

УДК 658.562

В.В. Проценко, студент гр. ПБ-41мп, к.т.н., доц. Шевченко В.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНИ СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ

Анотація. У статті подано результати дослідження та розроблення автоматизованої системи контролю параметрів якості поверхні деталей у приладобудуванні на базі роботизованих комплексів і оптичних систем. Показано, що ручний та вибірковий контроль мають низьку повторюваність, суттєву залежність від людського фактора і недостатню швидкодію. Запропоновано структуру системи, яка поєднує промисловий робот-маніпулятор, камеру технічного зору, модуль попередньої та високорівневої обробки зображень, а також підсистему статистичного контролю процесу. Розроблено математичну модель вимірювального каналу з урахуванням невизначеності вимірювань і показників придатності технологічного процесу. Наведено результати експериментальних досліджень на лабораторному стенді з конвеєрною подачею деталей, які підтверджують можливість забезпечення високої точності контролю та стабільності процесу. Виконано техніко-економічне обґрунтування впровадження системи та показано доцільність її реалізації для підприємств приладобудівної галузі.

Ключові слова: автоматизований контроль якості, комп'ютерний зір, роботизована система, поверхня деталі, статистичний контроль процесу.

ВСТУП

У сучасних умовах цифрової трансформації промисловості зростають вимоги до стабільності, простежуваності та швидкодії контролю якості продукції. Особливо гостро це проявляється у приладобудуванні, де від параметрів якості поверхні деталей залежить точність, надійність і довговічність виробів. Традиційні підходи, що ґрунтуються на вибіркового або суцільному ручному контролі, не забезпечують необхідної повторюваності результатів, чутливі до людського фактора та обмежують можливість побудови безперервних автоматизованих ліній [1].

Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є впровадження роботизованих систем з технічним зором, які дозволяють виконувати інспекцію поверхні деталей безконтактно, з високою швидкістю та можливістю інтеграції у єдиний інформаційний простір підприємства. Такі системи поєднують механізми точного позиціонування, оптичні засоби вимірювання, алгоритми обробки зображень і статистичні методи оцінювання стабільності процесу [2].

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є розроблення та експериментальна перевірка автоматизованої системи контролю параметрів якості поверхні деталей на базі роботизованого комплексу з оптичною системою зйому інформації, здатної забезпечити високу точність, стабільність результатів і придатність до інтеграції в сучасне приладобудівне виробництво.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На першому етапі дослідження було запропоновано модель, що імітує ділянку інлайн контролю поверхні деталей у приладобудівному виробництві. Стенд, що зображений на рис. 1, включає роботизований маніпулятор із шістьма ступенями вільності, конвеєрний модуль для подачі виробів, камеру технічного зору з регульованою оптикою та освітленням, промисловий контролер і

персональний комп'ютер із програмним забезпеченням для обробки зображень та статистичного аналізу даних. Така конфігурація забезпечує відтворення реальних умов роботи системи: рух деталей із заданою швидкістю, позиціювання камери, зміни параметрів освітлення, а також можливість формування серій вимірювань.

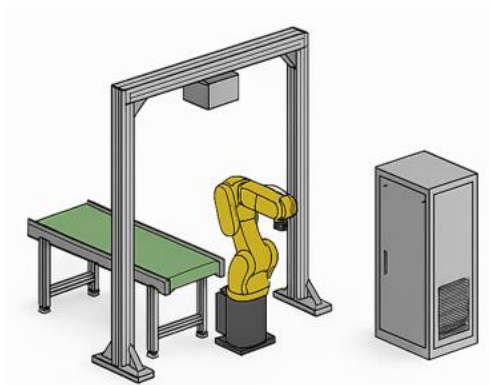


Рис. 1. Макет роботизованої системи контролю параметрів якості деталей.

У середовищі MATLAB було розроблено панель оператора (рис. 2), на якій у реальному часі відображаються образи контрольованих поверхонь, результати класифікації «придатно/дефект/необхідне доопрацювання», числові значення ключових параметрів, середні значення за підгрупами, розмахи, а також контрольні карти.

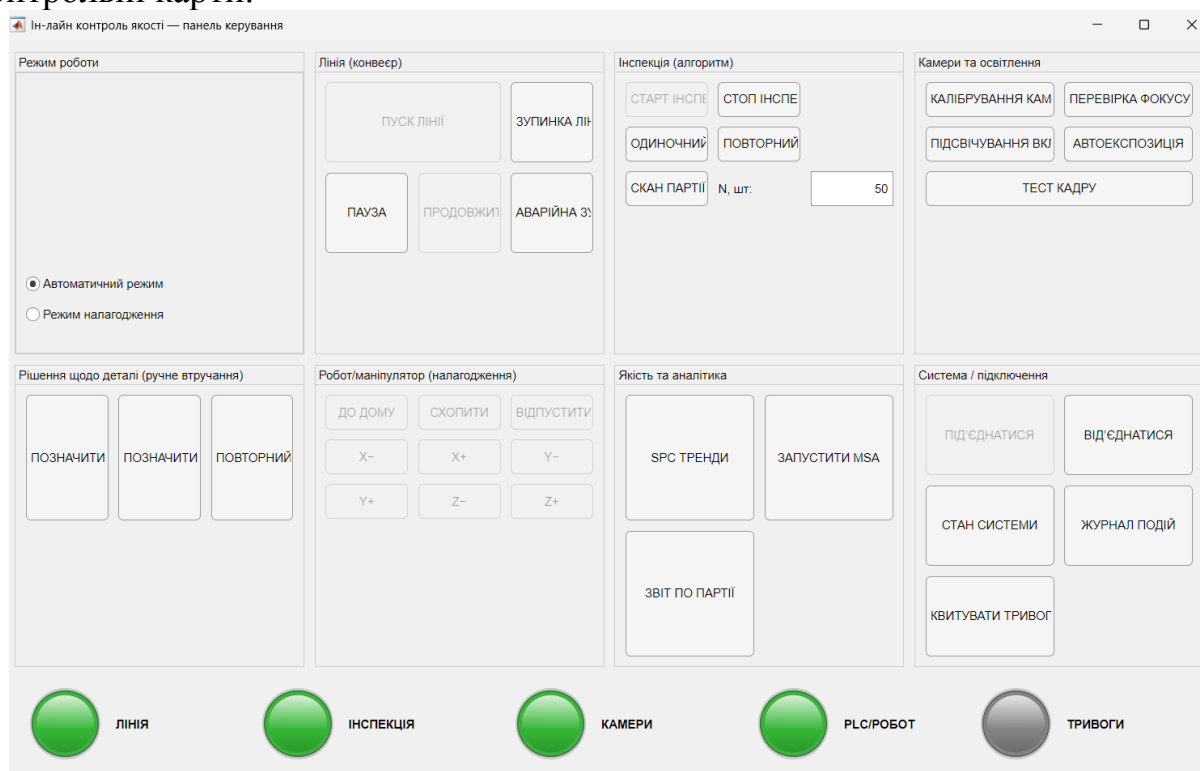


Рис. 2. Панель керування системою автоматизовано контролю.

Це дозволяє здійснювати не лише автоматичний відбір виробів, але й візуальний аудит роботи алгоритмів та оцінку стабільності процесу. Результати перевірки параметрів поверхні зображені на рис. 3.

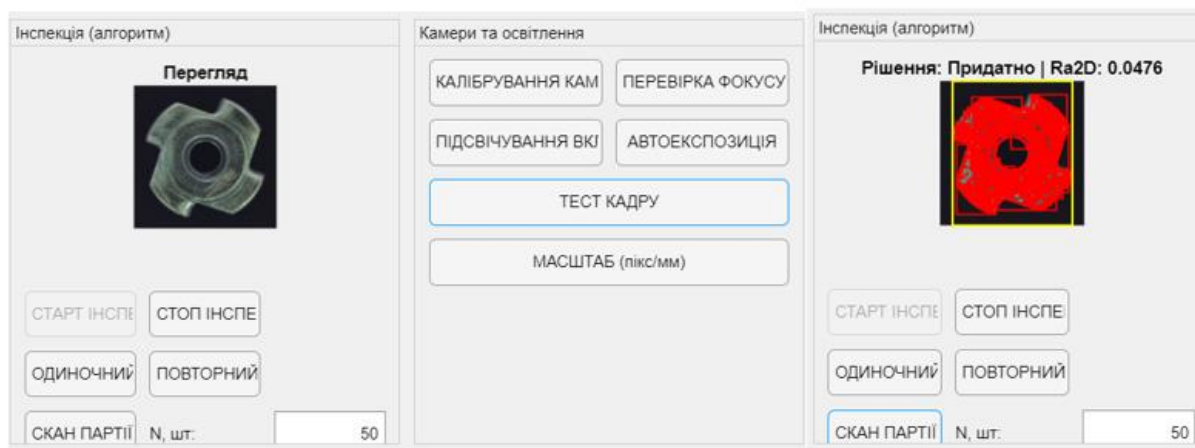


Рис. 3. Відображення контрольованих об'єктів з результатами їх перевірки.

На рівні математичного опису результат контролю для k -го виробу подається як функція істинного значення контрольованого параметра поверхні та впливних факторів (освітлення, положення камери, шум сенсора, похибки позиціонування маніпулятора) з урахуванням випадкової складової:

$$y_k = f(x_{icm}, q_k) + \varepsilon_k, \quad (1)$$

де x_{icm} — істинне значення параметра, q_k — вектор впливних факторів, ε_k — випадкова похибка вимірювання.

Оцінювання невизначеності результату здійснюється за допомогою закону поширення невизначеності. Комбінована стандартна невизначеність результату вимірювання визначається виразом

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2}, \quad (2)$$

де $u(x_i)$ — стандартні невизначеності вхідних величин, а частинні похідні $\partial f / \partial x_i$ характеризують чутливість результату до кожної з них. Для прийняття рішень використовується розширена невизначеність $U = k u_c(y)$, що відповідає заданій довірчій ймовірності [3-4].

Для оцінювання повторюваності та стабільності процесу проведено серію експериментів із контрольними зразками: для кожного виконували фіксовану кількість повторних вимірювань параметра поверхні, формували підгрупи та обчислювали для них середні значення і розмах. Узагальнені результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати повторних вимірювань на контрольних зразках.

<i>№ підгрупи</i>	<i>Середнє значення, мм</i>	<i>Відхилення від номіналу, мм</i>	<i>Розмах, мм</i>
1	10,02	0,02	0,36
2	9,99	−0,01	0,39
...	...	...	...
29	10,02	0,02	0,43
30	9,97	−0,03	0,36

Аналіз показав, що середні значення відхилялися від номінальних не більше ніж на 0,05 мм, а розмах коливався у межах 0,35–0,43 мм. Це свідчить про високу

повторюваність та стабільність роботи системи при незмінних умовах. На основі даних таблиці 4.1 у MATLAB були побудовані контрольні $\bar{X}$ - та R-карти (рис. 4).

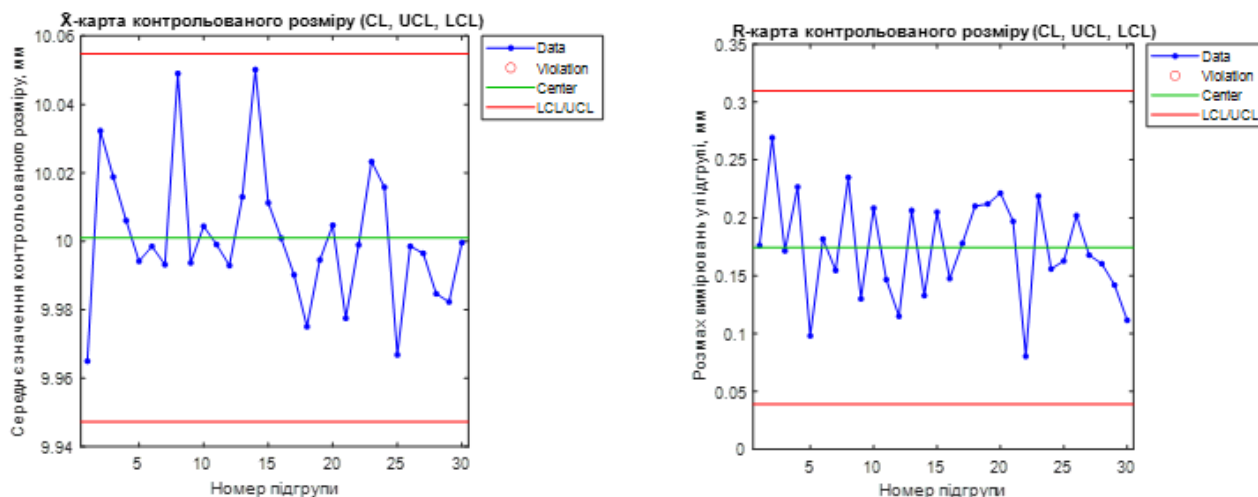


Рис. 4. Карті контрольованого розміру.

Результати підтвердили статистичну керованість процесу вимірювань: усі точки залишалися в межах контрольних границь, відсутні виражені тренди чи систематичні зсуви.

ВИСНОВОК

Отримані результати підтверджують досягнення поставленої мети та виконання основних завдань дослідження. Розроблена автоматизована система контролю параметрів якості поверхні деталей, що поєднує роботизований маніпулятор, оптичний модуль зйому інформації, панель оператора та програмні засоби обробки зображень і статистичного контролю, забезпечує високу точність, повторюваність і статистично керований процес вимірювань, що підтверджено експериментами та аналізом контрольних карт. Забезпечена можливість адаптації режимів роботи до умов конкретної лінії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Shevchenko, V. (2024). Details Processing Control System at the Automated Manufacturing. In: Bezuglyi, M., Bouraou, N., Mykytenko, V., Tymchyk, G., Zaporozhets, A. (eds) Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control, vol. 511. Springer, Cham.
- [2] Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). Digital Image Processing (4th ed.). Pearson.
- [3] Montgomery, D. C. (2019). Introduction to Statistical Quality Control (8th ed.). John Wiley & Sons.
- [4] Kim, B., Shin, M., & Hwang, S. (2024). Design and Development of a Precision Defect Detection System Based on a Line Scan Camera Using Deep Learning. Applied Sciences, 14(24), 12054. [0]

Наук. керівник – к.т.н., доц. Шевченко В.В.