніж 0,25 с.

#### Список використаної літератури:

1. A Machine Vision Quality Control System for Industrial Acrylic Fibre Production / P.Helena, R.Davies, B.A.B. Correia, J.Dinis // Journal on Applied Signal Processing. – 2002. – № 7. – P. 728–735.
2. Yin F. Inspection Robot for Submarine Pipeline Based on Machine Vision / F.Yin // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1952, Issue 2. – P. 1–7.
3. Cao Y. Detection of Fruit Surface Defects Based on Machine Vision / Y.Cao // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1952, Issue 2. – P. 1–7.
4. Advances in Machine Vision Applications for Automatic Inspection and Quality Evaluation of Fruits and Vegetables / S.Cubero, N.Aleixos, E.Moltó, J.Gómez-Sanchis, J.Blasco // Food Bioprocess Technol. – 2011. – № 4. – P. 487–504.
5. Research on Autonomous Grasping of Target Based on Machine Vision / C.Lu, H.Zeng, Y.Xiong, W.Lang, K.Wang // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1952, Issue 2. – P. 1–7.
6. Robot Guidance Using Machine Vision Techniques in Industrial Environments: A Comparative Review / L.Pérez, I.Rodríguez, N.Rodríguez, R.Usamentiaga, D.F. García // Sensors. – 2016. – Vol. 16, Issue 3. – P. 1–26.
7. Labudzki R. The essence and applications of machine vision / R.Labudzki, S.Legutko, P.Raos // Tehnički vjesnik. – 2014. – Vol. 21, Issue 4. – P. 903–909.
8. Okarma K. Applications of Computer Vision in Automation and Robotics / K.Okarma // Applied sciences. – 2020. – Vol. 10. – P. 1–3.
9. Machine vision system: a tool for quality inspection of food and agricultural products / K.K. Patel, A.Kar, S.N. Jha, M.A. Khan // J Food Sci Technol. – 2012. – Vol. 49, Issue 2. – P. 123–141.

10. Usage of Real Time Machine Vision in Rolling Mill / D.Jiri, P.Svec, V.Pasker, R.Garzinova // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, Issue 7. – P. 1–18.
11. Machine Vision Market Size, Share & Trends Analysis Report By Offering (Hardware, Software, Services), By Product (PC Based, Smart Camera Based), By Application, By End-use Industry, By Region, And Segment Forecasts, 2021 – 2028 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/machine-vision-market>.
12. Выбор камеры: как подобрать камеру для системы обработки изображений? [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cutt.ly/OHwmLBE>.
13. Machine Vision Lighting [Electronic resource]. – Access mode : <https://cutt.ly/MHwQqxv>.

#### References:

1. Heleno, P., Davies, R., Correia, B.A.B. and Dinis, J. (2002), «A Machine Vision Quality Control System for Industrial Acrylic Fibre Production», *Journal on Applied Signal Processing*, No. 7, pp. 728–735.
2. Yin, F. (2021), «Inspection Robot for Submarine Pipeline Based on Machine Vision», *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1952, Issue 2, pp. 1–7.
3. Cao, Y. (2021), «Detection of Fruit Surface Defects Based on Machine Vision», *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1952, Issue 2, pp. 1–7.
4. Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J. and Blasco, J. (2011), «Advances in Machine Vision Applications for Automatic Inspection and Quality Evaluation of Fruits and Vegetables», *Food Bioprocess Technol*, No. 4, pp. 487–504.
5. Lu, C., Zeng, H., Xiong, Y. Lang, W. and Wang, K. (2021), «Research on Autonomous Grasping of Target Based on Machine Vision», *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1952, Issue 2, pp. 1–7.
6. Pérez, L., Rodríguez, I., Rodríguez, N., Usamentiaga, R. and García, D.F. (2016), «Robot Guidance Using Machine Vision Techniques in Industrial Environments: A Comparative Review», *Sensors*, Vol. 16, Issue 3, pp. 1–26.
7. Labudzki, R., Legutko, S. and Raos, P. (2014), «The essence and applications of machine vision», *Tehnički vjesnik*, Vol. 21, Issue 4, pp. 903–909.
8. Okarma, K. (2020), «Applications of Computer Vision in Automation and Robotics», *Applied sciences*, Vol 10, pp. 1–3.
9. Patel, K.K., Kar, A., Jha, S.N. and Khan, M.A. (2012), «Machine vision system: a tool for quality inspection of food and agricultural products», *J Food Sci Techno*, Vol. 49, Issue 2, pp. 123–141.
10. Jiri, D., Svec, P., Pasker, R. and Garzinova, R. (2021), «Usage of Real Time Machine Vision in Rolling Mill», *Sustainability*, vol. 13, Issue 7, pp. 1–18.
11. «Machine Vision Market Size, Share & Trends Analysis Report By Offering (Hardware, Software, Services), By Product (PC Based, Smart Camera Based), By Application, By End-use Industry, By Region, And Segment Forecasts, 2021 – 2028», [Online], available at: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/machine-vision-market>
12. «Выбор камеры: как подобра' kameru dlya sistemy obrabotki izobrazhenii?», [Online], available at: <https://cutt.ly/OHwmLBE>
13. «Machine Vision Lighting», [Online], available at: <https://cutt.ly/MHwQqxv>

**Євсєєнко** Олег Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

<https://orcid.org/0000-0001-5432-1211>.

Наукові інтереси:

– розробка автоматизованих систем керування технологічними процесами.

E-mail: [olegyevseienko@gmail.com](mailto:olegyevseienko@gmail.com).

**Гапон** Анатолій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, професор Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

<https://orcid.org/0000-0002-2582-6154>.

Наукові інтереси:

– аналогова та цифрова схемотехніка.

E-mail: [anatolii.hapon@khpi.edu.ua](mailto:anatolii.hapon@khpi.edu.ua).

**Крилова** Вікторія Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

<https://orcid.org/0000-0002-4540-8670>.

Наукові інтереси:

– канали зв'язку;

– системи передачі інформації;

– згорткові коди, БЧХ коди, недвійкові РС коди.

E-mail: [viktoriia.krylova@khpi.edu.ua](mailto:viktoriia.krylova@khpi.edu.ua).

**Yevseienko O.M., Gapon A.I., Krylova V.A.**

**Development of automated instrument readings recognition system using a machine vision camera**

A feature of a modern technology development is automation of all spheres of human life. It happens due to the development of IT industry and the implementation of technological changes that are trends of Industry 4.0.

It is shown that each of the device production stages takes a certain human and machine time, which affects the price and quantity of products manufacturing. Therefore, the automation of production processes is an important task.

The main problems of automated control system using machine cameras building are considered. Requirements for verification, adjustment, calibration of new devices and information storage are given. The main technical parameters of the cameras are provided. The whole technological process of obtaining instrument readings into subsystems is divided. The hardware-software complex of obtaining readings of devices by means of machine vision is synthesized. Algorithms for recognizing the readings of devices from the image have been developed. The requirements for the light sources choice are given. System to automate the calibration of existing devices with the ability to implement new developed software algorithms is designed.

In further research it is planned to expand the number and types of verification devices. It is also planned to use the developed system to determine mechanical defects of device manufacturing.

**Keywords:** machine vision; automated control system; hardware and software complex.

Стаття надійшла до редакції 18.01.2022.