

**Швидун О.В.**  
Національний університет  
біоресурсів і  
природокористування  
України,  
м. Київ, Україна  
**E-mail:**  
shvydun@nubip.edu.ua

**АЛГОРИТМ ДІАГНОСТУВАННЯ  
ВІДЕОЕНДОСКОПІЄЮ  
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДЕФЕКТІВ  
АГРЕГАТІВ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ  
КОМБАЙНІВ**

<https://doi.10.5281/zenodo.15427955>

УДК 629.4

*Швидун О.В. Алгоритм діагностування відеоендоскопією експлуатаційних дефектів агрегатів зернозбиральних комбайнів.*

**Анотація.** Розкрито особливості розширеного впровадження діагностичного забезпечення зернозбиральних комбайнів, з одного боку, яке стимулюється неухильно зростаючими вимогами до надійності, а з іншого безпеки експлуатації зернозбиральних комбайнів. Метою дослідження було методичне обґрунтування алгоритму діагностування відеоендоскопією експлуатаційних дефектів агрегатів зернозбиральних комбайнів. Для розробки алгоритму діагностування об'єкта дослідження була використана інформація про зв'язок інформативних діагностичних ознак об'єкта і його структурних параметрів. Так само в основу розроблюваного порядку діагностування була покладена схема основних етапів діагностування механізмів з використанням системи відеоендоскопічного діагностування на базі прикладної програми «Діагност ВС», розроблена в Національному університеті біоресурсів і природокористування України.

**Ключові слова:** комбайн, відеоендоскопія, дефект, діагностування.

*Shvydun O.V. Algorithm for diagnosing operational defects of combine harvester units by videoendoscopy.*

**Abstract.** The article reveals the features of the expanded implementation of diagnostic support for combine harvesters, on the one hand, which is stimulated by steadily increasing requirements for reliability, and on the other hand, the safety of operation of combine harvesters. The purpose of the study was to methodologically substantiate the algorithm for diagnosing operational defects of combine harvester units by video endoscopy. To develop the algorithm for diagnosing the object of study, information about the relationship between informative diagnostic features of the object and its structural parameters was used. Similarly, the basis of the developed diagnostic procedure was a scheme of the main stages of diagnosing mechanisms using the video endoscopic diagnostic system based on the applied program "Diagnost VS", developed at the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine.

**Key words:** combine, videoendoscopy, defect, diagnosis.

### **Постановка проблеми**

Слід зазначити, що розширене впровадження діагностичного забезпечення зернозбиральних комбайнів [1], з одного боку, стимулюється неухильно зростаючими вимогами до надійності та безпеки експлуатації зернозбиральних комбайнів [2], але з

іншого боку, пов'язане з необхідністю вирішення низки проблем, пов'язаних з недостатньою вивченістю механізмів експлуатаційних пошкоджень [3], навантажених вузлів і деталей [4], відсутністю досить представницьких статистичних даних про кількісні та якісні характеристики експлуатаційних відмов [5], складністю отримання достовірних моделей технічного стану зернозбиральних комбайнів, недостатньою вивченістю характеру впливу можливих несправностей на параметри фізичних процесів, що супроводжують використання комбайнів за прямим призначенням, складністю адаптації традиційно застосовуваних методів неруйнівного контролю до умов безрозбірної діагностики зернозбиральних комбайнів в умовах аграрного виробництва [6], недостатньо розвиненою базою алгоритмічного та програмного забезпечення, браком спеціальних датчиків та вимірювальних приладів, відсутністю спеціального стендового обладнання для відпрацювання та випробування діагностичних методів, відсутністю системи підготовки кваліфікованих фахівців у галузі технічної діагностики, недостатнім рівнем фінансового та матеріального забезпечення [7].

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Сучасні засоби технічної діагностики передбачають використання широкого спектру фізичних явищ, реалізацію складних алгоритмів збирання, обробки, зберігання та подання інформації [8]. Тому достовірна оцінка технічного стану зернозбиральних комбайнів на стадії експлуатації передбачає використання відповідного діагностичного інструментарію [9], складовими частинами якого є інформаційне, методичне, алгоритмічне, програмне, апаратне та організаційне забезпечення [10]. У зв'язку з цим основні напрями досліджень спрямовані на розвиток математичних методів виділення та розпізнавання діагностичної інформації, створення ефективних вимірювальних приладів та комплексних систем збору [11], обробки та подання інформації, аналіз специфічних особливостей конструкцій та умов експлуатації зернозбиральних комбайнів та їх механізмів, вивчення типових руйнівних процесів та їх можливих наслідків, виділення вузлів, що лімітують безвідмовність та довговічність зернозбиральних комбайнів, пошук діагностичних ознак деградації технічного стану та синтез алгоритмів діагностування, орієнтованих на застосування тих чи інших методів та засобів діагностики [12].

### **Формулювання мети досліджень**

Метою дослідження є методичне обґрунтування алгоритму діагностування відеоендоскопією експлуатаційних дефектів агрегатів зернозбиральних комбайнів.

### **Методичний підхід в проведенні досліджень**

В результаті виконаних, і виконуваних, наукових робіт у зазначених вище напрямках на даний час на ринку представлена найширша номенклатура діагностичних приладів і систем, як вітчизняних, так і імпортованих, що відрізняються особливостями інформаційного, методичного, алгоритмічного, програмного та апаратного забезпечення, що мають різні принципи дії, функціональні можливості, метрологічні характеристики, сфери застосування, масогабаритні параметри, елементну базу, співвідношення ціни та якості тощо. Наприклад, тільки в області відеоендоскопічної діагностики можна нарахувати десятки фірм, що випускають сотні різних датчиків та приладів для вимірювання параметрів технічного стану. Аналогічно і з іншими видами діагностичних методів.

Цей достаток призвів до того, що на зміну проблеми подолання дефіциту діагностичних методик і приладів прийшла нова проблема – проблема вибору такого компонування діагностичного забезпечення, яке здатне забезпечити необхідний рівень контролю за придатністю конкретного типу обладнання. Вирішення цієї проблеми вимагає, як правило, проведення комплексу теоретичних та експериментальних досліджень, спрямованих на аналіз конструктивних особливостей та специфічних умов експлуатації агрегатів зернозбиральних комбайнів, аналіз умов навантаження та характерних експлуатаційних пошкоджень найбільш відповідальних вузлів та деталей, виділення можливих діагностичних ознак, визначення діагностичних методів та приладів, здатних функціонувати у процесі взаємодії з обладнанням, що діагностується, застосування методик порівняльного багатфакторного аналізу і критеріальної оцінки діагностичних можливостей різних варіантів компонування діагностичного забезпечення. Дана робота присвячена розробці та апробації методології проведення цих досліджень.

### Результати досліджень

Для розробки алгоритму діагностування об'єкта дослідження була використана інформація про зв'язок інформативних діагностичних ознак об'єкта і його структурних параметрів (рис. 1). Так само в основу розроблюваного порядку діагностування була покладена схема основних етапів діагностування механізмів з використанням системи відеоендоскопічного діагностування на базі прикладної програми «Діагност ВС», розроблена в Національному університеті біоресурсів і природокористування України (рис. 1).

БСВАД – бороскопічна система відеоендоскопічного діагностування технічного стану агрегатів зернозбиральних комбайнів – діагностична система, що забезпечує моніторинг технічного стану агрегатів зернозбиральних комбайнів, за допомогою використання інформації, що міститься у візуалізаційному сигналі агрегату, вмонтована в штатну (бортову) систему діагностування і виконує свої функції в режимі повсякденної експлуатації. БСВАД має наступні структурні частини: електронний блок (ЕБ), індикатор несправностей, аналізуючу апаратуру і з'єднувальні дроти.

ЕБ являє собою, що отримав велике поширення в автомобілях, контролер, який виконує функції запису інформації в довготривалу пам'ять (НД), БПФ, сигнатурний аналіз відео сигналу самодіагностики системи та її навчання.

Аналізуюча апаратура складається з відеоакселерометрів, каскаду передпідсилювачів сигналу і фільтрів, що дозволяють передавати на ЕБ придатний для подальшого використання вихідний аналоговий сигнал.

Індикатор несправностей являє собою лампу, розташовану на приладовій дошці комбайнера, яка інформує його про виникаючі несправності в БСВАД, алгоритм її роботи аналогічний алгоритму роботи лампи несправностей ДВЗ (Check Engine).

З'єднувальні дроти забезпечують зв'язок всіх структурних частин системи. Повинні бути виконані, згідно з існуючими вимогами до проводів відеовимірвальних комплексів. Розпізнавання технічних станів проводиться порівнянням відліків поточного відеоспектра з граничними значеннями, сформованими по еталонному спектру (рис. 2). Якщо значення (сигнатури) поточного спектра перевищують сигнатури маски еталонного спектра більше, ніж на допуск, передбачений програмою, то включається механізм реєстрації значень розбіжності поточного і еталонного спектрів, що свідчить про наявність дефектів.

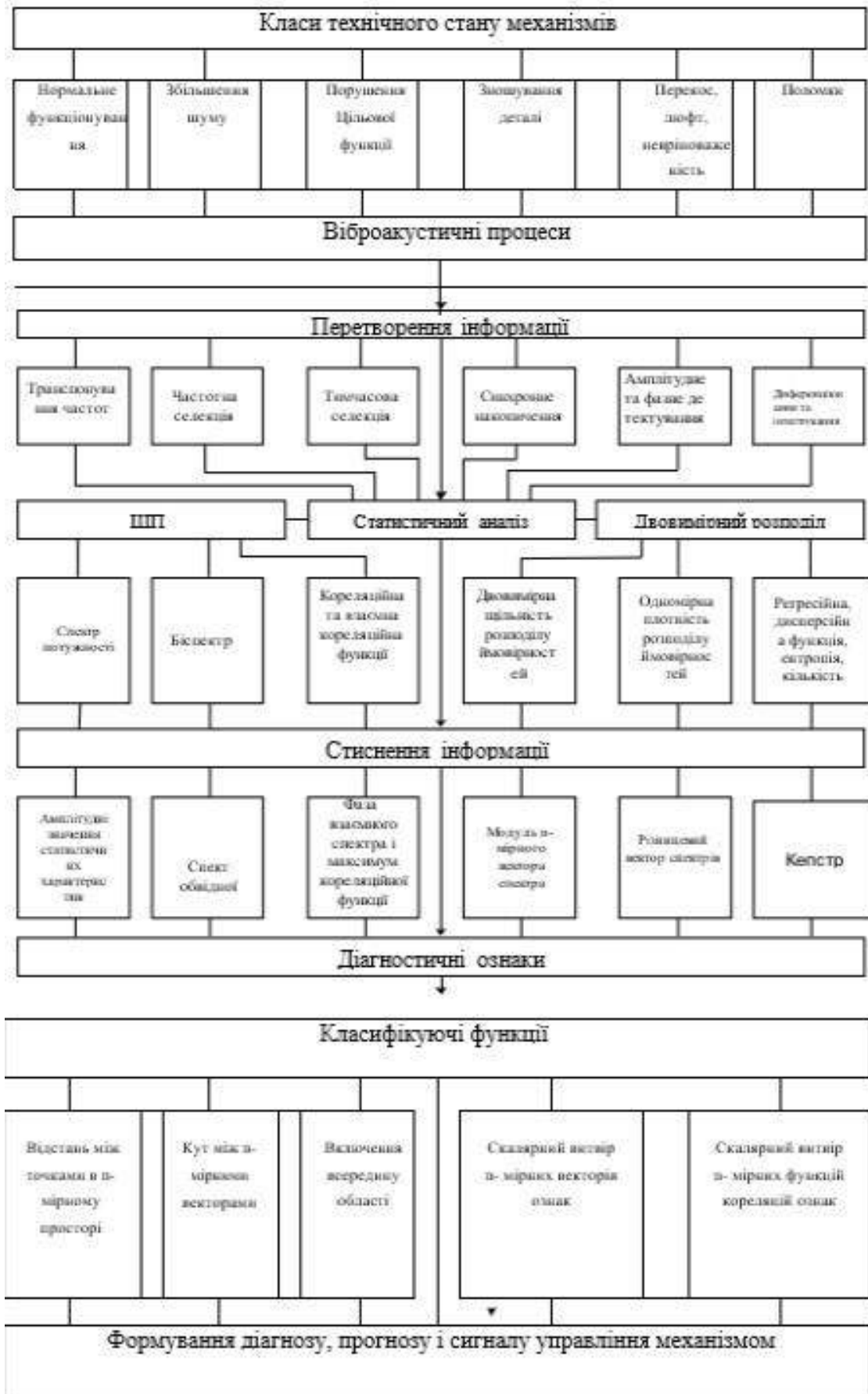


Рис. 1. Основні етапи відеоендоскопічного діагностування механізмів

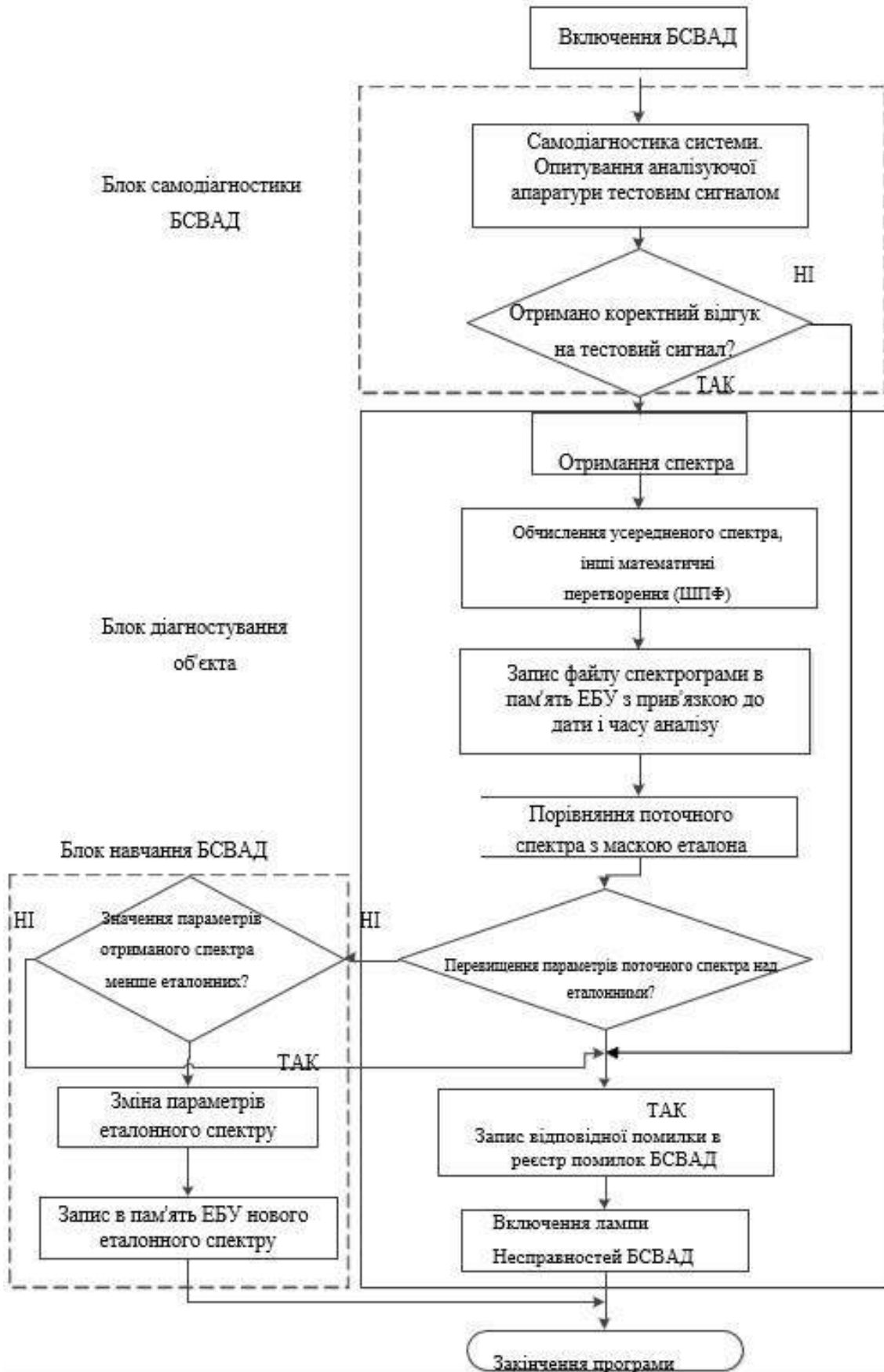


Рис. 2. Алгоритм роботи БСВАД

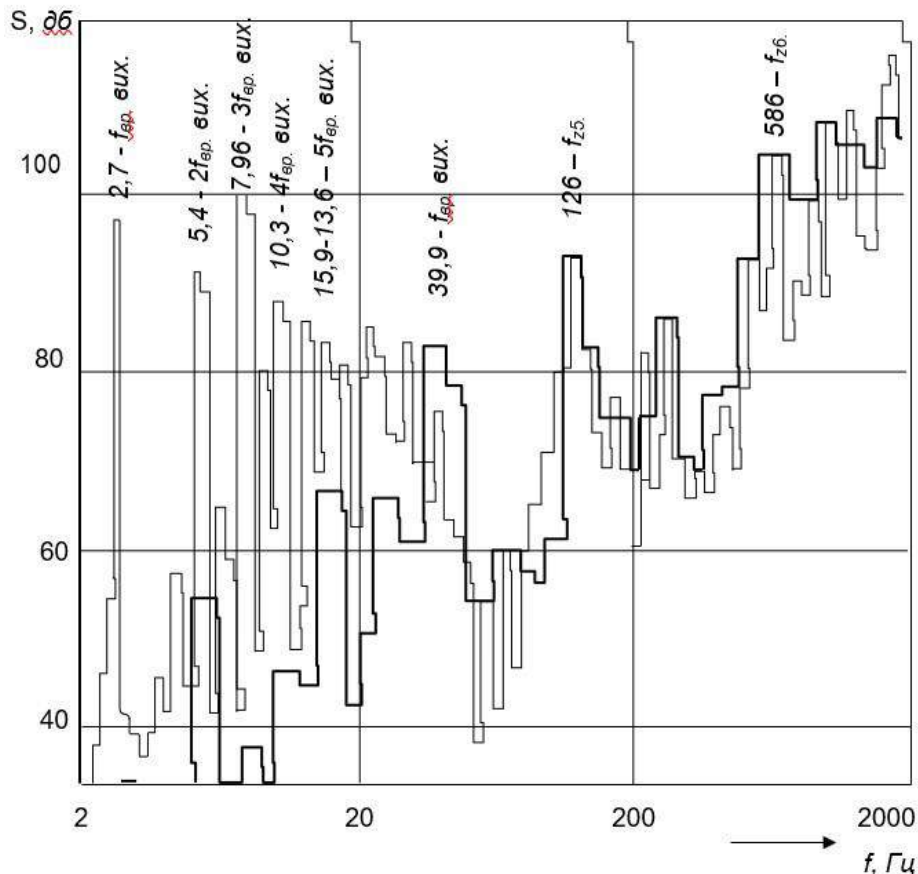


Рис. 3. Застосування алгоритму роботи БСВАД на основі сигнатурного аналізу: поточний спектр - тонка лінія; еталонний (опорний) спектр - жирна лінія.

Алгоритм роботи бортової системи відеоендоскопічного діагностування представлений на рис. 2. Зазначена програма складається з трьох основних модулів:

- Модуль самодіагностики - модуль протягом якого ЕБ надсилається тестовий сигнал на аналізуючу апаратуру. Працездатність системи визначається за отриманим зворотним сигналом.
- Модуль діагностування – власне, основний модуль протягом якого і відбувається процес відеоендоскопічного діагностування;
- Модуль навчання системи – протягом якого відбувається формування бази еталонів, щодо яких в подальшому відбувається постановка діагнозу діагностуючого об'єкту.

Перевищення граничних значень фіксується при порівнянні спектрів і заноситься до реєстру помилок відомості із зазначенням рівня перевищення (в відсотках від еталону) на відповідних частотах, в подальшому на підставі записаних даних проводиться локалізація дефекту. Виходячи з властивостей діагностичної моделі встановлюється поточний технічний стан об'єкта, що діагностується.

Графічне представлення результатів роботи запропонованого алгоритму представлено на рис. 3.

## Висновки

1. Зазначений алгоритм діагностування відеоендоскопією експлуатаційних дефектів агрегатів зернозбиральних комбайнів складається з трьох основних модулів:

- Модуль самодіагностики – модуль протягом якого ЕБ надсилається тестовий

сигнал на аналізуючу апаратуру. Працездатність системи визначається за отриманим зворотним сигналом.

- Модуль діагностування – власне, основний модуль протягом якого і відбувається процес відеоендоскопічного діагностування;

- Модуль навчання системи - протягом якого відбувається формування бази еталонів, щодо яких в подальшому відбувається постановка діагнозу діагностуючого об'єкту.

Перевищення граничних значень фіксується при порівнянні спектрів і заноситься до реєстру помилок відомості із зазначенням рівня перевищення (в відсотках від еталону) на відповідних частотах, в подальшому на підставі записаних даних проводиться локалізація дефекту. Виходячи з властивостей діагностичної моделі встановлюється поточний технічний стан об'єкта, що діагностується.

### Список використаних джерел

1. Aulin V., Rogovskii I., Lyashuk O., Tykhyi A., Kuzyk A., Dvornyk A., Derkach O., Lysenko S., Banniy O., Hrynkiv A. Revealing patterns of change in the tribological efficiency of composite materials for machine parts based on phenylone and polyamide reinforced with arimide-T and fullerene. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 3 (12 (129)). P. 6–19. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304719>.

2. Sheichenko V., Petrachenko D., Koropchenko S., Rogovskii I., Gorbenko O., Volianskyi M., Sheichenko D. Substantiating the rational parameters and operation modes for the hemp seed centrifugal dehuller. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 2 (1 (128)). P. 34–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300174>.

3. Aulin V., Rogovskii I., Lyashuk O., Titova L., Hrynkiv A., Mironov D., Volianskyi M., Rogatynskyi R., Solomka O., Lysenko S. Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on Harrington's desirability function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 1 (3 (127)). P. 37–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298567>.

4. Volokha M., Rogovskii I., Fryshev S., Sobczuk H., Virchenko G., Yablonskyi P. Modeling of transportation process in a technological complex of beet harvesting machines. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*. 2023. Vol. 10(2). P. F1–F9. [https://doi.org/10.21272/jes.2023.10\(2\).f1](https://doi.org/10.21272/jes.2023.10(2).f1).

5. Rogovskii I., Lyubarets B., Borek K. Analyticity of non-stationary processes of change in diagnostic parameters of hydrostatic transmissions of harvesters. *Machinery and Energetics*. 2022. Vol. 13. Issue 1. P. 67–76. <https://doi.org/10.31548/machenergy2022.01.067>.

6. Rogovskii I.L. Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. *Machinery and Energetics*. 2021. Vol. 12. Issue 1. P. 137–146. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137>.

7. Rogovskii I.L. Resource of removal expenses for strong agricultural period of volume of operations. *Machinery and Energetics*. 2021. Vol. 12. Issue 2. P. 123–131. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.123>.

8. Rogovskii I.L. Influence of operating failure of agricultural machines on efficiency of their machine use. *Machinery and Energetics*. 2021. Vol. 12. Issue 3. P. 157–166. <https://doi.org/10.31548/machenergy2022.03.157>.

9. Rogovskii I.L. Analyticity of complex criteria for evaluation of grain production in agricultural enterprises intensification of engineering management. *Machinery and Energetics*. 2021. Vol. 12. Issue 4. P. 129–138. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.04.129>.

10. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskiy M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R. Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4(7(112)). P. 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.

11. Myhailovych Y., Rogovskii I., Korobko M., Berezova L. Experimental studies of vibration load of synchronous threaded connections of grain harvester combines. *Engineering for Rural Development*. 2023. Vol. 22. P. 908–914. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF179>.

12. Zagurskiy O., Pokusa Z., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I. Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. 2020. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. ISBN 978-83-66567-13-9. 162 p.

### References

1. Aulin V., Rogovskii I., Lyashuk O., Tykhyi A., Kuzyk A., Dvornyk A., Derkach O., Lysenko S., Banniy O., Hrynkiv A. (2024). Revealing patterns of change in the tribological efficiency of composite materials for machine parts based on phenylone and polyamide reinforced with arimide-T and fullerene. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 3 (12 (129)). P. 6–19. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304719>.

2. Sheichenko V., Petrachenko D., Koropchenko S., Rogovskii I., Gorbenko O., Volianskyi M., Sheichenko D. (2024). Substantiating the rational parameters and operation modes for the hemp seed centrifugal dehuller. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 2 (1 (128)). P. 34–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300174>.

3. Aulin V., Rogovskii I., Lyashuk O., Titova L., Hrynkiv A., Mironov D., Volianskyi M., Rogatynskiy R., Solomka O., Lysenko S. (2024). Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on Harrington's desirability function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 1 (3 (127)). P. 37–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298567>.

4. Volokha M., Rogovskii I., Fryshev S., Sobczuk H., Virchenko G., Yablonskyi P. (2023). Modeling of transportation process in a technological complex of beet harvesting machines. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*. Vol. 10(2). P. F1–F9. [https://doi.org/10.21272/jes.2023.10\(2\).f1](https://doi.org/10.21272/jes.2023.10(2).f1).

5. Rogovskii I., Lyubarets B., Borek K. (2022). Analyticity of non-stationary processes of change in diagnostic parameters of hydrostatic transmissions of harvesters. *Machinery and Energetics*. Vol. 13. Issue 1. P. 67–76. <https://doi.org/10.31548/machenergy2022.01.067>.

6. Rogovskii I.L. (2021). Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. *Machinery and Energetics*. Vol. 12. Issue 1. P. 137–146. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137>.

7. Rogovskii I.L. (2021). Resource of removal expenses for strong agricultural period of volume of operations. *Machinery and Energetics*. Vol. 12. Issue 2. P. 123–131. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.123>.

8. Rogovskii I.L. (2021). Influence of operating failure of agricultural machines on efficiency of their machine use. *Machinery and Energetics*. Vol. 12. Issue 3. P. 157–166. <https://doi.org/10.31548/machenergy2022.03.157>.

9. Rogovskii I.L. (2021). Analyticity of complex criteria for evaluation of grain production in agricultural enterprises intensification of engineering management. *Machinery and Energetics*. Vol. 12. Issue 4. P. 129–138. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.04.129>.

04.129.

10. 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*. Vol. 4(7(112)). P. 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.

11. Myhailovych Y., Rogovskii I., Korobko M., Berezova L. (2023). Experimental studies of vibration load of synchronous threaded connections of grain harvester combines. *Engineering for Rural Development*. Vol. 22. P. 908–914. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF179>.

12. Zagurskiy O., Pokusa Z., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I. (2020). Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. ISBN 978-83-66567-13-9. 162 p.