DOI 10.34185/1562–9945–5–166–2026–14
УДК 004.93

Ю.В. Киричук, А.П. Стахова, Н.М. Назаренко

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИННОГО ЗОРУ

Анотація. У роботі розглянуто питання розроблення автоматизованої системи контролю якості деталей на основі технології машинного зору для використання в умовах сучасного промислового виробництва. Проведено аналіз існуючої організації процесу контролю якості, визначено її основні недоліки, пов'язані зі значним впливом людського фактора, високими витратами часу на виконання контрольних операцій, відсутністю централізованого накопичення результатів перевірки та недостатньою повторюваністю отриманих результатів. Обґрунтовано доцільність впровадження автоматизованої системи візуального контролю як засобу підвищення ефективності виробничого процесу та забезпечення стабільної якості продукції.

Запропоновано структуру автоматизованої системи, що включає транспортний модуль, три інспекційні станції з камерами машинного зору, спеціалізовані системи освітлення, обчислювальний модуль, програмований логічний контролер, механізм автоматичного відбракування та централізовану базу даних. Розроблено загальну логіку функціонування системи, яка забезпечує синхронізовану взаємодію всіх її компонентів, автоматичне захоплення та оброблення зображень, формування результатів контролю й передачу керуючих команд до виконавчих механізмів у режимі реального часу.

У роботі детально описано три інспекційні зони контролю виробу. Верхня зона призначена для перевірки силових і допоміжних терміналів, кріпильних та центрувальних елементів, а також виявлення геометричних відхилень і механічних пошкоджень. У фронтальній зоні реалізовано контроль маркування, логотипів, двовимірного коду Data Matrix, розпізнавання текстової інформації за допомогою алгоритмів OCR та оцінювання окремих геометричних параметрів виробу. Нижня зона забезпечує виявлення поверхневих дефектів заземлювальної пластини із застосуванням спеціалізованого освітлення та методів цифрової обробки зображень для підвищення контрастності пошкоджень.

Запропонована система забезпечує комплексний контроль виробів без зміни їх просторової орієнтації, автоматичне прийняття рішень щодо відповідності встановленим технічним вимогам, централізоване накопичення результатів контролю та простежуваність виробничого процесу. Використання технології машинного зору дозволяє підвищити точність і швидкодію контролю, мінімізувати вплив людського фактора, зменшити кількість пропущених дефектів, скоротити виробничі витрати та підвищити ефективність функціонування автоматизованих виробничих ліній.

© Киричук Ю.В., Стахова А.П., Назаренко Н.М., 2026
Copyright for this paper by its authors. Use permitted under License CC BY 4.0.

ISSN 1562-9945 (Print)
ISSN 2707-7977 (Online)

Ключові слова: машинний зір, автоматизований візуальний контроль, контроль якості, цифрова обробка зображень, PLC, OCR, Data Matrix, виявлення дефектів, система технічного зору.

Постановка проблеми. Проблема, що розглядається в дослідженні, полягає в недостатній ефективності традиційних методів контролю якості деталей у промисловому виробництві, які характеризуються значним впливом людського фактора, обмеженою продуктивністю, недостатньою повторюваністю результатів та відсутністю комплексної автоматизації процесу інспекції. Для її вирішення запропоновано автоматизовану систему візуального контролю на основі технологій машинного зору, що забезпечує комплексне інспектування виробів, автоматичне виявлення дефектів, централізоване збереження результатів контролю та інтеграцію із виробничою лінією.

Аналіз останніх досліджень. На сучасному етапі розвитку промисловості забезпечення високої якості продукції є одним із визначальних чинників ефективної діяльності та конкурентоспроможності підприємств. Постійне ускладнення конструкції виробів, підвищення вимог до точності їх виготовлення, а також необхідність скорочення тривалості виробничих циклів зумовлюють потребу у впровадженні сучасних технологій автоматизованого контролю якості [1]. Особливої актуальності це питання набуває у машинобудуванні, приладобудуванні та електротехнічній галузі, де навіть незначні відхилення геометричних параметрів або наявність поверхневих дефектів можуть негативно впливати на працездатність, надійність і довговічність готової продукції.

Традиційно контроль якості виробів здійснюється шляхом візуального огляду оператором або із застосуванням контактних вимірювальних засобів. Незважаючи на широке використання таких методів, їх ефективність істотно залежить від людського фактора. На точність контролю впливають кваліфікація персоналу, рівень концентрації уваги, фізична втома, а також умови виконання перевірки. Це може призводити як до пропуску дефектних виробів, так і до помилкового відбракування продукції, що відповідає встановленим вимогам [2].

Активний розвиток цифрових технологій, засобів комп'ютерної обробки інформації та інтелектуальних алгоритмів створив передумови для широкого впровадження автоматизованих систем контролю. Одним із найбільш перспективних напрямів є використання систем машинного зору, які забезпечують безконтактний аналіз виробів у режимі реального часу. Такі системи дозволяють автоматично визначати геометричні параметри деталей, виявляти поверхневі дефекти, контролювати якість нанесення маркування, а також перевіряти правильність складання вузлів і механізмів [3].

Функціонування систем машинного зору ґрунтується на комплексному використанні цифрових камер, оптичних систем, спеціалізованих джерел освітлення та програмних алгоритмів обробки зображень. Отримані цифрові дані аналізуються за допомогою сучасних методів комп'ютерного зору, що дає можливість автоматично ідентифікувати дефекти, виконувати точні вимірювання та приймати рішення щодо відповідності виробів установленим технічним вимогам без участі оператора.

Важливою перевагою автоматизованого візуального контролю є висока швидкодія, повторюваність результатів і можливість безперервної роботи у складі виробничих ліній. На відміну від традиційних методів, системи машинного зору забезпечують стабільну якість контролю незалежно від людського фактора, дозволяють накопичувати статистичну інформацію про результати перевірки та інтегруватися із сучасними системами керування виробництвом.

Упровадження технологій машинного зору сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів, зменшенню кількості браку, скороченню витрат на контроль якості та підвищенню рівня автоматизації підприємств. Саме тому дослідження принципів побудови таких систем, вибір їх апаратних і програмних компонентів, а також розроблення алгоритмів автоматизованого контролю є актуальним науково–технічним завданням.

Мета досліджень. Метою – є дослідження принципів побудови систем машинного зору та розроблення автоматизованої системи контролю якості деталей, здатної забезпечити високоточне виявлення дефектів і перевірку геометричних параметрів виробів у режимі реального часу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити принципи функціонування систем машинного зору та особливості їх використання у промисловості;
- розробити структурну схему автоматизованої системи візуального контролю;

Викладення основного матеріалу дослідження. *Стан виробництва до впровадження автоматизованої системи візуального контролю.* Перед розробленням автоматизованої системи візуального контролю було виконано дослідження існуючої організації процесу контролю якості на підприємстві. Основною метою цього аналізу стало виявлення недоліків діючої системи, оцінювання її ефективності та визначення чинників, які негативно впливають на продуктивність виробництва й достовірність контролю.

Проведений аналіз показав, що у початковому стані контроль якості здійснювався на декількох окремих робочих постах, розташованих у різних виробничих зонах. Така організація вимагала багаторазового транспортування деталей між місцями виконання контрольних операцій, що призводило до збільшення внутрішньовиробничих логістичних витрат, необхідності створення проміжних накопичувальних запасів та збільшення тривалості виробничого циклу. Крім того, накопичення виробів між окремими етапами контролю зумовлювало додаткове відволікання обігових коштів у незавершене виробництво, що негативно впливало на економічну ефективність підприємства.

Обслуговування контрольних операцій виконували три оператори. Подібна організація роботи потребувала значних витрат на персонал і водночас не забезпечувала стабільності результатів через залежність від людського фактора. Будь–яке скорочення чисельності працівників без модернізації технологічного процесу неминуче призводило б або до зменшення пропускної здатності системи контролю, або до збільшення ймовірності пропуску дефектної продукції.

ISSN 1562-9945 (Print)
ISSN 2707-7977 (Online)

Завершальним етапом виробничого процесу був суцільний візуальний контроль зовнішнього вигляду деталей перед їх пакуванням. Незважаючи на проведення перевірки кожного виробу, ручний огляд не забезпечував гарантованого виявлення всіх дефектів. Це пояснюється фізіологічними особливостями людини, зниженням концентрації уваги під час тривалої роботи, накопиченням втоми та суб'єктивністю оцінювання. Додатковим недоліком була необхідність багаторазового ручного переміщення деталей, що збільшувало ризик їх випадкового механічного пошкодження на завершальних етапах виробництва.

Дослідження статистичних даних щодо рекламацій засвідчило, що окремі візуальні дефекти залишалися невиявленими до моменту відвантаження продукції споживачеві. Після впровадження камерної системи контролю для відповідних параметрів кількість таких випадків була практично зведена до нуля, що підтвердило високу ефективність використання автоматизованих засобів візуального контролю та їх здатність забезпечувати стабільно високий рівень якості перевірки.

Ще одним суттєвим недоліком існуючої організації контролю була відсутність єдиної інформаційної системи для накопичення результатів перевірок. Частина вимірювального обладнання зберігала дані лише локально, тоді як окремі прилади взагалі не передбачали можливості їх архівування. Унаслідок цього значно ускладнювалися аналіз причин виникнення дефектів, ведення статистики якості продукції та забезпечення простежуваності виробів на всіх етапах виробничого циклу.

Упровадження автоматизованої системи візуального контролю дозволяє суттєво вдосконалити організацію виробничого процесу. Насамперед це забезпечує об'єднання всіх контрольних операцій у межах єдиного технологічного потоку, що усуває необхідність зайвого транспортування деталей між окремими робочими місцями. Крім того, автоматизація сприяє скороченню логістичних витрат і обсягів незавершеного виробництва, зменшенню потреби в обслуговуючому персоналі, підвищенню повторюваності та достовірності результатів контролю, а також створенню централізованої бази даних для зберігання результатів перевірок і цифрових зображень кожного виробу.

Таким чином, проведений аналіз існуючого стану виробництва свідчить, що традиційна організація контролю якості не повною мірою відповідає сучасним вимогам щодо продуктивності, точності та автоматизації виробничих процесів. Застосування інтегрованої системи візуального контролю створює передумови для підвищення ефективності виробництва, скорочення виробничих витрат, покращення простежуваності продукції та забезпечення стабільно високого рівня її якості.

Структурна схема системи машинного зору. На основі вимог до контролю якості виробів та необхідності інспектування деталей із трьох різних ракурсів було розроблено структурну схему автоматизованої системи машинного зору. Запропонована архітектура передбачає об'єднання трьох незалежних інспекційних зон у межах єдиного технологічного процесу, що забезпечує послідовний контроль виробу без порушення безперервності виробництва.

Процес перевірки організовано таким чином, щоб деталь проходила всі етапи інспекції без зміни свого положення. Для цього вздовж транспортної лінії розміщено три

стаціонарні зони контролю, через які виріб переміщується послідовно. Відмова від додаткових механізмів перевертання або переорієнтації деталей дозволяє зменшити кількість механічних операцій, мінімізувати ризик пошкодження виробу та забезпечити стабільне позиціонування під час виконання контролю.

Структурну схему автоматизованої системи візуального контролю наведено на рисунку 1. Її побудова орієнтована на забезпечення безперервного функціонування виробничої лінії, централізованого опрацювання інформації та можливості інтеграції із загальною системою керування технологічним процесом підприємства.

До складу розробленої системи входять транспортний модуль для переміщення деталей, три інспекційні станції, оснащені камерами машинного зору, спеціалізовані системи освітлення для кожної контрольної зони, обчислювальний модуль, що виконує обробку отриманих зображень, програмований логічний контролер, механізм автоматичного відбракування продукції, а також підсистема накопичення, збереження та архівування результатів контролю.

На початку технологічного процесу виріб надходить на конвеєр, який забезпечує його транспортування між інспекційними станціями. Крім функції переміщення, транспортний механізм виконує точне позиціонування деталі у визначених контрольних точках та синхронізує її рух із роботою камер, освітлювальних пристроїв і системи керування, що гарантує стабільність процесу отримання зображень.

Перша інспекційна станція призначена для перевірки верхньої поверхні виробу. У цій зоні встановлено камеру машинного зору та систему освітлення, параметри якої підібрано відповідно до особливостей контрольованого об'єкта. Отримані зображення використовуються для автоматичного виявлення механічних пошкоджень, контролю наявності конструктивних елементів і перевірки відповідності їх геометричних характеристик установленим вимогам.

На другій інспекційній станції здійснюється контроль фронтальної частини виробу. Основними завданнями цієї зони є розпізнавання текстової інформації, перевірка якості нанесеного маркування, декодування двовимірного коду Data Matrix, а також визначення висотних параметрів терміналів і центрувальних елементів. Виконання зазначених операцій дозволяє оцінити правильність виготовлення виробу та його відповідність технічній документації.

Третя інспекційна станція забезпечує контроль бокової частини виробу. У цій зоні здійснюється перевірка геометричних параметрів, виявлення можливих механічних пошкоджень, контроль правильності розташування конструктивних елементів та оцінювання їх відповідності встановленим технічним вимогам. Інформація, отримана під час контролю з трьох ракурсів, передається до обчислювального модуля, де виконується комплексний аналіз результатів перевірки.

Усі цифрові зображення та результати обробки централізовано надходять до обчислювального модуля. За допомогою алгоритмів машинного зору здійснюється аналіз отриманої інформації, формуються висновки щодо відповідності виробу встановленим критеріям якості та передаються керувальні сигнали до програмованого логічного кон-

ISSN 1562-9945 (Print)
ISSN 2707-7977 (Online)

тролера. У разі виявлення дефектів контролер активує механізм автоматичного відбракування, який вилучає непридатний виріб із технологічного потоку.

Результати перевірки кожної деталі разом із відповідними зображеннями автоматично зберігаються в централізованій базі даних. Це забезпечує можливість ведення статистики якості, аналізу причин виникнення дефектів, простежуваності виробничого процесу та формування звітної документації.

Запропонована структурна схема дозволяє об'єднати всі операції контролю в єдину автоматизовану систему, забезпечити високу швидкодію процесу перевірки, підвищити повторюваність результатів і мінімізувати вплив людського фактора. Завдяки цьому досягається підвищення ефективності виробництва та стабільності контролю якості готової продукції.

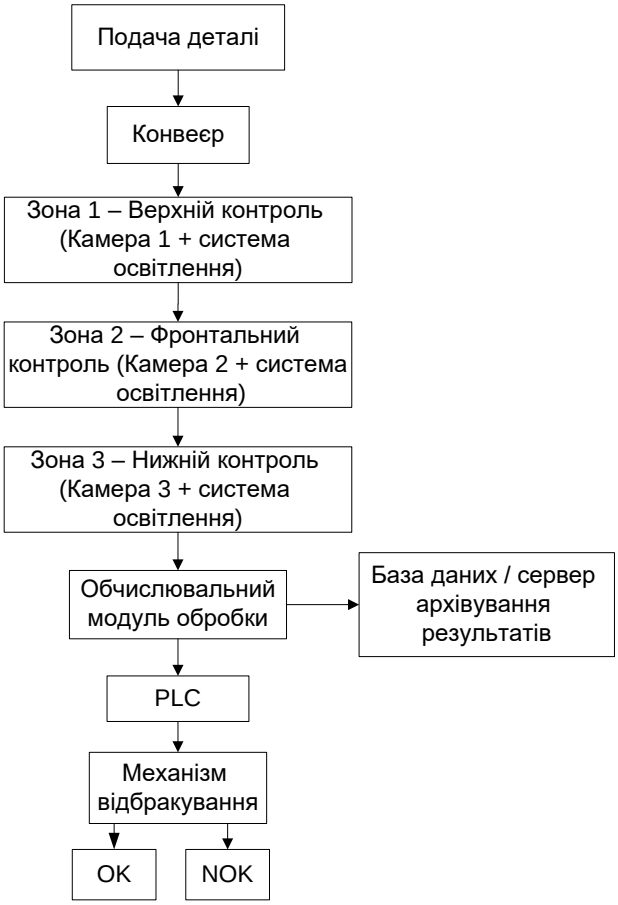


Рисунок 1 – Структурна схема автоматизованої системи візуального контролю

Третя інспекційна станція призначена для перевірки нижньої поверхні виробу, основним об'єктом контролю якої є заземлювальна пластина. Для підвищення ефективності виявлення механічних пошкоджень у цій зоні використовується спеціалізована система освітлення, яка забезпечує збільшення контрастності дефектів за рахунок особливостей відбиття світлового потоку від поверхні деталі.

Після проходження всіх етапів інспекції цифрові зображення, отримані з трьох камер машинного зору, надходять до обчислювального модуля. На цьому етапі виконуються алгоритми цифрової обробки зображень, які забезпечують комплексне

оцінювання стану виробу. Під час аналізу визначаються геометричні параметри деталей, виявляються поверхневі пошкодження, перевіряється якість нанесення маркування та виконується декодування ідентифікаційних кодів. За результатами опрацювання інформації система автоматично формує висновок щодо відповідності виробу встановленим критеріям якості.

Сформоване рішення передається до програмованого логічного контролера, який координує роботу виконавчих механізмів виробничої лінії. Якщо всі контрольовані параметри відповідають нормативним вимогам, деталь безперешкодно продовжує переміщення конвеєром. У разі виявлення будь–яких відхилень контролер формує команду на спрацювання механізму автоматичного відбракування, який вилучає дефектний виріб із загального технологічного потоку.

Одночасно з керуванням виконавчими пристроями результати контролю та цифрові зображення кожної перевіреної деталі автоматично записуються до централізованої бази даних підприємства. Накопичення цієї інформації забезпечує простежуваність виробничого процесу, створює можливість проведення статистичного аналізу показників якості, спрощує пошук причин виникнення дефектів і формування звітної документації.

Таким чином, запропонована структура автоматизованої системи машинного зору забезпечує комплексний контроль виробу з трьох різних ракурсів, централізоване опрацювання отриманої інформації та автоматичне прийняття рішень щодо якості продукції в режимі реального часу. Реалізація такої архітектури дозволяє підвищити достовірність контролю, скоротити тривалість виробничого циклу, мінімізувати вплив людського фактора та забезпечити інтеграцію системи контролю з іншими компонентами автоматизованого виробництва.

Загальна логіка функціонування системи. Загальна логіка функціонування автоматизованої системи візуального контролю визначає послідовність виконання технологічних операцій, принцип взаємодії між її основними компонентами та механізм формування керуючих команд для виробничого процесу. На відміну від структурної схеми, яка демонструє склад і взаємозв'язок елементів системи, логічна схема відображає алгоритм її роботи в реальному часі та послідовність виконання всіх етапів контролю. Загальну логіку функціонування автоматизованої системи візуального контролю наведено на рисунку 2.

Функціонування системи починається з переміщення виробу до зони інспекції за допомогою транспортного механізму. Коли деталь займає положення першої контрольної станції, датчик присутності реєструє її появу та передає відповідний сигнал до програмованого логічного контролера (PLC). Отримавши цей сигнал, контролер формує команду на одночасне ввімкнення камери машинного зору та системи освітлення відповідної зони контролю, забезпечуючи синхронізовану роботу обладнання для подальшого аналізу виробу.

Після фіксації виробу в необхідному положенні камера машинного зору виконує захоплення його зображення. Сформоване цифрове зображення надходить до обчислю-

ISSN 1562-9945 (Print)
ISSN 2707-7977 (Online)

вального модуля, де проходить етап попередньої обробки. На цьому етапі здійснюється корекція рівня яскравості, придушення шумів, нормалізація контрастності та інші операції, необхідні для підвищення якості вхідних даних. Після цього запускаються алгоритми комп'ютерного аналізу, які виконують оцінювання контрольованих характеристик виробу відповідно до встановлених критеріїв.

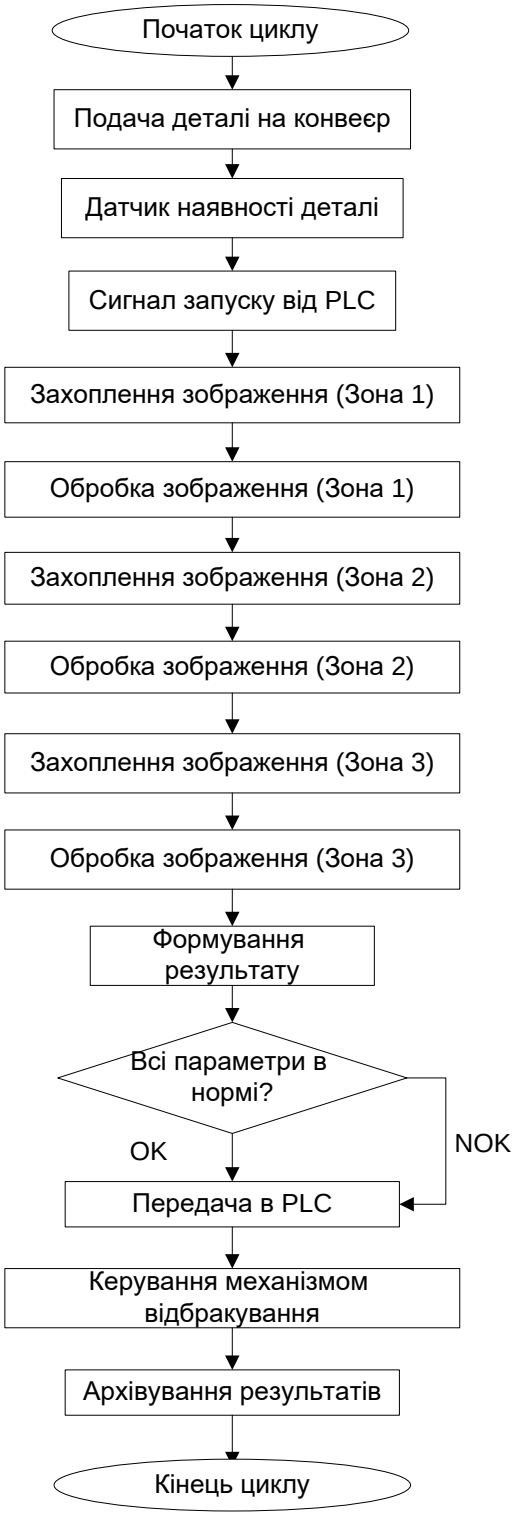


Рисунок 2 – Загальна логіка функціонування автоматизованої системи візуального контролю

Аналогічний алгоритм реалізується для другої та третьої інспекційних станцій. Координацію роботи всіх камер забезпечує система керування, яка синхронізує процес захоплення зображень і запобігає взаємному накладанню сигналів. Отримані результати перевірки з кожної контрольної позиції накопичуються в пам'яті обчислювального модуля до завершення повного циклу інспектування виробу.

Після завершення аналізу зображень, отриманих із трьох ракурсів, формується підсумковий висновок щодо якості виробу. Якщо хоча б один із контрольованих параметрів виходить за межі допустимих значень, система генерує результат **«NOK»**. За умови відповідності всіх параметрів установленим вимогам формується сигнал **«OK»**. Сформований висновок передається до програмованого логічного контролера через промисловий інтерфейс зв'язку.

Після отримання результату контролю PLC генерує відповідну команду для виконавчого механізму. У випадку формування сигналу **«NOK»** активується система відбракування, яка автоматично вилучає дефектний виріб із транспортної лінії. Якщо результат контролю має значення **«OK»**, деталь безперешкодно переміщується до наступного етапу виробничого процесу.

Одночасно з передаванням інформації до програмованого логічного контролера всі результати контролю реєструються в централізованій базі даних. До архіву записуються зображення з кожної інспекційної станції, результати вимірювань, часові позначки виконання контролю, а також ідентифікаційні відомості про виріб. Збереження цих даних створює основу для статистичного аналізу дефектів, оцінювання стабільності технологічного процесу та забезпечення простежуваності продукції на всіх етапах виробництва.

Отже, логіка функціонування автоматизованої системи візуального контролю ґрунтується на узгодженій роботі транспортного механізму, камер машинного зору, обчислювального модуля та програмованого логічного контролера. Така організація процесу забезпечує автоматизоване прийняття рішень у реальному масштабі часу, підвищує точність контролю та зменшує вплив людського фактора на результати оцінювання якості виробів.

Опис зон контролю виробу. У розробленій автоматизованій системі візуального контролю інспектування виробів здійснюється за трьома основними ракурсами, що дає змогу забезпечити комплексну перевірку всіх конструктивно важливих елементів модуля. Контроль виконується без зміни просторової орієнтації виробу: деталь послідовно переміщується через три інспекційні зони, у кожній з яких оцінюються визначені параметри.

Виробнича лінія призначена для контролю двох типів модулів, які мають однакові геометричні розміри, проте відрізняються окремими конструктивними особливостями. Основні відмінності між виробами полягають у конструкції допоміжних терміналів, а також у наявності або відсутності центрувального пластикового елемента. Незважаючи на ці особливості, більшість контрольованих характеристик для обох типів модулів є

ISSN 1562-9945 (Print)
ISSN 2707-7977 (Online)

однаковими, що дає можливість застосувати єдиний алгоритм перевірки та уніфікувати структуру автоматизованої системи візуального контролю.

Загальний вигляд виробів, що підлягають контролю, наведено на рисунку 3.

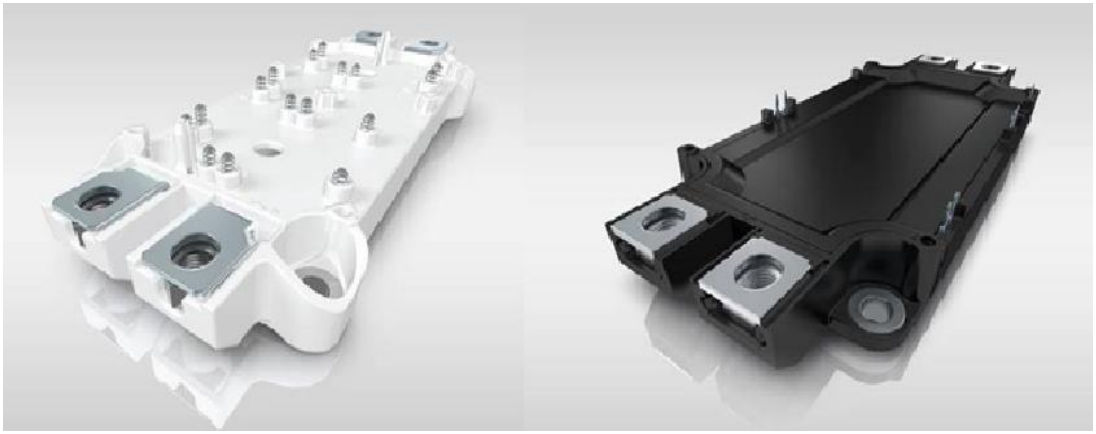
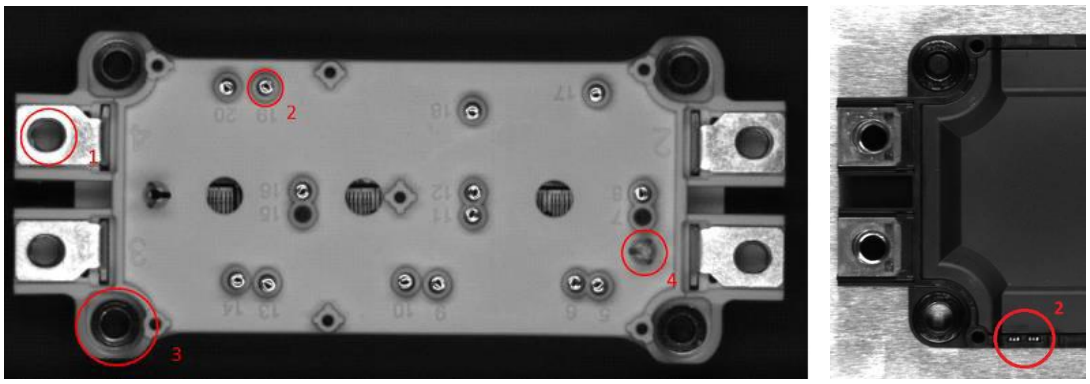


Рисунок 3 – Контрольовані вироби

Контроль верхньої поверхні виробу є одним із найважливіших етапів автоматизованої візуальної інспекції, оскільки саме в цій зоні розміщені основні електричні контакти та конструктивні елементи модуля, від правильності встановлення яких залежить його подальша працездатність. Аналіз верхнього ракурсу дозволяє своєчасно виявити дефекти складання, відсутність окремих компонентів, їх неправильне розташування або інші відхилення від установлених вимог.

Зображення верхньої частини виробів для різних типів модулів наведено на рисунку 4.



а *б*

а – модуль типу Semix 3S; б – модуль типу Semix 3 PF

Рисунок 4 – Контроль верхньої частини виробу

У межах цієї інспекційної зони здійснюється контроль основних силових терміналів, допоміжних контактів, кріпильних елементів і центрувальних деталей конструкції. Основною метою перевірки є підтвердження їх наявності, правильності встановлення, просторового розташування та відсутності механічних пошкоджень, які можуть негативно вплинути на експлуатаційні характеристики виробу.

Під час контролю головних терміналів система аналізує їхній зовнішній стан, виявляючи такі дефекти, як подряпини, вм'ятини, деформації або інші пошкодження поверхні. Додатково перевіряється правильність взаємного розташування терміналів відносно внутрішньої різьбової частини. Для цього виконуються вимірювання геометричних параметрів, зокрема співвісності та координатного положення елементів, після чого отримані значення порівнюються з установленими допусками.

Алгоритм перевірки допоміжних терміналів визначається конструкцією конкретного типу модуля. Для виробів, оснащених пружинними контактами, контролюються кількість контактних елементів, їх геометричні розміри, правильність монтажу та орієнтація. У модулях із контактними пинами перевіряються кількість контактів, їх розташування та відповідність проєктним параметрам.

Окремим етапом є контроль кріпильних заклепок і пластикових центрувальних елементів корпусу. Система машинного зору визначає наявність усіх необхідних компонентів, а також виявляє їх можливі механічні пошкодження, зміщення або відсутність.

Отже, інспекція верхньої частини виробу забезпечує комплексну оцінку найбільш відповідальних конструктивних елементів, дозволяючи своєчасно виявляти як геометричні відхилення, так і дефекти поверхні, що можуть вплинути на якість та надійність готового виробу.

Контроль фронтальної частини виробу призначений для перевірки інформаційних, маркувальних та ідентифікаційних елементів, а також оцінювання окремих геометричних характеристик конструкції. Аналіз цієї зони дає змогу підтвердити правильність нанесення маркування, його читабельність і відповідність встановленим вимогам, а також виявити можливі відхилення у розташуванні окремих елементів виробу. Зображення виробу у фронтальній проєкції наведено на рисунку 5.

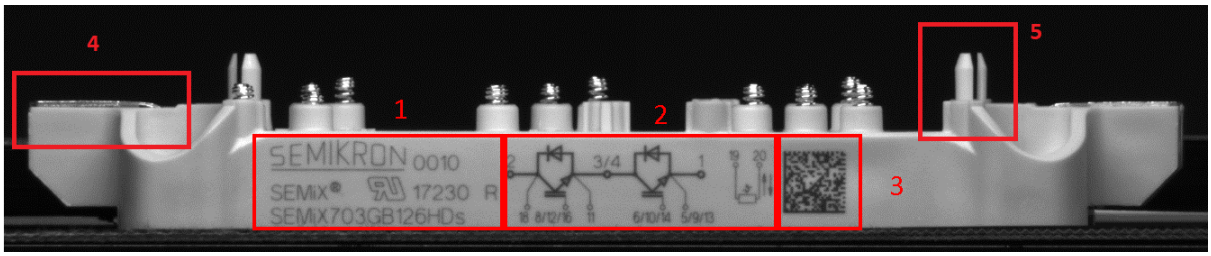


Рисунок 5 – Контроль фронтальної частини виробу

У фронтальній зоні контролю виконується перевірка текстового маркування, логотипів, умовних позначень, а також ідентифікаційної інформації, нанесеної на поверхню виробу. Основною метою цього етапу є підтвердження правильності маркування, його відповідності еталонним даним і забезпечення можливості однозначної ідентифікації виробу. Особлива увага приділяється якості нанесення символів, зокрема їх контрастності, повноті відображення, чіткості контурів та відсутності дефектів друку.

Після отримання зображення система машинного зору виконує розпізнавання текстової інформації за допомогою алгоритмів оптичного розпізнавання символів (OCR). Отримані дані передаються до обчислювального модуля, де здійснюється їх порівняння

ISSN 1562-9945 (Print)
ISSN 2707-7977 (Online)

з еталонними значеннями. Якщо символи розпізнаються некоректно, частково відсутні або якість зображення не дозволяє виконати достовірну ідентифікацію, виріб класифікується як такий, що не відповідає встановленим вимогам.

Важливою складовою фронтального контролю є декодування двовимірного коду **Data Matrix**, який містить службову інформацію про виріб, зокрема серійний номер, дату виготовлення або інші виробничі дані. Успішне зчитування коду є обов'язковою умовою проходження контролю. Якщо код не може бути декодований через недостатню якість друку, пошкодження поверхні або недостатній контраст, система формує негативний результат контролю та передає виріб на відбракування.

Крім перевірки інформаційних елементів, у цій зоні здійснюється контроль окремих геометричних параметрів виробу. Зокрема, оцінюється висота розташування головних терміналів і центрувальних елементів відносно базових поверхонь. Визначення відхилень виконується шляхом аналізу геометричних характеристик отриманого зображення та порівняння результатів вимірювання з допустимими значеннями.

Отже, контроль фронтальної частини виробу забезпечує комплексну перевірку якості маркування, правильності ідентифікації та відповідності основних геометричних параметрів установленим вимогам, що є необхідною умовою забезпечення простежуваності продукції та її функціональної придатності.

Контроль нижньої частини виробу призначений для оцінювання стану функціональної поверхні, насамперед заземлювальної пластини, яка відіграє важливу роль у забезпеченні надійних електричних характеристик виробу. Зображення нижньої частини виробу наведено на рисунку 6.

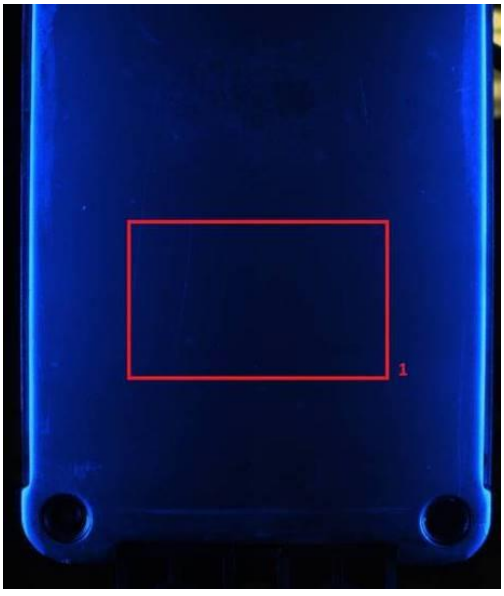


Рисунок 6 – Контроль нижньої частини виробу

У межах цієї інспекційної зони система машинного зору виконує пошук поверхневих дефектів, серед яких подряпини, вм'ятини, потертості, тріщини та інші механічні пошкодження. Особлива увага приділяється дефектам, здатним порушити цілісність

захисного покриття та досягти струмопровідного шару, що може негативно вплинути на електричні та експлуатаційні характеристики виробу.

Для підвищення ефективності виявлення дефектів застосовуються методи попередньої обробки зображень і спеціалізовані схеми освітлення, які забезпечують підсилення контрастності поверхневих пошкоджень. Завдяки цьому система здатна виявляти навіть малопомітні дефекти, що практично не розрізняються під час звичайного візуального огляду.

Рішення про придатність виробу приймається на підставі результатів аналізу виявлених дефектів. Виріб вважається бракованим у разі, якщо розміри пошкоджень перевищують установлені допустимі значення або якщо характер дефектів може призвести до погіршення функціональних властивостей, зниження надійності чи скорочення терміну експлуатації виробу.

Отже, контроль нижньої частини виробу забезпечує комплексну оцінку стану критично важливої функціональної поверхні, що безпосередньо впливає на електричні та експлуатаційні характеристики готового виробу. Своєчасне виявлення механічних пошкоджень і поверхневих дефектів на цьому етапі дає змогу виключити потрапляння виробів, які не відповідають встановленим вимогам, до наступних стадій технологічного процесу або до кінцевого споживача. Завдяки автоматизованому контролю забезпечується підвищення якості продукції, зменшення кількості прихованих дефектів і підтримання стабільності виробництва.

Висновки. Проведений аналіз зон контролю виробу показав, що запропонована автоматизована система візуального контролю забезпечує комплексне інспектування виробу за трьома взаємодоповнювальними ракурсами без зміни його просторової орієнтації. Такий підхід дозволяє виконувати перевірку як конструктивних і геометричних параметрів, так і інформаційних елементів, включаючи маркування, ідентифікаційні коди та стан функціональних поверхонь.

Розподіл контролю між трьома інспекційними зонами дає змогу оптимізувати процес оброблення зображень, підвищити достовірність виявлення дефектів і забезпечити повне охоплення всіх критично важливих елементів виробу. Використання спеціалізованих алгоритмів машинного зору, методів цифрової обробки зображень, технологій OCR і декодування Data Matrix забезпечує автоматичне оцінювання відповідності виробів установленим технічним вимогам.

Запропонована організація контролю створює передумови для підвищення точності та повторюваності результатів інспектування, скорочення впливу людського фактора, зменшення кількості пропущених дефектів і забезпечення стабільної якості готової продукції. Крім того, централізоване накопичення результатів перевірки та цифрових зображень забезпечує простежуваність виробничого процесу, можливість статистичного аналізу якості та подальшої оптимізації технології контролю.

ISSN 1562-9945 (Print)
ISSN 2707-7977 (Online)

ЛІТЕРАТУРА/REFERENCES

1. E.R. Davies, Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities, 4th ed. Oxford, U.K.: Academic Press, 2012, 912 pp. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/book/monograph/9780123869081/computer–and–machine–vision

2. M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, Image Processing, Analysis, and Machine Vision, 4th ed. Stamford, CT, USA: Cengage Learning, 2014, 944 pp. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/31734634_Image_Processing_Analysis_and_Machine_Vision_M_Sonka_V_Hlavac_R_Boyle

3. C. Steger, M. Ulrich, and C. Wiedemann, Machine Vision Algorithms and Applications. Weinheim, Germany: Wiley–VCH, 2018, 514 pp. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/322754740_Machine_Vision_Algorithms_and_Applications

4. R.C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Pearson, 2018, 1024 pp. [Online]. Available: https://www.cl72.org/090imagePLib/books/Gonzales,Woods–Digital.Image.Processing.4th.Edition.pdf

5. A. Hornberg, Handbook of Machine and Computer Vision: The Guide for Developers and Users, 2nd ed. Weinheim, Germany: Wiley–VCH, 2017, 848 pp. [Online]. Available: https://soclibrary.futa.edu.ng/books/handbook–of–machine–and–computer–vision–the–guide–for–developers–and–users.9783527413393.78111.pdf

6. J. Beyerer, F. Puente León, and C. Frese, Machine Vision: Automated Visual Inspection—Theory, Practice and Applications. Berlin, Germany: Springer Vieweg, 2016, 788 pp. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/283882664_Machine_vision_Automated_visual_inspection_Theory_practice_and_applications

7. E.R. Fossum, “CMOS Image Sensors: Electronic Camera–on–a–Chip,” IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 44, no. 10, pp. 1689–1698, Oct. 1997, doi: 10.1109/16.628824.

8. J. R. Janesick, Scientific Charge–Coupled Devices. Bellingham, WA, USA: SPIE Press, 2001, 906 pp. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/259263395_Scientific_Charge–Couple_Devices

9. Advanced Illumination, A Practical Guide to Machine Vision Lighting. Rochester, VT, USA: Advanced Illumination, 2018, 84 pp. [Online]. Available: https://www.advancedillumination.com/

10. CCS Inc., Machine Vision Lighting Handbook. Kyoto, Japan: CCS Inc., 2015, 96 pp. [Online]. Available: https://www.ccs–grp.com/

11. Opto Engineering, Telecentric Lenses and Illumination Systems Technical Guide. Mantova, Italy: Opto Engineering, 2020, 132 pp. [Online]. Available: https://www.opto–e.com/

Received 16.06.2026.
Accepted 17.08.2026.
Published 30.10.2026

Automated part quality control system based on machine vision technology

Abstract. This paper addresses the development of an automated quality inspection system for industrial components based on machine vision technology intended for use in modern manufacturing environments. An analysis of the existing quality control process was carried out, identifying its main shortcomings associated with the significant influence of the human factor, excessive time required for inspection operations, the lack of centralized storage of inspection results, and insufficient repeatability of the obtained results. The feasibility of implementing an automated visual inspection system as a means of improving production efficiency and ensuring consistent product quality is substantiated.

The proposed system architecture includes a conveyor module, three inspection stations equipped with machine vision cameras, specialized lighting systems, an image processing module, a programmable logic controller (PLC), an automatic rejection mechanism, and a centralized database. The overall operating logic of the system has been developed to ensure synchronized interaction between all components, automatic image acquisition and processing, generation of inspection results, and transmission of control commands to actuating mechanisms in real time.

The paper provides a detailed description of the three inspection zones. The upper inspection zone is intended for checking power and auxiliary terminals, fastening and positioning elements, as well as detecting geometric deviations and mechanical defects. The front inspection zone performs verification of product markings, logos, the two–dimensional Data Matrix code, optical character recognition (OCR), and evaluation of selected geometric parameters. The lower inspection zone is designed to detect surface defects on the grounding plate using specialized illumination and digital image processing techniques to enhance defect contrast.

The proposed system provides comprehensive inspection of products without changing their spatial orientation, automatic decision–making regarding compliance with specified technical requirements, centralized storage of inspection results, and complete production traceability. The application of machine vision technology improves inspection accuracy and speed, minimizes the influence of the human factor, reduces the number of undetected defects, decreases production costs, and enhances the overall efficiency of automated manufacturing lines.

Keywords: machine vision, automated visual inspection, quality control, digital image processing, PLC, OCR, Data Matrix, defect detection, machine vision system.

Киричук Юрій Володимирович – д.т.н., доцент, професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ.
ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8638–6060
Стахова Анжеліка Петрівна – к.т. н., доцент, доценткафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Маріупольський державний університет, Київ.
ORCID: https://orcid.org/0000–0001–5171–6330

ISSN 1562-9945 (Print)
ISSN 2707-7977 (Online)

Назаренко Наталія Миколаївна – к.т.н., старший викладач кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ.
ORCID: https://orcid.org/0000–0001–6533–7323

Kyrychuk Yurii – Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Automation and Non–Destructive Testing Systems, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.
ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8638–6060

Stakhova Anzhelika – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor department of system analysis and information technology, Mariupol State University.
ORCID: https://orcid.org/0000–0001–5171–6330

Nazarenko Natalia – Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Chair of Automation and Non–Destructive Testing Systems, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.
ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8638–6060