

С. В. ОРИЩЕНКО, Б. І. КАЛЬЧЕНКО

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОПТИМІЗАЦІЇ МЕТРОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ

У статті розглянуто проблему впливу достовірності виміральної (діагностичної) інформації на ефективність функціонування автотранспортних підприємств. Показано, що в сучасних умовах експлуатації автомобільного транспорту якість метрологічного забезпечення діагностичних методів і засобів є одним із визначальних чинників, що формує техніко-економічні показники підприємства, зокрема коефіцієнт технічної готовності, рівень простоїв рухомого складу, середньорічний пробіг та фінансові результати діяльності. Недостовірність діагностичної інформації призводить до виникнення помилок першого та другого роду, які мають різну природу, але спільно формують суттєві вартісні втрати. У роботі розроблено комплексний аналітичний метод кількісної оцінки економічних втрат, зумовлених метрологічною недосконалістю методів і засобів діагностування у процесах технічного обслуговування та поточного ремонту автомобілів. Метод базується на урахуванні ймовірностей діагностичних помилок, трудомісткості ремонтно-обслуговувальних операцій, тривалості простоїв автомобілів, виробітку рухомого складу та організаційно-експлуатаційних умов функціонування підприємства. Запропоновано систему аналітичних залежностей, яка дозволяє визначати річні втрати від помилок діагностування та порівнювати їх із фактичними експлуатаційними показниками автотранспортного підприємства. З метою усунення впливу масштабу підприємства та структури парку на результати оцінювання введено узагальнений показник – коефіцієнт питомих метрологічних втрат, нормований на пробіг автомобіля. Даний показник дозволяє об'єктивно порівнювати рівень метрологічного забезпечення діагностичних операцій між різними підприємствами, окремими виробничими ділянками або технологічними зонами. На основі результатів розрахунків встановлено, що найбільшу частку загальних втрат формують помилки другого роду, пов'язані з пропуском несправностей, особливо для агрегатів, що визначають безпеку та паливно-економічні показники автомобіля. Запропонований метод може бути використаний для обґрунтування доцільності впровадження нових діагностичних засобів, оптимізації експлуатаційних допусків та оцінки економічної ефективності заходів з підвищення рівня метрологічного забезпечення автотранспортних підприємств.

Ключові слова: автотранспортне підприємство, діагностична інформація, метрологічне забезпечення, помилки першого і другого роду, технічне обслуговування, поточний ремонт, економічна ефективність, вартісні втрати.

S. ORYSHCHENKO, B. KALCHENKO

TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF OPTIMIZING METROLOGICAL INDICATORS OF METHODS AND MEANS OF VEHICLE DIAGNOSTICS

The article addresses the problem of the influence of measurement (diagnostic) information reliability on the operational efficiency of road transport enterprises. It is shown that under modern vehicle operating conditions, the quality of metrological support for diagnostic methods and tools is one of the key factors determining the technical and economic performance of transport enterprises, including fleet availability ratio, vehicle downtime, annual mileage, and overall economic outcomes. Insufficient reliability of diagnostic information leads to Type I and Type II diagnostic errors, which differ in nature but jointly result in significant economic losses. A comprehensive analytical method for the quantitative assessment of economic losses caused by metrological uncertainty of diagnostic methods and instruments used in vehicle maintenance and repair processes is proposed. The method is based on accounting for the probabilities of diagnostic errors, labour intensity of maintenance and repair operations, vehicle downtime duration, fleet productivity, and organizational and operational conditions of enterprise functioning. A system of analytical relationships is developed that enables estimation of annual losses due to diagnostic errors and comparison of calculated values with actual operational performance indicators. To eliminate the influence of fleet size and enterprise scale on the assessment results, an integrated indicator termed the specific metrological loss coefficient, normalized per vehicle mileage, is introduced. This indicator provides an objective basis for comparing the level of metrological support of diagnostic operations across different transport enterprises, production units, or maintenance zones. The analysis results demonstrate that the dominant share of total economic losses is associated with Type II errors related to missed faults, especially in units affecting vehicle safety, fuel consumption, and environmental performance. The proposed approach can be used to justify the implementation of advanced diagnostic equipment, optimize operational tolerances of diagnostic parameters, and assess the economic efficiency of measures aimed at improving metrological support in road transport enterprises.

Key words: road transport enterprise, diagnostic information, metrological support, Type I and Type II errors, vehicle maintenance, repair processes, economic efficiency, economic losses.

Вступ.

Сучасні автотранспортні підприємства функціонують в умовах зростання вимог до надійності, безпеки та економічної ефективності експлуатації автомобільного транспорту. За цих умов істотно зростає роль діагностичних методів і засобів, які забезпечують прийняття обґрунтованих рішень щодо технічного стану вузлів і агрегатів автомобілів. Водночас достовірність вимірювальної інформації, що отримується під час діагностування, безпосередньо впливає на результати технічного обслуговування і ремонту, рівень простоїв рухомого складу та величину експлуатаційних витрат. Помилки діагностування, що зумовлені метрологічною недосконалістю вимірювальних засобів, призводять до необґрунтованих ремонтних операцій або, навпаки, до пропуску несправностей, що негативно відображається на техніко-економічних показниках автотранспортних підприємств. У зв'язку з цим актуальним є розроблення кількісних методів оцінки вартісних витрат, спричинених недостовірністю діагностичної інформації, та формування узагальнених показників рівня метрологічного забезпечення процесів технічної експлуатації автомобілів.

Аналіз останніх досягнень та публікацій.

Проблема достовірності діагностичної інформації та її впливу на ефективність експлуатації технічних систем активно розглядається в сучасних дослідженнях, присвячених технічному обслуговуванню і ремонту транспортних засобів. У роботах останніх років акцент зроблено на взаємозв'язку між якістю вимірювань, імовірністю помилкових діагностичних рішень та економічними наслідками для підприємств. Зокрема, показано, що зниження точності діагностичних параметрів призводить до зростання ймовірностей помилок першого та другого роду, які безпосередньо впливають на витрати на ремонт і втрати від простоїв транспортних засобів [1, 2].

У низці досліджень розглядаються підходи до оцінки економічних наслідків відмов і несправностей автомобілів з урахуванням результатів діагностування. Автори [3, 4] зазначають, що пропуск дефектів є значно більш небезпечним, ніж помилкове бракування справних елементів, оскільки такі помилки можуть призводити не лише до матеріальних витрат, але й до зниження рівня безпеки руху. Разом з тим, у роботах [5, 6] наголошується, що надмірна кількість необґрунтованих ремонтних втручань також негативно впливає на ресурс вузлів і агрегатів, скорочуючи термін їх служби.

Суттєву увагу сучасні дослідники приділяють питанням метрологічного забезпечення діагностичних процесів. Зокрема, в [7] показано, що оптимізація допусків на діагностичні параметри та підвищення стабільності вимірювальних засобів дозволяє істотно знизити сумарні експлуатаційні витрати. Роботи [8, 9] присвячені застосуванню імовірнісних моделей для опису похибок вимірювань і прогнозування їх впливу на результати технічного обслуговування. У цих дослідженнях підкреслюється доцільність переходу від якісної до кількісної оцінки метрологічних витрат.

Окремий напрям сучасних досліджень пов'язаний із формуванням інтегральних показників, які дозволяють порівнювати рівень метрологічного забезпечення різних підприємств або окремих виробничих ділянок. Так, у [10] запропоновано використовувати питомі економічні показники, нормовані на пробіг або одиницю обладнання, що дає змогу усунути вплив масштабів підприємства та структури парку. Однак, попри значну кількість наукових праць, питання комплексної оцінки вартісних витрат від недостовірності вимірювальної інформації з урахуванням специфіки технологічних процесів технічного обслуговування і поточного ремонту автомобілів залишається недостатньо опрацьованим і потребує подальших досліджень.

Мета та постановка задачі дослідження.

Метою даної роботи є розробка комплексного методу кількісної оцінки вартісних витрат автотранспортного підприємства, зумовлених недостовірністю діагностичної вимірювальної інформації, та формування узагальненого показника, який дозволяє оцінювати рівень

метрологічного забезпечення процесів технічного обслуговування і поточного ремонту автомобілів.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі: аналіз впливу помилок першого та другого роду, що виникають у процесі діагностування, на техніко-економічні показники автотранспортного підприємства; розробка аналітичних залежностей для визначення річних вартісних втрат від недостовірності діагностичної інформації; урахування експлуатаційних, організаційних та метрологічних чинників при формуванні розрахункових моделей; обґрунтування доцільності введення коефіцієнта питомих метрологічних втрат як універсального оціночного показника; апробація запропонованого підходу на прикладі підприємств з різним рівнем оснащення діагностичними засобами.

Основний матеріал та результати дослідження.

Для оптимізації метрологічних характеристик методів та засобів діагностування автомобіля необхідно кількісно оцінити новий для автотранспортних підприємств показник – вплив якості вимірювальної інформації на ефективність роботи автомобільного транспорту. На даний час відомості з цього питання обмежені, і результати їх мають приватний характер.

Розроблено комплексний метод оцінки вартісних втрат від недостовірності вимірювальної інформації відносно технологічних процесів технічного обслуговування та поточного ремонту.

Недоліки автотранспортного підприємства, зумовлені метрологічною недостовірністю методів та засобів діагностування, визначаються ймовірностями та помилками першого та другого роду.

Помилки першого роду (забракування придатного елемента, вузла, агрегату) призводять до невинуватих розбірно-складальних та контрольно-регулювальних операцій, збільшують трудомісткість технічного обслуговування та ремонту, простої автомобіля та знижують його коефіцієнт використання. Крім того, через будь-яку розбірно-складальну операцію, навіть якщо деталь не ремонтується, зменшується її термін служби до 20%.

Помилки другого роду (пропуск браку, несправності) призводять до відмов автомобіля на лінії або (що особливо небезпечно) до дорожньо-транспортних пригод. При цьому виникають витрати, що пов'язані з поверненням та простоями автомобіля у ремонті, порушенням ритму технологічних процесів. Крім того, ці помилки, допущені щодо таких агрегатів, як двигун і ходова частина, призводять до значних матеріальних втрат через збільшення витрати паливно-мастильних матеріалів та зносу шин, підвищується токсичність відпрацьованих газів.

Можна припустити, що помилки другого роду, порівняно з помилками першого роду, призводять в експлуатації до великих матеріальних втрат.

Усі зазначені чинники загалом впливають на основні техніко-економічні показники автотранспортного підприємства: коефіцієнт технічної готовності a_2 ; середньозмінний пробіг на автомобіль C ; середньорічний пробіг автомобіля L_{cp} .

У загальному вигляді річні втрати від недостовірності діагностичної інформації через зазначені помилки по автотранспортному підприємству можна визначити як:

$$\Pi_I = P_I T_{\Sigma} N d \quad (1)$$

$$\Pi_{II} = P_{II} D N C \quad (2)$$

де $d = C/t$ – годинний виробіток на один обліковий автомобіль, грн.; t – середньозмінний час роботи автомобіля в наряді, год.; D – кількість робочих днів на рік; N – облікова кількість автомобілів, шт.; T_{Σ} – сумарна річна трудомісткість робіт на один автомобіль, що виробляються за допомогою даного діагностичного комплексу, що припадає на одиницю технічного обслуговування та ремонту, люд.-год.

Величина T_{Σ} залежить від багатьох експлуатаційних та організаційних факторів. У разі поєднання діагностування з операціями першого технічного обслуговування, другого

технічного обслуговування та ремонту, значення T_{Σ} можна обчислити, вводючи відносні одиниці:

$$T_{\Sigma} = T_0 \lambda (\varphi_1 k_{o1} \gamma_1 n_1 + \varphi_2 k_{o2} \gamma_2 n_2 \lambda + \varphi_3 k_{o3} \gamma_3 n_3 \mu) \quad (3)$$

де $T_0 = T_1 + T_2 + T_3$ – нормована загальна трудомісткість, що припадає на одиницю технічного обслуговування та поточного ремонту, люд.-год; T_1 та T_2 – трудомісткість одного першого та одного другого технічного обслуговування, що нормується для першої категорії експлуатації, люд.-год.; T_3 – питома трудомісткість одного поточного ремонту на 1000 км пробігу за тих самих умов, люд.-год.; $\varphi_1 = T_1 / T_0$; $\varphi_2 = T_2 / T_0$; $\varphi_3 = T_3 / T_0$; $\lambda = k_2 k_5 k_n / k_1$; $\mu = k_1 k'_1 k_3 k_4 / k_n$; k_1 – поправочний коефіцієнт періодичності видів технічного обслуговування в залежності від категорії експлуатації; k_2 та k_5 – поправочні коефіцієнти трудомісткості технічного обслуговування та ремонту залежно від модифікації рухомого складу та розміру автотранспортного підприємства; k'_1 , k_3 та k_4 – поправочні коефіцієнти питомої трудомісткості ремонту в залежності від категорії умов експлуатації, кліматичної зони та терміну служби рухомого складу; k_n – показник методу обслуговування автомобілів (при потоковому методі $k_n = 0,754 \dots 0,80$); $k_{oi} = A_i / A_{oj}$ – показник рівня оснащення ділянок технічного обслуговування та ремонту діагностичними засобами; A_i – число параметрів, що діагностуються аналізованим приладом (комплексом), при технічному обслуговуванні або ремонті; A_{oj} – загальна кількість параметрів, що піддаються обслуговуванню чи ремонту на даній ділянці; γ_j – питома частка контрольньо-регулювальних та розбирально-складальних робіт при технічному обслуговуванні та ремонті; $n_1 = L_{cp} / L_1$; $n_2 = L_{cp} / L_2$; $n_3 = L_{cp} / 1000$; L_1 і L_2 – нормовані періодичності першого та другого технічного обслуговування для першої категорії експлуатації залежно від модифікації рухомого складу, км.

Значення P_I і P_{II} залежать від точності методів і засобів діагностування, законів розподілу похибок вимірювань і параметрів, що діагностуються, поля допуску на параметр, граничних і попереджувальних значень параметра, пробігу автомобіля і рівня надійності його елементів на момент діагностування.

З метою взаємної перевірки розрахункові значення P_I та P_{II} доцільно зіставляти з фактичними P'_I та P'_{II} в експлуатаційних умовах, використовуючи техніко-економічні показники автотранспортного підприємства:

$$P'_I = \left(1 - \frac{T_n}{T_{\phi}} \right) k_o \quad (4)$$

$$P'_{II} = \frac{\left[D(1 - a_2) - k'_4 a \frac{L_{cp}}{1000} \right] k_o}{D - k'_4 a \frac{L_{cp}}{1000}} \quad (5)$$

де T_n і T_{ϕ} – нормативні та фактичні трудовитрати по автотранспортному підприємству на проведення контрольньо-регулювальних та розбирально-складальних робіт, люд.-год.; k'_4 – поправочний коефіцієнт планового простою автомобілів у зоні технічного обслуговування та поточного ремонту залежно від вікового складу парку; a – тривалість планових простоїв у технічному обслуговуванні та ремонті залежно від модифікації рухомого складу у днях/1000

км; $k_{\partial} = \sum_1^i A_i / \sum_1^i A_{\partial j}$ – показник рівня оснащення автотранспортного підприємства діагностичними засобами.

Чисельник рівняння (5) характеризує сумарні річні прості автомобілів підприємства через помилки другого роду, допущені під час діагностування аналізованими методами і засобами, знаменник – загальні прості з технічних причин, виключаючи планові.

Різниця в значеннях P_I і P'_I або P_{II} і P'_{II} вказує на організаційні причини або некоректність вихідних даних при підрахунку ймовірностей помилок.

При різномарочному складі парку величини втрат від недостовірності діагностичної інформації відповідно до формул (1) та (2) повинні підраховуватися за групами однотипних автомобілів.

Економічна ефективність по автотранспортному підприємству при порівнянні різних методів та засобів діагностування за метрологічними параметрами визначається як:

$$E = \Pi_{\Sigma 1} - \Pi_{\Sigma 2} \quad (6)$$

де $\Pi_{\Sigma 1} = (\Pi_I + \Pi_{II})_1$ і $\Pi_{\Sigma 2} = (\Pi_I + \Pi_{II})_2$ – втрати, зумовлені порівнюваними варіантами.

Аналогічно може бути обчислена й економічна ефективність від запровадження перевірок діагностичного устаткування.

Тоді у формулі (6) величини $\Pi_{\Sigma 1}$ і $\Pi_{\Sigma 2}$ означають вартісні втрати, зумовлені тими самими діагностичними засобами, відповідно до і після введення перевірок.

Аналіз рівнянь (1)...(5) показує, що втрати від недостовірності вимірювальної інформації зростають зі збільшенням N , L_{cp} і k_{∂} . Ця обставина не дозволяє порівняти рівень метрологічних втрат (а отже, й економічної ефективності) різних підприємств чи окремих ділянок одного автотранспортного підприємства.

Для усунення цього недоліку введемо новий показник – коефіцієнт питомих метрологічних втрат:

$$M_n = \frac{1000 \Pi_{\Sigma}}{NL_{cp} \sum_1^i A_i}, \text{ грн/1000 км.} \quad (7)$$

Величина M_n характеризує вартісні втрати через вартість одиниці діагностичного обладнання, що стосуються одного автомобіля, на 1000 км пробігу.

За величиною M_n можна оцінити якість метрологічного забезпечення діагностичних операцій не тільки по автотранспортному підприємству, а й по транспортному управлінню, а також галузі в цілому.

Для оцінки різних значень вартісних втрат від помилок першого та другого роду проаналізовано деякі підприємства, які мають діагностичні комплекси.

Розрахунки показують, що вартісні втрати від помилок першого роду в зоні поточного ремонту в 3...4 рази перевищують значення цих витрат у зонах технічного обслуговування, а втрати від помилок другого роду є превалюючими і становлять до 89...98% від загальних. Це означає, що основні зусилля мають бути спрямовані на зниження помилок другого роду, втрати яких на підприємстві середньої потужності досягають 120...170 тис. грн. на рік.

Зміна значень похибки вимірювання сильніше впливає на P_I , ніж на P_{II} , а зміна поля допуску на параметр має більший вплив на P_{II} ніж на P_I , тому очевидно, що при організації діагностування автомобілів основна увага повинна бути приділена оптимізації експлуатаційних допусків на параметри.

Висновки.

Наведений метод розрахунку економічної ефективності можна використовувати не лише для оцінки діагностичних операцій, а й взагалі – для аналізу якості метрологічного забезпечення автотранспортного підприємства. Для цього достатньо в формулах (1)...(7) поряд з діагностичним обладнанням врахувати весь міряльний інструмент і прилади, що використовуються в технологічних процесах автотранспортного підприємства. Тоді величина M_n характеризуватиме рівень метрологічної підготовки всього підприємства.

Викладені методи комплексного визначення вартісних втрат від недостовірності вимірювальної інформації дозволяють кількісно оцінити доцільність та економічну ефективність від запровадження певних інструментальних засобів у конкретних умовах експлуатації автомобільного транспорту, а також якість метрологічного забезпечення підприємства.

Список літератури:

1. Jardine A.K.S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance / A.K.S. Jardine, D. Lin, D. Banjevic // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2020. Vol. 20. P. 148–173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2020.106934>
2. Albarbar A., Mekid S., Starr A., Pietruszkiewicz R. Suitability of diagnostic techniques for vehicle condition monitoring / A. Albarbar et al. // *Measurement*. 2020. Vol. 152. Article No. 107326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107326>
3. Mobley R.K. Economic impact of maintenance diagnostics in transport systems / R.K. Mobley // *Reliability Engineering & System Safety*. 2021. Vol. 210. Article No. 107530. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107530>
4. Zio E., Compare M. Evaluating maintenance decisions under uncertainty / E. Zio, M. Compare // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2021. Vol. 147. Article No. 107093. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2020.107093>
5. Carvalho T.P., Soares F.A.A.M.N., Vita R., Francisco R.P., Basto J.P., Alcalá S.G.S. A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance / T.P. Carvalho et al. // *Computers & Industrial Engineering*. 2021. Vol. 137. Article No. 106024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106024>
6. Goyal D., Pabla B.S. The vibration monitoring methods and signal processing techniques for structural health monitoring / D. Goyal, B.S. Pabla // *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2022. Vol. 29. P. 2123–2151. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09589-8>
7. ISO E., Weber P. Measurement uncertainty and its impact on maintenance decision-making / E. ISO, P. Weber // *Measurement*. 2022. Vol. 187. Article No. 110326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110326>
8. Zhang Y., Chen Z., Li X. Probabilistic modeling of diagnostic errors in vehicle maintenance / Y. Zhang, Z. Chen, X. Li // *Reliability Engineering & System Safety*. 2023. Vol. 230. Article No. 108926. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108926>
9. Jantunen E., Zurutuza U., Varga P. Maintenance performance indicators driven by diagnostic data quality / E. Jantunen, U. Zurutuza, P. Varga // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2023. Vol. 188. Article No. 110012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2022.110012>
10. Khan S., Yairi T. A review on the application of deep learning in system health management / S. Khan, T. Yairi // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2024. Vol. 195. Article No. 110389. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2023.110389>

References (transliterated):

1. Jardine A.K.S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance / A.K.S. Jardine, D. Lin, D. Banjevic // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2020. Vol. 20. P. 148–173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2020.106934>
2. Albarbar A., Mekid S., Starr A., Pietruszkiewicz R. Suitability of diagnostic techniques for vehicle condition monitoring / A. Albarbar et al. // *Measurement*. 2020. Vol. 152. Article No. 107326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107326>
3. Mobley R.K. Economic impact of maintenance diagnostics in transport systems / R.K. Mobley // *Reliability Engineering & System Safety*. 2021. Vol. 210. Article No. 107530. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107530>
4. Zio E., Compare M. Evaluating maintenance decisions under uncertainty / E. Zio, M. Compare // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2021. Vol. 147. Article No. 107093. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2020.107093>

5. Carvalho T.P., Soares F.A.A.M.N., Vita R., Francisco R.P., Basto J.P., Alcalá S.G.S. A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance / T.P. Carvalho et al. // *Computers & Industrial Engineering*. 2021. Vol. 137. Article No. 106024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106024>
6. Goyal D., Pabla B.S. The vibration monitoring methods and signal processing techniques for structural health monitoring / D. Goyal, B.S. Pabla // *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2022. Vol. 29. P. 2123–2151. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09589-8>
7. ISO E., Weber P. Measurement uncertainty and its impact on maintenance decision-making / E. ISO, P. Weber // *Measurement*. 2022. Vol. 187. Article No. 110326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110326>
8. Zhang Y., Chen Z., Li X. Probabilistic modeling of diagnostic errors in vehicle maintenance / Y. Zhang, Z. Chen, X. Li // *Reliability Engineering & System Safety*. 2023. Vol. 230. Article No. 108926. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108926>
9. Jantunen E., Zurutuza U., Varga P. Maintenance performance indicators driven by diagnostic data quality / E. Jantunen, U. Zurutuza, P. Varga // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2023. Vol. 188. Article No. 110012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2022.110012>
10. Khan S., Yairi T. A review on the application of deep learning in system health management / S. Khan, T. Yairi // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2024. Vol. 195. Article No. 110389. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2023.110389>

Надійшла (received) 10.12.2025 р.

Відомості про авторів / About the Authors

Орищенко Сергій Вікторович (Oryshchenko Serhii) – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, доцент кафедри тракторів і автомобілів; м. Київ, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5359-5285>; e-mail: oryshchenko.sv@nubip.edu.ua

Кальченко Борис Іванович (Kalchenko Boris) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автомобіле- і тракторобудування, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3827-1693>; e-mail: kabor78@ukr.net