

НЕЗАЛЕЖНІСТЬ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ КОНТРОЛЬОВАНИХ РЕЖИМІВ ДІАГНОСТУВАННЯМ ВІДЕОЕНДОСКОПІЄЮ

Швидун Олександр Васильович

аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-0270-1762

shvidun22@gmail.com

Роговський Іван Леонідович

доктор технічних наук, професор

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-6957-1616

rogovskii@nubip.edu.ua

Автором в статті представлено результати обґрунтування основного методологічного підходу до визначення незалежності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів контрольованих режимів діагностуванням відеоендоскопією. Автором в статті розглядається можливість використання методів теорії розпізнавання образів для визначення різноманітних дефектів незалежності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів контрольованих режимів діагностуванням відеоендоскопією. Як ознаковий простір використано відбиті від поверхні електромагнітні коливання оптичного діапазону, тривимірні графіки яких зображені в осі аплікату відкладається інтенсивність відбитого сигналу від поверхні досліджуваного елемента виробу, різним рівням інтенсивності відповідає свій колір. Як ознаковий простір для розпізнавання дефекту використано значення інтенсивностей відбитих сигналів, які формуються при оптико-електронній діагностиці, наприклад, при використанні цифрових відеокамер з оптичним збільшенням (достатньо до 100 крат), оснащених підсвічуванням. Відбите від контрольованої поверхні світло фіксується матрицею цифрової камери. Візуальний аналіз представлених графічних інтерпретацій отриманих результатів на пряму не дозволив знайти будь-які детерміновані чи структурні ознаки, що розрізняють ці сигнали. Більше того, суто візуально вони виглядають як реалізація якихось випадкових процесів. Оскільки найбільш повною характеристикою випадкового процесу є його функція розподілу, були побудовані гістограми, що являють собою одномірні закони розподілу ймовірностей амплітуд, відображених від контрольованих поверхонь сигналів, які на відміну від самих сигналів реалізацій вже мають деякі структурні відмінності. Авторами запропоновано словник ознак, який дозволяє однозначно розрізняти поверхні з шорсткістю та окисненням від чистих та заоливлених поверхонь. Авторами обґрунтовано, що заоливлені і чисті поверхні утворюють області, що перетинаються, зокрема, чиста і заоливлена поверхні, мають дзеркальний характер відображення, а окисна і шорстка – дифузний. Ця обставина дозволила обґрунтувати вимогу їхнього поділу пошуку додаткових ознак розпізнавання, чи вироблення вирішального правила, що дозволило за заданим критерієм провести поділ цих класів.

Ключові слова: відеоендоскопія, діагностування, параметр, комбайн, контроль.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.20>

Постановка проблеми. З початку XXI століття відбулися значні зміни у питаннях забезпечення якості у різних галузях машинобудування (Novotny, 2016). Неможливо забезпечити високу якість продукції без забезпечення безперервного контролю за станом робочих поверхонь протягом життєвого циклу елементів виробів різного призначення, особливо при їх виробництві та експлуатації (Rogovskii & Titova, 2021b). На сьогоднішній день при визначенні якісних параметрів робочих поверхонь виробів широке застосування знаходять оптико-електронні засоби та методи контролю, що не руйнує, робота яких багато в чому нерозривно пов'язана з сучасними прогресуючими технологіями штучного інтелекту (Rogovskii et al., 2019).

В даний час можна з впевненістю сказати, що роль штучного інтелекту у вдосконаленні та модернізації існуючих на сьогоднішній день методів, процедур і способів діагностування складних технічних систем (Palamarchuk

et al., 2021), має такий потенціал, якого немає в жодній іншій технології (Rogovskii et al., 2022). При з ряду інтелектуальних завдань виключаються завдання, котрим існують стандартні методи розв'язання (наприклад, все обчислювальні завдання) (Masek et al., 2017).

Одним із напрямів штучного інтелекту є завдання розпізнавання образів (Hrynkiv et al., 2020). У цій статті розглядається можливість використання методів теорії розпізнавання образів для визначення різноманітних дефектів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо (Nazarenko et al., 2021), що з найважливіших (якщо не визначальних) етапів розпізнавання образів є визначення робочого словника ознак. Очевидно V, що якщо вдається розбити алфавіт класів, що розпізнаються на непересічні в просторі словника ознак області (Luo & Guo, 2013), то завдання розпізнавання вважається повністю вирішеною і не вимагає вироблення надалі так зва-

ного «вирішального правила» для областей, що перетинаються. Вибір робочого словника ознак є непротим завданням (Dubbini et al., 2017), оскільки потрібно знайти певний компроміс між простотою, ефективністю і спільністю (універсальністю) його застосування (Rogovskii & Titova, 2021a). Таким чином, описане вище дозволяє зробити висновок, що важливою частиною побудови системи розпізнавання є пошук даного алфавіту класів словника ознак, що забезпечує в умовах обмежених ресурсів розпізнавання максимальну ефективність (ймовірність) розпізнавання (Forgó et al., 2021).

Враховуючи вищесказане, розглянемо завдання розпізнавання та класифікації дефектів поверхонь (Zagurskiy et al., 2018), наприклад, елементів зернозбиральних комбайнів при їх виробництві та експлуатації (Rogovskii & Titova, 2021c), для яких якість робочих поверхонь (чистота, шорсткість) найчастіше буває визначальною (Rogovskii et al., 2021b). Дефекти, які необхідно розпізнати, являють собою різні забруднення (олива, сліди окису), а також різну шорсткість поверхні (Kuzmich et al., 2021). Крім того (Romaniuk et al., 2018), важливе значення має ступінь зазначених забруднень, яка значно впливає на експлуатаційні властивості досліджуваного елемента конструкції (Rogovskii, 2020).

Метою досліджень є підвищення валідності визначення незалежності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів контрольованих режимів діагностуванням відеоендоскопією.

Результати досліджень В якості класів (забруднень), що розпізнаються, досліджувалися 4 типи поверхонь елементів виробів: чиста, окислена (витримкою під впливом 90% розчину HCl від 1 до 3 годин), заолівлена (нанесенням на зразок площею 0,0024 м² 20, 40 і 60 мг) і має шорсткість (підвищені параметри: висота нерівностей профілю по десяти основних точках R_z і середнє арифметичне відхилення профілю R_a).

У свою чергу, заолівлена, окислені та шорсткі поверхні також розділялися за ступенем їх забруднення (таблиця 1).

Таблиця 1 є ні що інше, як апіорна абетка класів, де кожному класу відповідає певне пошкодження або несправність.

Як ознаковий простір використовувалися відбиті від поверхні електромагнітні коливання оптичного діапа-

зону, тривимірні графіки яких зображені на рис. 1, де осі Z відкладається інтенсивність відбитого сигналу від поверхні досліджуваного елемента виробу. Різним рівням інтенсивності відповідає свій колір.

Таким чином, як ознаковий простір для розпізнавання дефекту використовуються значення інтенсивностей відбитих сигналів, які формуються при оптико-електронній діагностиці, наприклад, при використанні цифрових відеокамер з оптичним збільшенням (достатньо до 100 крат), оснащених підсвічуванням. Відбите від контрольованої поверхні світло фіксується матрицею цифрової камери.

Оброблені результати інтенсивностей отриманих цифрових зображень контрольованих поверхонь показано на рис. 1.

Візуальний аналіз представлених графіків (рис. 1) не дозволяє знайти будь-які детерміновані чи структурні ознаки, що розрізняють ці сигнали. Більше того, суто візуально вони виглядають як реалізація якихось випадкових процесів.

Оскільки найбільш повною характеристикою випадкового процесу є його функція розподілу, були побудовані гістограми, що являють собою одномірні закони розподілу ймовірностей амплітуд, відображених від контрольованих поверхонь сигналів, які (на відміну від самих сигналів реалізацій) вже мають деякі структурні відмінності (рис. 2). Для того, щоб формалізувати процедуру розрізнення (розпізнавання) пропонується використовувати як ознаковий простір ознаки, засновані на статистиках першого порядку (1)-(5).

Математичне очікування (момент 1-го порядку):

$$m_1 = \sum_{j=0}^{N-1} \{I_j \cdot P(I)\}, \quad (1)$$

де I_j – інтенсивність відбитого сигналу; $P(I)$ – ймовірність появи відбитого сигналу, N – кількість точок (пікселів) цифрового зображення поверхні.

Центральний момент:

$$\mu_k = \sum_{j=0}^{N-1} \{(I_j - m_1)^k \cdot P(I_j)\}, \quad (2)$$

де k – номер порядку моменту.

Таблиця 1

Вихідні дані за абеткою класів ушкодження, забруднення поверхні

№ класу	Тип дефекту	Ступінь ушкодження (забруднення)
1	Чиста	відповідає ДСТУ
2	Олива	20 мг на площі 0,0024 м ²
3	Олива	40 мг на площі 0,0024 м ²
4	Олива	60 мг на площі 0,0024 м ²
5	Окис	витримка 90% HCl 1 год
6	Окис	витримка 90% HCl 2 години
7	Окис	витримка 90% HCl 3 години
8	Шорсткість	R _z = 6,3-10, R _a = 1,25-2,5
9	Шорсткість	R _z = 3,2-6,3, R _a = 0,63-1,26
10	Шорсткість	R _z = 2,6-3,2, R _a = 0,32-0,63

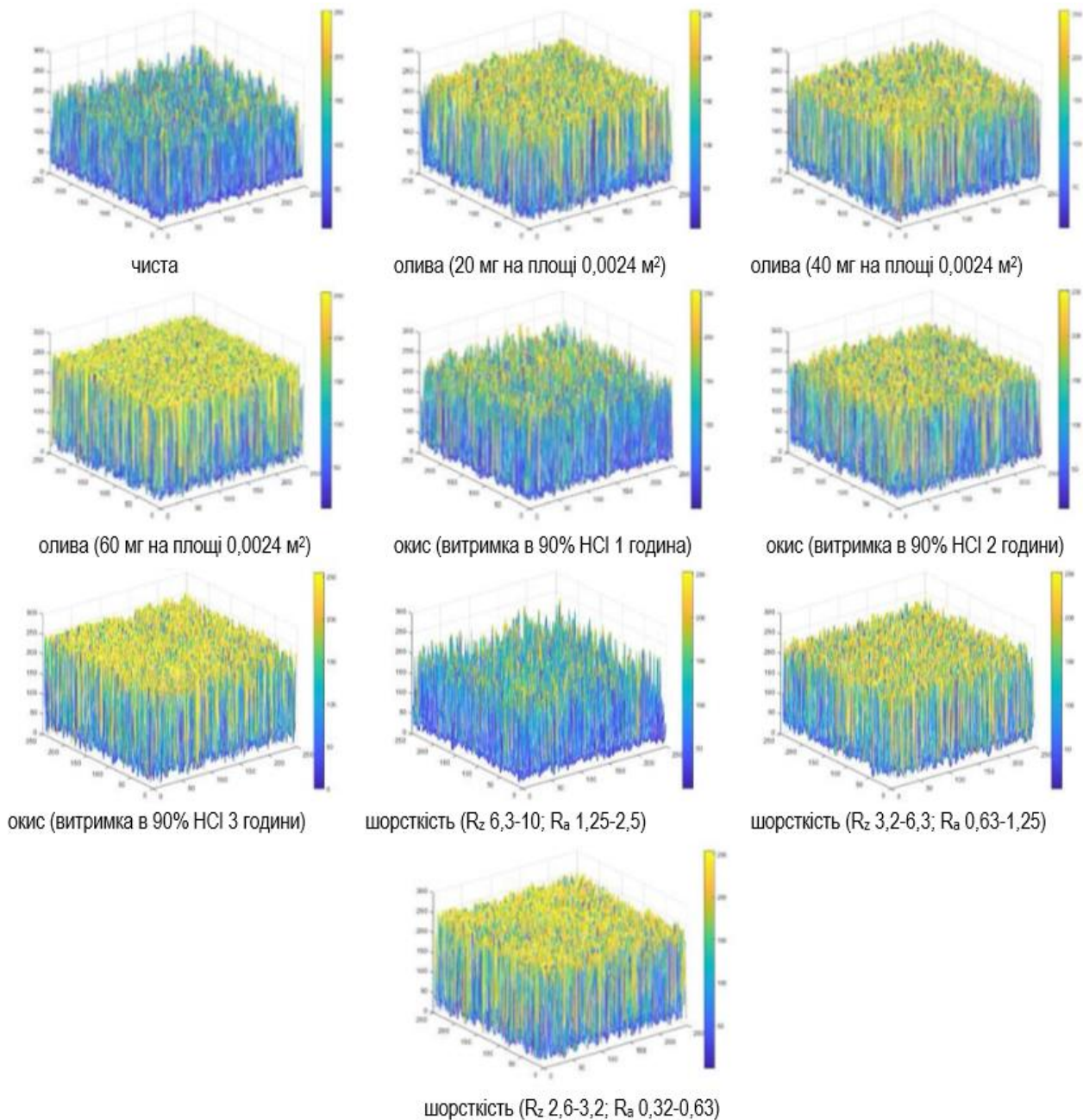


Рис. 1. Тривимірні діаграми результатів вимірювань інтенсивностей відбитого світла від контрольованих поверхонь, афіксовані матрицею оптичної системи для різних класів ушкоджень

Дисперсія:

$$\mu_2 = \sum_{j=0}^{N-1} \left\{ (I_j - m_1)^2 \cdot P(I) \right\}, \quad (3)$$

Коефіцієнт асиметрії:

$$\gamma_1 = \mu_3 \cdot (\mu_2)^{-3/2}. \quad (4)$$

Коефіцієнт ексцесу:

$$\gamma_2 = \mu_4 \cdot (\mu_2)^{-3/2}. \quad (5)$$

Результати розрахунків представлені в таблицях 2-5 та на рисунках 3-6, звідки можна зробити такі висновки.

Обговорення. Даний робочий словник ознак дозволяє однозначно розрізняти поверхні з шорсткістю та окисненням від чистих та заоливлених поверхонь (Pinzi et al., 2016). Це, очевидно, пояснюється різною природою відображення різних поверхонь. Однак, заоливлені і чисті поверхні утворюють області, що перетинаються (Liu et al., 2021). Так, чиста і заоливлена поверхні, мають, швидше за все, дзеркальний характер відображення, а окисна і шорстка – дифузним (Nazarenko et al., 2020). Ця обставина вимагає їхнього поділу пошуку додаткових ознак розпізнавання, чи вироблення вирішального правила, що дозволяє за заданим критерієм провести поділ цих класів. Тим не менш, при застосуванні техно-

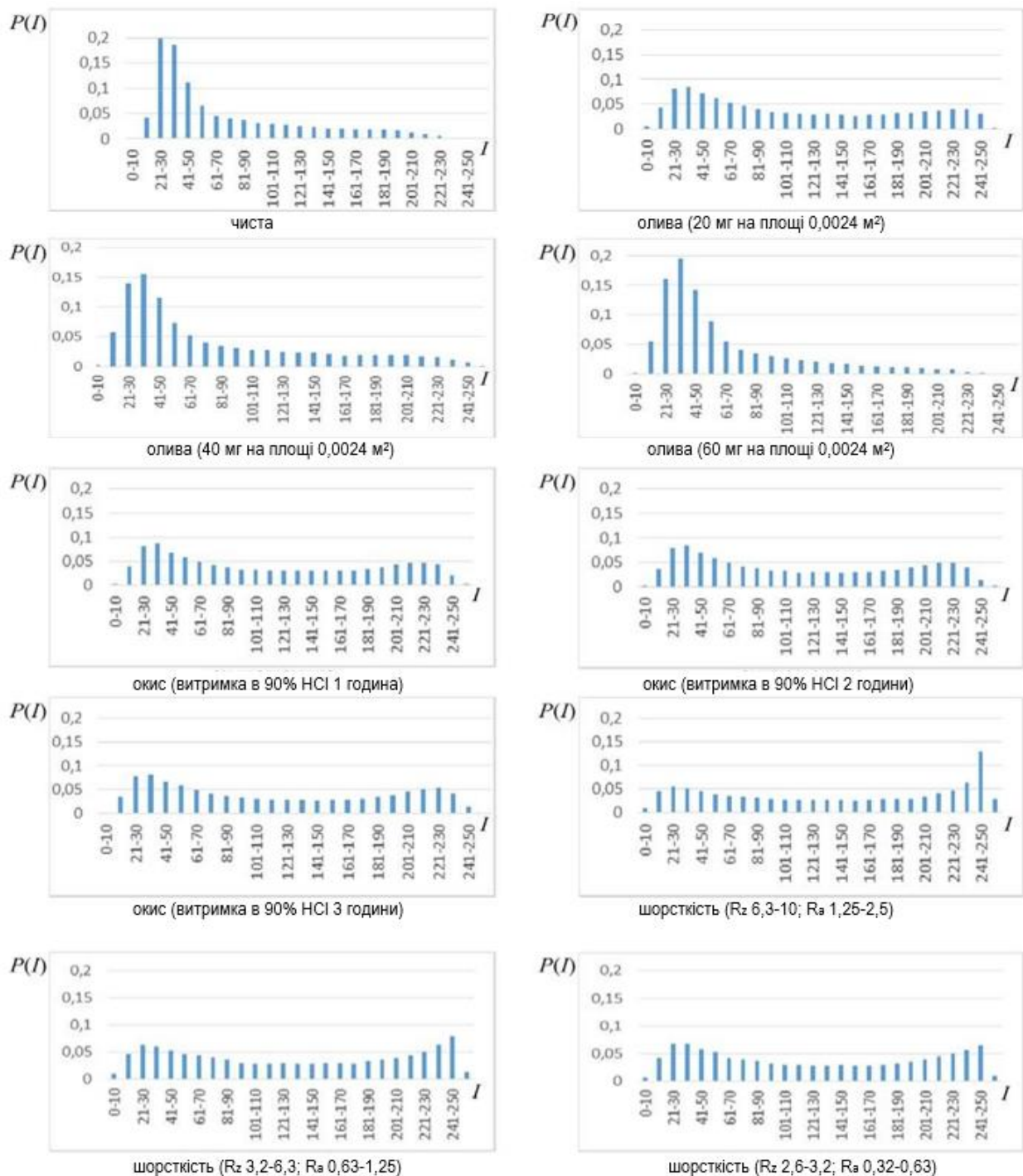


Рис. 2. Гістограми відбитих сигналів для різних класів ушкоджень: $P(I)$ – ймовірність появи відбитого сигналу, I – інтенсивність відбитих сигналів

Таблиця 2

Отримані значення математичного очікування m_1 (моменту 1-го порядку)

Значення m_1 для чистої поверхні	70,9078		
Значення m_1 при забрудненні оливою	111,8078 (20 мг на площі 0,0024 м ²)	80,5371 (40 мг на площі 0,0024 м ²)	64,8658 (60 мг на площі 0,0024 м ²)
Значення m_1 при окису	117,6750 (витримка 90% НСІ 1 година)	115,7151 (витримка 90% НСІ 2 години)	115,5736 (витримка 90% НСІ 3 години)
Значення m_1 при рівнях шорсткості	141,4629 (R_z 6,3-10, R_a 1,25-2,5)	131,1654 (R_z 3,2-6,3, R_a 0,63-1,26)	127,2359 (R_z 2,6-3,2, R_a 0,32-0,63)

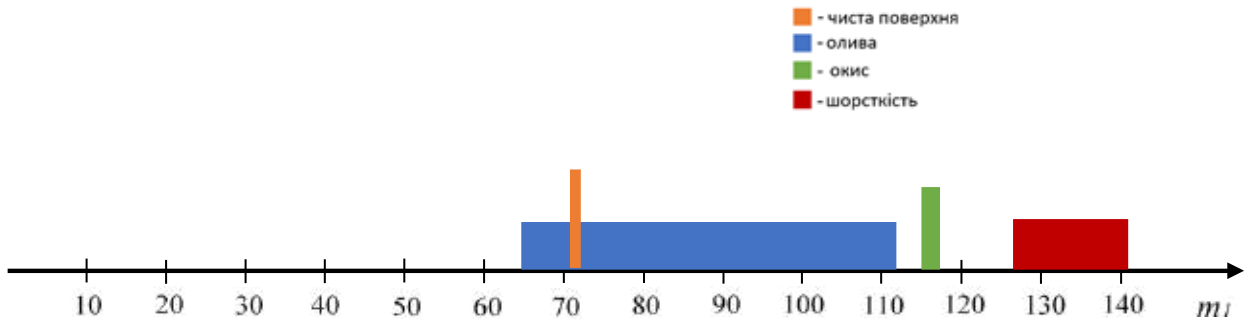


Рис. 3. Графік розподілу моментів 1-го порядку

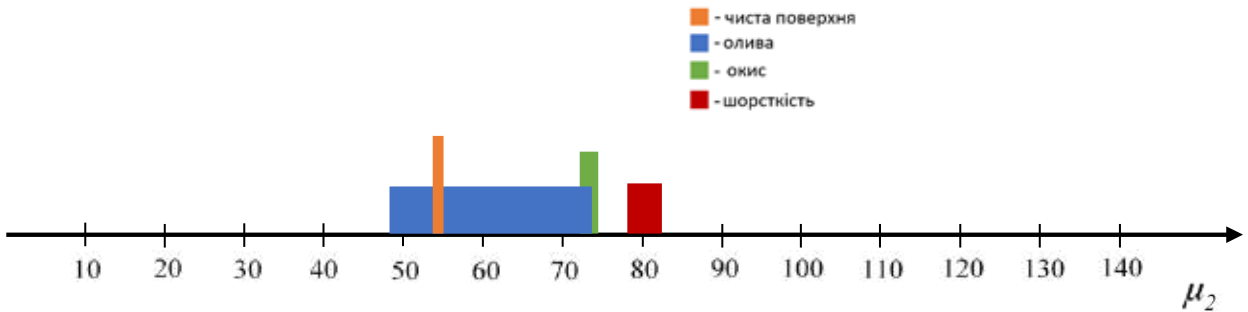


Рис. 4. Графік розподілу моментів 2-го порядку

Таблиця 3

Отримані значення дисперсії μ_2 (моменту 2-го порядку)

Значення μ_2 для чистої поверхні	53,8171		
Значення μ_2 при забрудненні оливою	73,3596 (20 мг на площі 0,0024 м ²)	61,4928 (40 мг на площі 0,0024 м ²)	48,1894 (60 мг на площі 0,0024 м ²)
Значення μ_2 при окису	73,5094 (витримка 90% HCl 1 година)	72,5308 (витримка 90% HCl 2 години)	72,1744 (витримка 90% HCl 3 години)
Значення μ_2 при рівнях шорсткості	82,0995 (R _z 6,3-10, R _a 1,25-2,5)	79,4512 (R _z 3,2-6,3, R _a 0,63-1,26)	78,1174 (R _z 2,6-3,2, R _a 0,32-0,63)

Таблиця 4

Отримані значення дисперсії γ_1 (моменту 3-го порядку)

Значення γ_1 для чистої поверхні	1,2176		
Значення γ_1 при забрудненні оливою	0,3805 (20 мг на площі 0,0024 м ²)	1,0502 (40 мг на площі 0,0024 м ²)	1,5090 (60 мг на площі 0,0024 м ²)
Значення γ_1 при окису	0,2720 (витримка 90% HCl 1 година)	0,2582 (витримка 90% HCl 2 години)	0,2274 (витримка 90% HCl 3 години)
Значення γ_1 при рівнях шорсткості	-0,1031 (R _z 6,3-10, R _a 1,25-2,5)	0,0423 (R _z 3,2-6,3, R _a 0,63-1,26)	0,1158 (R _z 2,6-3,2, R _a 0,32-0,63)

Таблиця 5

Отримані значення коефіцієнта ексцесу γ_2 (моменту 4-го порядку)

Значення γ_2 для чистої поверхні	0,4174		
Значення γ_2 при забрудненні оливою	-1,2606 (20 мг на площі 0,0024 м ²)	-0,0673 (40 мг на площі 0,0024 м ²)	1,62 (60 мг на площі 0,0024 м ²)
Значення γ_2 при окису	-1,3696 (витримка 90% HCl 1 година)	-1,3797 (витримка 90% HCl 2 години)	-1,4058 (витримка 90% HCl 3 години)
Значення γ_2 при рівнях шорсткості	-1,4844 (R _z 6,3-10, R _a 1,25-2,5)	-1,469 (R _z 3,2-6,3, R _a 0,63-1,26)	-1,4504 (R _z 2,6-3,2, R _a 0,32-0,63)

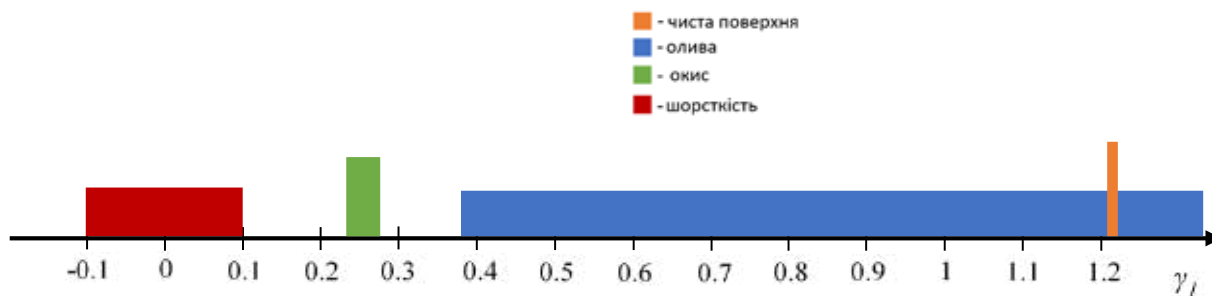


Рис. 5. Графік розподілу моментів 3-го порядку

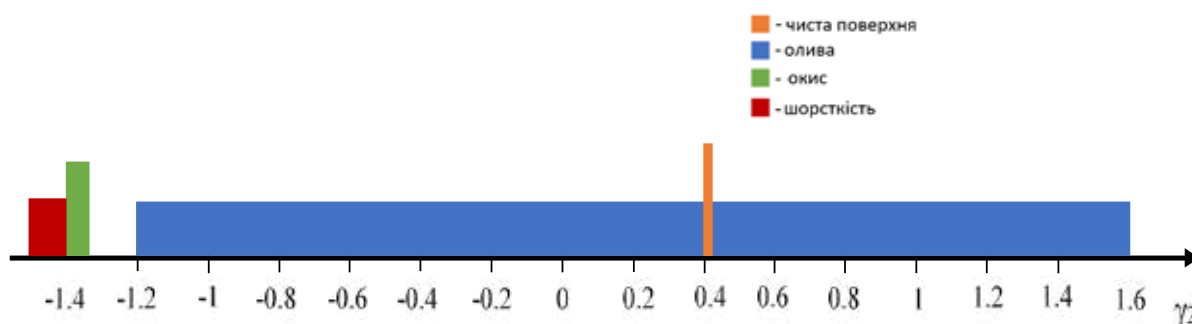


Рис. 6. Графік розподілу моментів 4-го порядку

логії розпізнавання образів, заснованої на теорії статистичних рішень, ці ознаки дозволять розрізнити зазначені дефекти з високою ймовірністю (Rogovskii, 2019).

Висновки. В результаті проведеного пошуку та дослідження діагностичних ознак можна стверджувати, що навіть такий скромний словник ознак, який був розглянутий у статті, має певні класифікуючі властивості для розпізнавання типу забруднення поверхні в незалежності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів

контрольованих режимів діагностуванням відеоендоскопією. Подальше вдосконалення ознакового простору незалежності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів контрольованих режимів діагностуванням відеоендоскопією без пред'явлення додаткових вимог до апаратної частини апаратури діагностики несправностей доцільно проводити з використанням ознак, що ґрунтуються на статистиках вищого порядку, наприклад, матриць поєднання просторової залежності.

Бібліографічні посилання:

1. Dubbini, M., Pezzuolo, A., De Giglio, M., Gattelli, M., Curzio, L., Covi, D., Yezekyan, T. & Marinello, F. (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. *CIGR Journal*, 19: 158–163.
2. Forgó, Z., Tolvaly-Ros, sa F., Pásztor, J. & Kovari, A. (2021). Energy consumption evaluation of active tillage machines using dynamic modelling. *Application Science*, 11: 6240. <https://doi.org/10.3390/app11146240>.
3. Hrynkiv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O. & Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(105): 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.
4. Kuzmich, I. M., Rogovskii, I. L., Titova, L. L. & Nadochiy, O. V. (2021). Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677: 052002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002>.
5. Liu, Z., Cao, S. & Sun, Z. (2021). Tillage effects on soil properties and crop yield after land reclamation. *Scientific Reports*, 11: 4611. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84191-z>.
6. Luo, A. C. J. & Guo, Y. (2013). *Vibro-impact Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag: 213.
7. Masek, J., Novak, P. & Jasinskas, A. (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. *Engineering for Rural Development*, 16: 1180–1185. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118135>.
8. Nazarenko, I., Dedov, O., Beryuk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A. & Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7–108): 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
9. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M. & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7(112)): 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.

10. Novotny, J. (2016). Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. *Engineering for Rural Development*, 15: 16–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.239292>.
11. Palamarchuk, I., Rogovskii, I., Titova, L. & Omelyanov, O. (2021). Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. *Engineering for Rural Development*, 20: 1761–1767. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF386>.
12. Pinzi, S., Cubero-Atienza, A. J. & Dorado, M. P. (2016). Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. *Journal of Sound and Vibration*, 266(3): 407–441.
13. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021a). Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 720: 012110. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012110>.
14. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021b). Modeling of normativity of criteria of technical level of forage harvesters combines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 720: 012109. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012109>.
15. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021c). Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677: 022100. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022100>.
16. Rogovskii, I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv, Ukraine, 10(3): 181–187. <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.
17. Rogovskii, I. L., Titova, L. L. & Berezova, L. V. (2021d). Conceptual bases of system technology of designing of logistic schemes of harvesting and transportation of grain crops. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 723: 032032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032032>.
18. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Gumenyuk, Yu. O. & Nadochiy, O. V. (2021e). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 839: 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.
19. Rogovskii, I., Titova, L., Sivak, I., Berezova, L. & Vyhovskiy, A. (2022). Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. *Engineering for Rural Development*, 21: 884–890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.
20. Rogovskii, I. L. (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv, Ukraine, 11(3): 143–150.
21. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A. & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*, 18: 291–298. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N451>.
22. Romaniuk, W., Polishchuk, V., Marczuk, A., Titova, L., Rogovskii, I. & Borek, K. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. *Agricultural Engineering*, 22(1): 105–125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.
23. Zagurskiy, O., Ohienko, M., Rogach, S., Pokusa, T., Titova, L. & Rogovskii, I. (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. *Conceptual bases and trends for development of social-economic processes*. Monograph. Opole, Poland: 64–74.

Shvydun O. V., Postgraduate student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Rogovskii I. L., Doctor of Technical Science, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Independence of parameters of technical condition of grain harvester controlled modes by diagnostics by videoendoscopy

In the article, the author presents the results of the substantiation of the main methodological approach to determining the independence of parameters of the technical condition of grain harvesters of controlled modes by video endoscopy diagnosis. In the article, the author considers the possibility of using the methods of pattern recognition theory to determine various defects of the independence of parameters of the technical condition of grain harvesters of controlled modes by diagnosing them with video endoscopy. Electromagnetic oscillations of the optical range reflected from the surface are used as a characteristic space, the three-dimensional graphs of which are depicted in the axis of the appliqué. The value of reflected signal intensities, which are formed during optical-electronic diagnostics, for example, when using digital video cameras with optical magnification (enough up to 100 times), equipped with backlight, is used as a feature space for defect recognition. The light reflected from the controlled surface is captured by the matrix of a digital camera. Visual analysis of the presented graphic interpretations of the obtained results on a straight line did not allow to find any deterministic or structural features distinguishing these signals. Moreover, purely visually, they look like the implementation of some random processes. Since the most complete characteristic of a random process is its distribution function, histograms were constructed, which are one-dimensional distribution laws of probability of amplitudes reflected from the controlled surfaces of signals, which, unlike the signals of the implementations themselves, already have some structural differences. The authors proposed a dictionary of signs that allows you to clearly distinguish surfaces with roughness and oxidation from clean and oiled surfaces. The authors substantiated that oiled and clean surfaces form intersecting areas, in particular, clean and oiled surfaces have a specular reflection, while oxidized and rough surfaces have a diffuse reflection. This circumstance made it possible to justify the demand for their division, the search for additional signs of recognition, or the development of a decisive rule, which made it possible to divide these classes according to a given criterion.

Key words: videoendoscopy, diagnosis, parameter, combine, control.