

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2024-283-3-5-13>

УДК 004.932

ГЕОМЕТРИЧНІ ОЗНАКИ ПЕРФОРАЦІЙНОГО МАРКЕРА ТА ЇХ СТІЙКІСТЬ ДО ПЕРЕШКОД

Логунів О.М.

GEOMETRIC SIGNS OF PUNCHED MARKER AND THEIR RESISTANCE TO OBSTRUCTION

Logunov O.M.

Показана сфера застосування перфораційних маркерів – системи управління якістю продукції виробництв, що використовують сировину біологічного походження та механічну, термічну та хімічну обробку виробів, під час якої може видалятися зовнішній шар матеріалу разом з маркуванням, а також значно змінюватися оптичні характеристики поверхні виробів. Розглянуто специфічного вигляду маркер, який використовується у шкіряному виробництві. Розглянуто спосіб визначення орієнтації під час розпізнавання за допомогою геометричних ознак. Отримано вирази для визначення геометричних і моментних ознак, які використовуються під час розпізнавання зображення маркера, а саме координат центра ваги та значення осьових моментів інерції. Проведено комп'ютерний експеримент, в результаті якого отримано графіки розподілу кута повороту головної центральної осі з мінімальним моментом інерції відносно базового ряду маркера специфічного вигляду та графіки розподілу моментів третього порядку щодо головних центральних осей інерції. Аналіз обраних геометричних і моментних ознак показав, що вплив окремих похибок визначення координат центрів отворів нівелюється й не спричиняє істотного впливу на їхні значення. Обґрунтовано вибір геометричних і моментних ознак для визначення орієнтації маркера. Для перевірки впливу на моментні ознаки похибок нанесення отворів та деформації маркерної матриці при обробці виробів було виконано експеримент з використанням 958 зображень маркування, отриманих на прототипі в реальних умовах виробництва. Проводилося розпізнавання та декодування маркерів, визначалися координати центрів всіх отворів та

розраховувалися моментні ознаки для зображеного маркера і для того ж маркера, але без спотворень сітки розташування отворів. Побудовано гістограми розподілу відстаней між рядами отворів та нормованого відхилення центрів отворів від вузлів сітки. Побудовано таблицю розкиду геометричних характеристик маркерів за результатами експериментальної обробки тестової партії. Показано, що розподіл відхилення отворів від вузлів координатної сітки має нормальний характер. **Ключові слова:** перфораційний маркер, геометричні моменти, розпізнавання, ідентифікація, ознака.

Вступ. Індивідуальна ідентифікація виробів на всіх стадіях обробки вважається одним з способів включення механізмів економічної зацікавленості, технологічної відповідальності та збільшення достовірності інформації, що використовується в автоматизованій системі управління підприємством (АСУП), що зрештою дає значне покращення якості продукції. Системи ідентифікації виробів є невід'ємним елементом системи керування якістю.

Найбільшого поширення для маркування отримали штрих-коди. Останнім часом поширюється застосування двовимірних кодів, або 2-D кодів, щільність запису інформації в яких значно вищі. Технологія їх застосування відпрацьовано. Коди стандартизовані. Разом з тим, трапляються випадки, коли застосування штрих-кодів та двовимірних матричних кодів неможливо чи невигідно, і найкращими є

маркери, що складаються з певним чином розташованих отворів, так звані перфораційні. Маркери. Вони актуальні для виробництв, що використовують сировину біологічного походження та механічну, термічну та хімічну обробку виробів, під час якої може видалятися зовнішній шар матеріалу разом з маркуванням, а також значно змінюватися оптичні характеристики поверхні виробів.

Найбільш жорсткі умови мають місце при маркування шкір у шкіряному виробництві. Протягом обробки шкіри необхідно, щоб маркер зберігся під час будь-якої технологічної операції. Перфорація гарантує, що знак кодування не зникне навіть при двоїнні (поділі шкіри на дві половини по товщині), видаленні поверхневого шару матеріалу та інших способах обробки [1].

Метою статті є розгляд геометричних ознак перфораційного маркера, які використовуються автоматичною системою зчитування, та визначення їх стійкості до перешкод.

Засоби дослідження – математичне та комп'ютерне моделювання маркера.

Опис маркера. На основі попередніх досліджень [2] розглянуто маркер з використанням коду «2 із 5» з базовим і орієнтаційним рядами.

Геометричні моменти маркера та їх використання для визначення його орієнтації. Зручною та надійною системою ознак, що застосовується при розпізнаванні різних зображень, є геометричні моменти різних порядків, обчислені в прямокутній системі координат. Також до геометричних ознак

маркера відносяться координати центру тяжіння, положення головних центральних осей інерції та значення осевих моментів інерції [3]. Загальний вираз для обчислення моментів маркера за умови, що отвори вважаються точковими елементами, має вигляд:

$$M_{ab} = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^n z_{ij} x_{ij}^a y_{ij}^b \quad (1)$$

де a, b - порядок моменту; z - ознака наявності отвору в i, j позиції матриці (приймає значення 0 або 1); x_{ij}, y_{ij} – координати вузлів сітки, в якій наносяться отвори маркера.

Відправною точкою для побудови матриці при розпізнаванні маркера може бути центр ваги елементів маркування. Формула визначення координат центру ваги має вигляд [90]:

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}}, \quad y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (2)$$

Якщо ввести координатну систему маркера, яка має вісь x , поєднану з центрами отворів орієнтаційного ряду, а вісь y – базового, та прийняти відстань між стовпцями h_x і між рядками h_y , то значення x_c для будь-якого маркера однаково, і визначається як.

$$x_c = \frac{k(k+1)(m+1)h_x}{2[k(m+1)+n+1]} \quad (3)$$

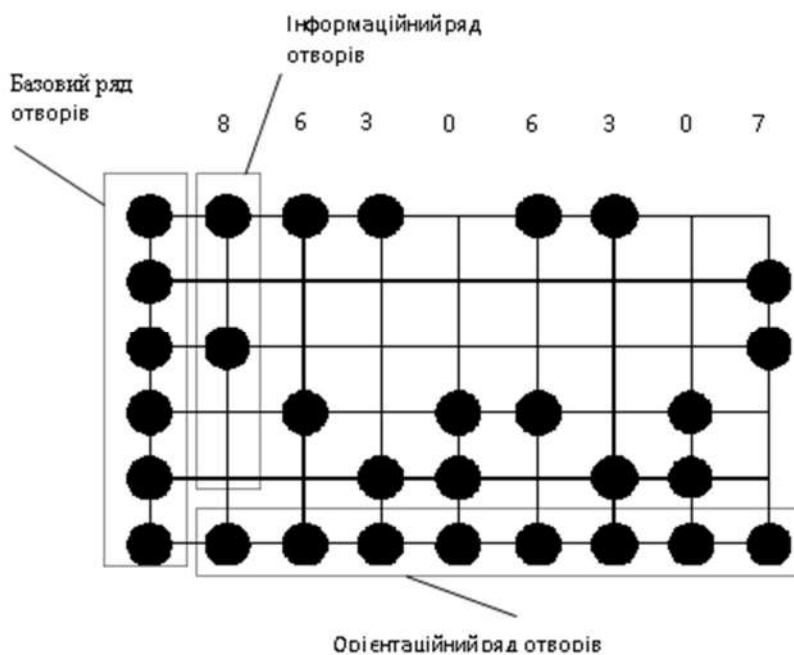


Рис. 1. Схема перфораційного маркера при використанні коду «2 із 5»

Координата x_c залежно від закодованого значення може бути в інтервалі від $x_{c \min}$ до $x_{c \max}$:

$$y_{c \min} = \frac{[n(n+1) + km(1+m)]h_y}{2[k(m+1) + n+1]},$$

$$y_{c \max} = \frac{[n(n+1) + km(1+2n-m)]h_y}{2[k(m+1) + n+1]}.$$

Наступними опорними ознаками щодо положення базового ряду отворів можуть бути основні моменти інерції маркера і положення основних центральних осей [4]. Головні центральні осі проходять через центр ваги та повернені на кут α щодо орієнтаційного ряду маркера

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{M_{C11}}{M_{C20} - M_{C02}},$$

$$M_{Cab} = \sum_{i=0}^{M_{00}-1} (x_i - x_c)^a (y_i - y_c)^b$$

Розрізнити головні центральні осі для довільного положення маркера можна за значеннями головних моментів, які набувають екстремальних значень:

$$M_{G \max/G \min} = \frac{M_{C20} + M_{C02}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{M_{C20} - M_{C02}}{2}\right)^2 + (M_{C11})^2}$$

$$M_{G \max/G \min} = \frac{M_{C20} + M_{C02}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{M_{C20} - M_{C02}}{2}\right)^2 + (M_{C11})^2}$$

Для визначення значущості геометричних ознак та їх розкиду в залежності від значення маркера був проведений аналіз усіх можливих конфігурацій маркера для $k=8, m=5, n=2$. Були знайдені всі вищезазначені геометричні параметри для всіх кодових комбінацій, визначено межі можливого знаходження центру ваги, побудовано гістограму розподілу кута повороту головної центральної осі інерції щодо орієнтаційного ряду отворів (рис. 1) і гістограма розподілу осьових моментів інерції третього порядку.

Ці граничні значення можуть використовуватися як додаткові перевіірочні параметри при розпізнаванні маркера.

Головні центральні осі використовуються для визначення орієнтації маркера, що розпізнається, так як головна центральна вісь з мінімальним значенням моменту інерції приблизно збігається у напрямку з орієнтаційним рядом отворів (рис. 2).

Розглянемо величини x_{c3} і y_{c3} , які є радіусами інерції третього порядку щодо головних осей, і можуть бути знайдені із співвідношень [2]:

$$(M_{30})_{G \max} = M_{00} (x_{C_3})^3,$$

$$(M_{03})_{G \min} = M_{00} (y_{C_3})^3$$

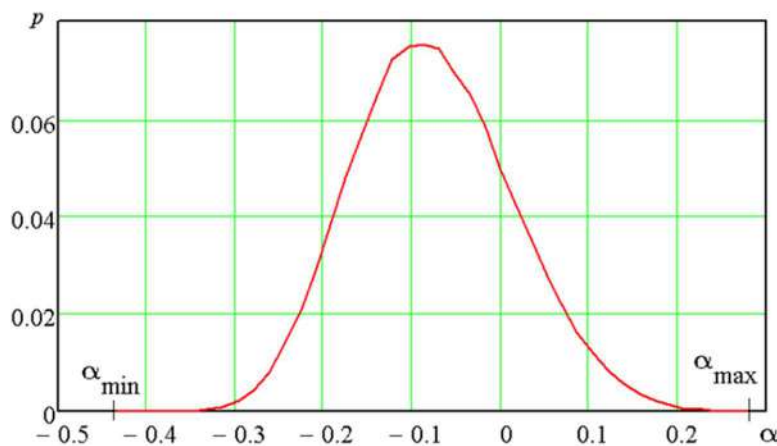


Рис. 2. Розподіл кута повороту (у радіанах) головної центральної осі з моментом $M_{G \min}$ щодо орієнтаційного ряду отворів перфораційного маркера

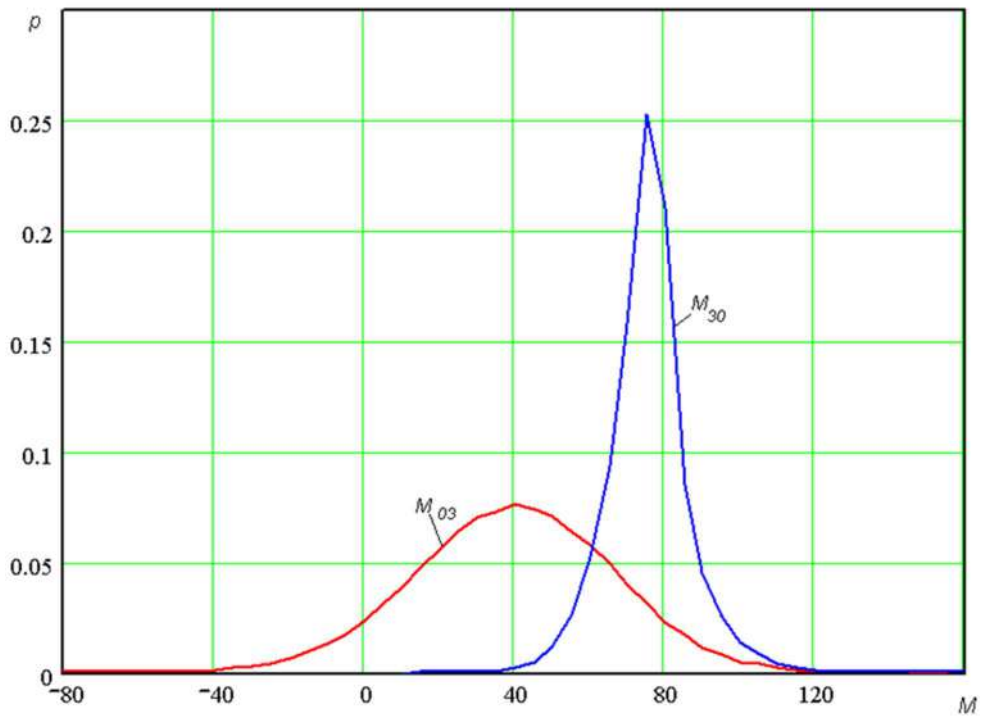


Рис. 3. Розподіл моментів третього порядку щодо головних центральних осей

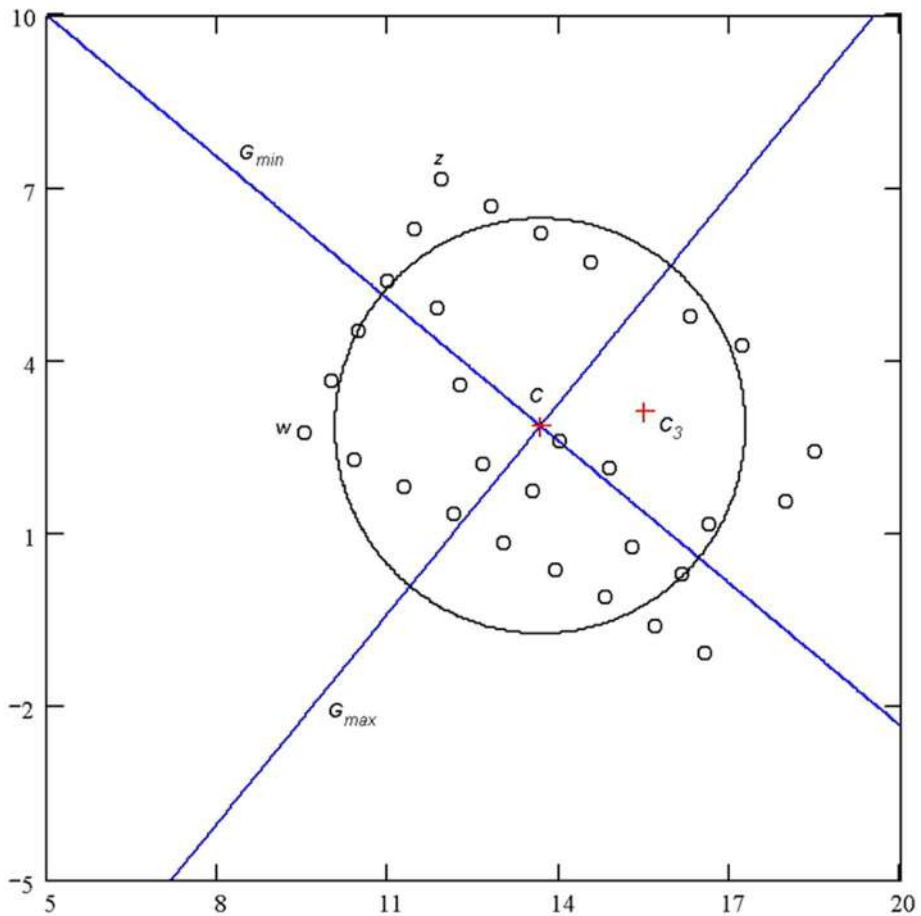


Рис. 4. Розташування центру ваги (точка C) та головних центральних осей G_{min} і G_{max} при довільному положенні перфораційного маркера (коло проведено радіусом x_c і визначає точку торкання базового ряду отворів)

У системі координат, що збігається зі положенням головних центральних осей, обирається точка C_3 координати якої визначаються як:

$$x_{C_3} = 3 \sqrt{\frac{(M_{30}) G_{\max}}{M_{00}}},$$

$$y_{C_3} = 3 \sqrt{\frac{(M_{03}) G_{\min}}{M_{00}}}$$

Відстань від центру ваги до базового ряду можна оцінити виразом (3). З гістограми (рис. 3) видно, що M_{30} завжди позитивний, отже, позитивним буде і значення x_{C_3} . Таким чином базовий ряд отворів маркера та точка C_3 завжди розташовані в різних напівплощинах, причому отвір, найбільш віддалений від точки C_3 , є одним із крайніх у базовому ряду. Це твердження було перевірено для всіх кодових комбінацій за схемою маркера з кодом «2 з 5» (рис. 5).

У той же час коло радіусу x_C з центром, розташованим у центрі ваги маркера, є дотичним до лінії центрів базового ряду. Таким чином, знаючи положення однієї з крайніх точок (w або z) базового ряду, можна провести дотичну та отримати лінію центрів базового ряду отворів (рис. 4). Отвори базового ряду розшукуються на цій лінії, починаючи від раніше знайденого крайнього z з використанням відомого кроку розташування отворів.

Рівняння пряме, що проходить через задану точку z з координатами x_z, y_z і дотичної до кола в точці A з координатами x_A, y_A (рис. 4):

$$y_A - y_z = k(x_A - x_z) \quad (4)$$

Координати точки A можна виразити через радіус кола R :

$$x_A = R \cdot \cos \alpha, y_A = R \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

Підставив вирази (4) до рівняння (3) та врахуємо, що $k = \operatorname{tg} \beta$, а $\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$.

Отримаємо

$$R = y_z \cdot \sin \alpha - x_z \cdot \cos \alpha \quad (6)$$

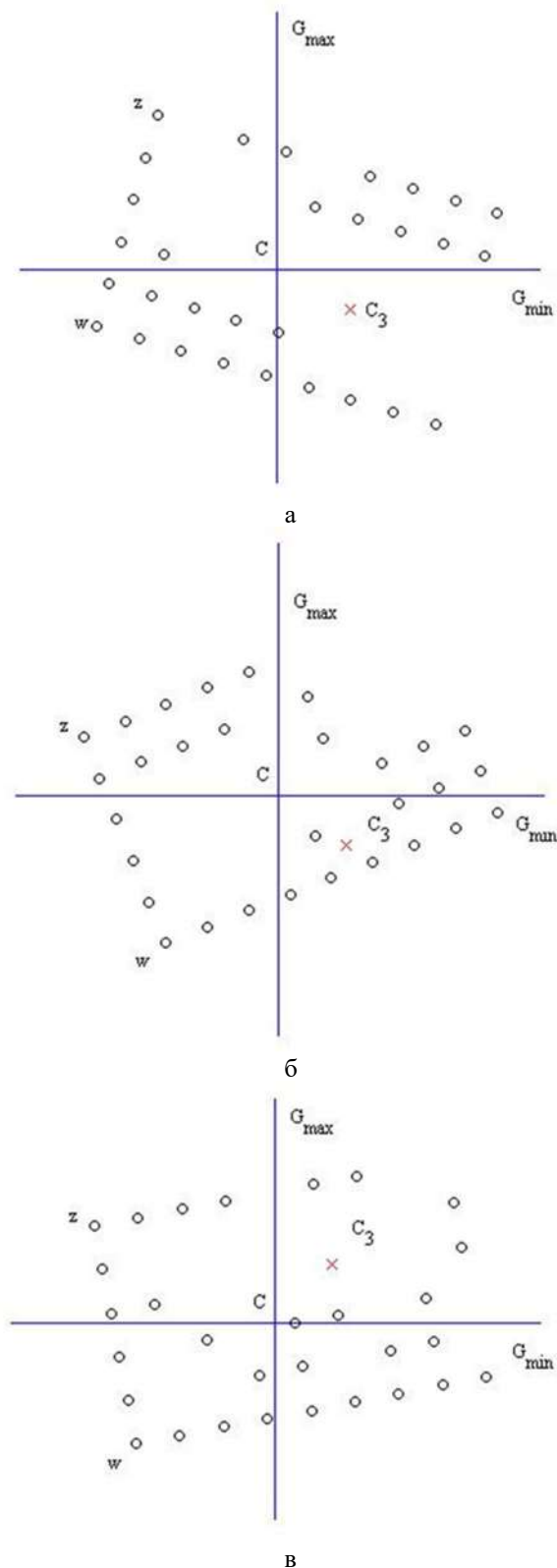


Рис. 5. Вплив кодового повідомлення маркера на розташування центру ваги та головних центральних осей. Показані екстремальні (а, б) та найбільш ймовірний (в) кути повороту осей щодо орієнтаційного ряду отворів

Замінімо в (6) $\sin \alpha = \frac{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma}{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}$,

$\cos \alpha = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \gamma}{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}$, та $\gamma = \alpha / 2$, отримаємо:

$$(R - x_z) \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma - 2 \cdot y_z \cdot \operatorname{tg} \gamma + (R + x_z) = 0 \quad (7)$$

Рішення рівняння (7) дає два корені:

$$\operatorname{tg} \gamma_{1,2} = \frac{y_z \pm \sqrt{x_z^2 + y_z^2 - R^2}}{R - x_z},$$

$$\alpha_{1,2} = 2 \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{y_z \pm \sqrt{x_z^2 + y_z^2 - R^2}}{R - x_z} \right).$$

Існування двох коренів рівняння (3.20) обумовлено тим, що з точки z можна провести дві дотичні до кола. Таким чином, із двох значень α вибирається те, що потрапляє в діапазон значень, наведений на рис. 2, що можна висловити умовою $\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$.

Остаточно, рівняння прямої, вздовж якої мають бути розташовані отвори базового ряду, має вигляд $y = (x - x_z) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) + y_z$.

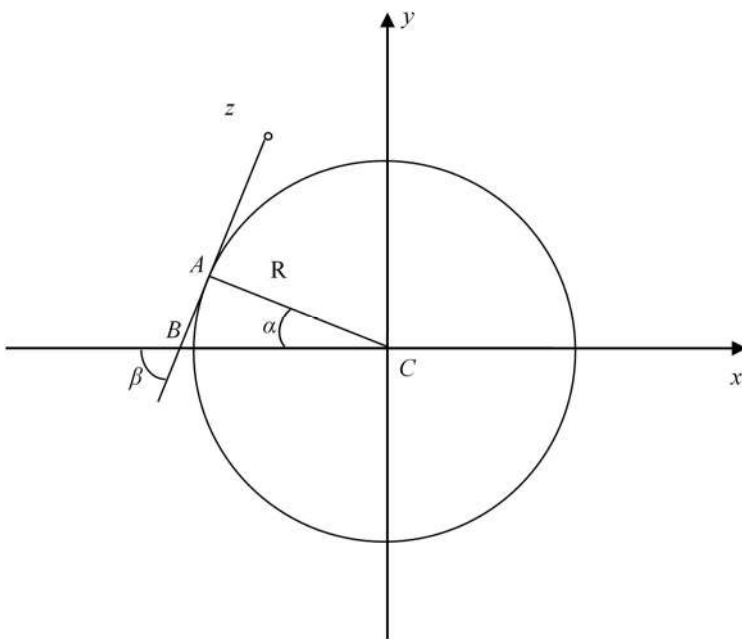


Рис. 6. Дотична до кола, проведена із заданої точки z

Якщо для побудови дотичної до кола використовувати координати точки w , то отримаємо ту саму пряму.

Стійкість до перешкод геометричних ознак маркера.

Аналізуючи формули (1) - (3) для отримання моментних ознак, маємо висновок, що вони використовують усереднення характеристик, при якому вплив окремих похибок визначення координат центрів отворів (через присутність перешкод на зображенні, спотворення форми отворів, нерівномірності освітлення та інше) нівелюється і не має істотно впливати на значення моментів інерції різних порядків.

Для перевірки впливу на моментні ознаки похибок нанесення отворів та деформації маркерної матриці при обробці виробів було виконано експеримент з використанням 958 зображень маркування, отриманих на прототипі в реальних умовах виробництва. Проводилося розпізнавання та декодування маркерів, визначалися координати центрів всіх отворів та розраховувалися моментні ознаки для зображеного маркера і для того ж маркера, але без спотворень сітки розташування отворів (табл. 1). Побудовано гістограми розподілу відстаней між рядами отворів (рис. 7) та нормованого відхилення центрів отворів від вузлів сітки (рис. 8).

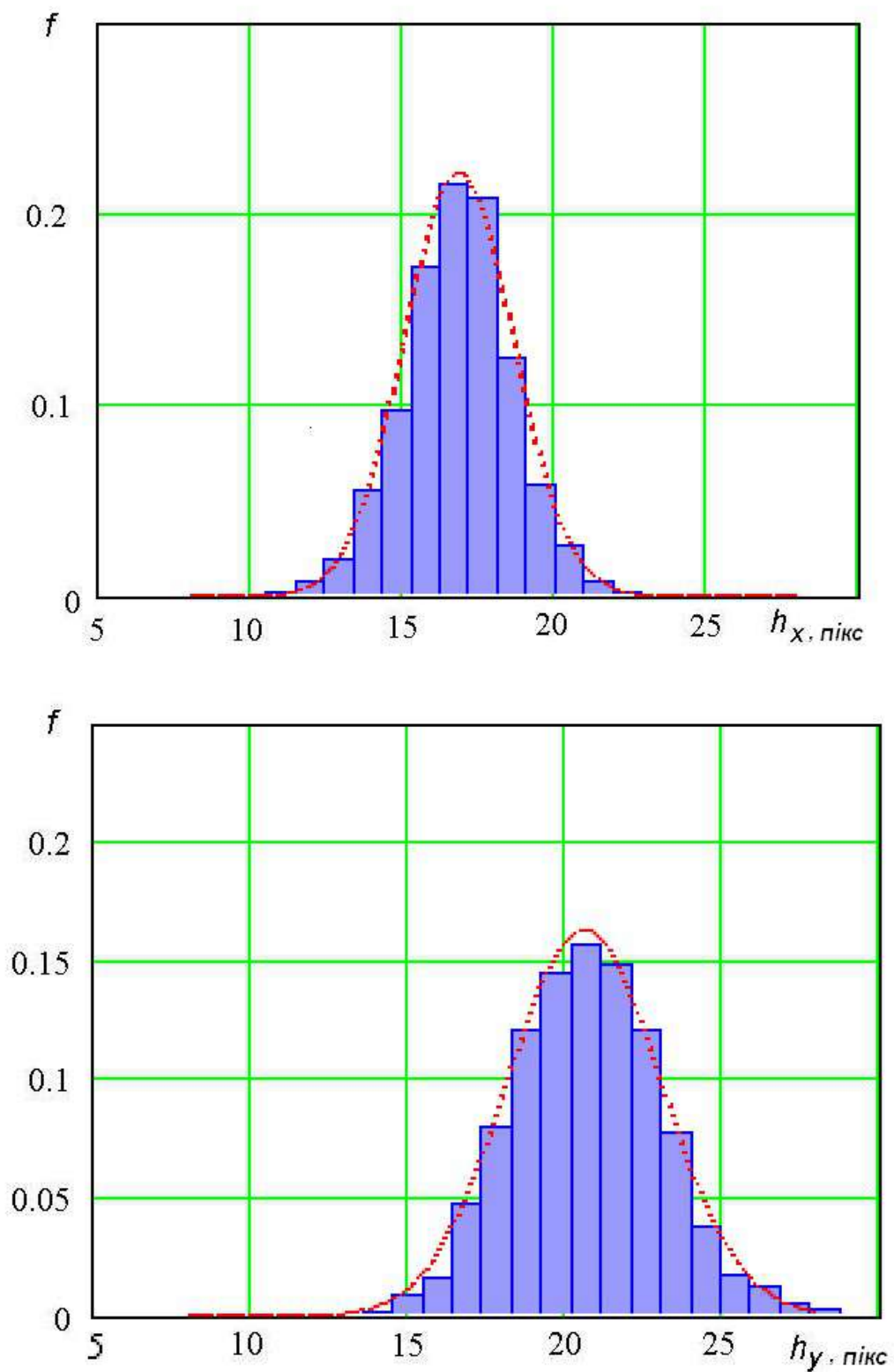


Рис. 7. Гістограми відстаней між отворами маркера в орієнтаційному h_x та у базовому h_y рядах у пікселях (пунктиром показано криву нормального розподілу з характеристиками: зліва $A_x=16,78$, $\sigma_x=1,83$; справа $A_y=20,64$, $\sigma_y=2,37$)

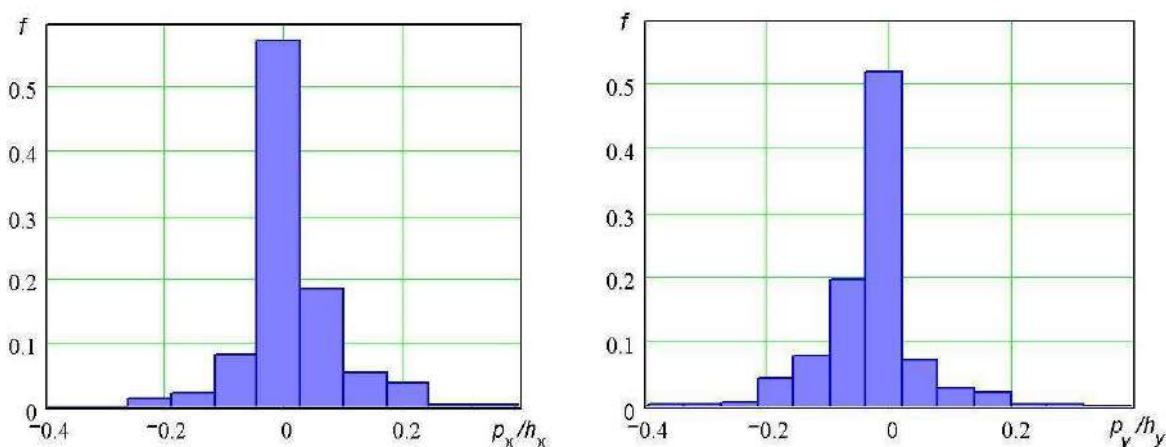


Рис. 8. Розподіл нормованого відхилення центрів отворів від вузлів сітки, заданої базовим та орієнтаційним рядами

Таблиця

Розкид геометричних характеристик маркерів за результатами експериментальної обробки тестової партії

Найменування ознаки	Середнє значення	Середньо-квадратичне відхилення
Відносна похибка координат X центру ваги	0,024	0,029
Відносна похибка координати Y центру ваги	0,035	0,054
Відносна похибка відстані між отворами за координатою X	0,0004	0,107
Відносна похибка відстані між отворами за координатою Y	0,0055	0,11
Нормоване відхилення центрів отворів від вузлів сітки за координатою X	$2,32 \cdot 10^{-5}$	0,1
Нормоване відхилення центрів отворів від вузлів сітки за координатою Y	0,00026	0,09
Відносна похибка моменту інерції другого порядку щодо осі X	0,19	0,062
Відносна похибка моменту інерції другого порядку щодо осі Y	-0,08	0,064

Результати статистичної обробки даних показують, що розподіл відхилення отворів від вузлів координатної сітки має нормальний характер.

Висновки. Визначено діапазон можливого положення центру ваги, граничні значення кута повороту головної центральної осі інерції щодо орієнтаційного ряду отворів, що дозволяє визначити орієнтацію маркера і положення базового та орієнтаційного рядів.

Література

1. Логунов А.Н. Распознавание перфорационного маркера в системе автоматизированной идентификации изделий / А. Н. Логунов, С. С. Ерошин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2007. № 4/2 (28). С. 60-65.
2. Логунов А.Н. Оптимизация кода маркера в системе автоматизированной идентификации

изделий /А.Н. Логунов, С.С. Ерошин // 36. наук праць Східноукраїнського нац. ун-ту ім. Володимира Даля. Технічні науки. Луганськ: вид-во Східноукр. нац. ун-та, 2004. С. 2633.

3. Федоров Є.Є., Нечипоренко О.В., Уткіна Т.Ю., Корпань Я. В. Ф 33 Моделі та методи комп'ютерних систем розпізнавання зорових образів : монографія / Є. Є. Федоров, О. В. Нечипоренко, Т. Ю. Уткіна, Я. В. Корпань. Черкаси : ЧДТУ, 2021. 482 с.

References

1. Lohunov A. N. Raspoznavanye perforatsyonnoho markera v systeme avtomatyzirovannoy ydentyfikatsyy yzdelyy / A. N. Lohunov, S. S. Eroshyn // Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohyy. 2007. № 4/2 (28). S. 60-65. 2.
2. Lohunov A.N. Optymyzatsyya koda markera v systeme avtomatyziro-vannoy ydentyfikatsyy yzdelyy /A.N. Lohunov, S.S. Eroshyn // Zb. nauk prats' Skhidnoukrayins'koho nats. un-tu im.

- Volodymyra Dalya. Tekhnichni nauky. Luhan-s'k: vyd-vo Skhidnoukr. nats. un-ta, 2004. S. 26-33.
3. Fedorov YE. YE., Nechyporenko O. V., Utkina T. YU., Korpan' YA. V. F 33 Modeli ta metody komp'yuternykh system rozpoznavanyya zorovykh obraziv : monohrafiya / YE. YE. Fedorov, O. V. Nechyporenko, T. YU. Utkina, YA. V. Korpan'. Cherkasy : CHDTU, 2021. 482 s.

Logunov O.M. Geometric signs of punched marker and their resistance to obstruction.

The field of application of perforation markers is shown - product quality management systems of industries that use raw materials of biological origin and mechanical, thermal and chemical processing of products, during which the outer layer of the material can be removed along with the marking, as well as the optical characteristics of the surface of the products can change significantly. A specific type of marker used in leather production is considered. The method of determining the orientation during recognition using geometric features is considered. Expressions for determining the geometric and moment features used during marker image recognition, namely the coordinates of the center of gravity and the value of the axial moments of inertia, were obtained. A computer experiment was conducted, as a result of which graphs of the distribution of the angle of rotation of the main central axis with the minimum moment of inertia relative to the base row of a marker of a specific appearance and graphs of the distribution of moments of the third order with respect to the main central axes of inertia were obtained. The analysis of the selected geometric and moment features showed that the influence of individual

errors in determining the coordinates of the hole centers is leveled out and does not cause a significant impact on their values. The choice of geometric and moment features for determining the orientation of the marker is substantiated. In order to check the effect on the momentary signs of the errors of applying holes and the deformation of the marker matrix during the processing of the products, an experiment was performed using 958 marking images obtained on the prototype in real production conditions. Recognition and decoding of the markers was carried out, the coordinates of the centers of all holes were determined, and momentary characteristics were calculated for the displayed marker and for the same marker, but without distortions of the hole location grid. Histograms of the distribution of the distances between rows of holes and the normalized deviation of the centers of the holes from the grid nodes were constructed. A scatter table of the geometric characteristics of the markers was constructed based on the results of the experimental processing of the test batch. It is shown that the distribution of the deviation of holes from the nodes of the coordinate grid has a normal character.

Keywords: perforation marker, geometric moment, recognition, sign.

Логунів Олександр Миколайович – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Київ) logunov@snu.edu.ua

Стаття подана 12.03.2024.