

**ДІАГНОСТУВАННЯ ДЕФЕКТІВ РОТОРІВ СУДНОВИХ
ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ З РОЗБАЛАНСУВАННЯМ,
ПІД ЧАС ЇХНЬОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

В.І. Свиридов¹, Н.Б. Андрєєва², О.І. Соломенцев³

¹к.т.н., доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики, Херсонський
навчально-науковий інститут,

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Херсон, Україна

ORCID ID: 0000-0002-4841-7935

²к.п.н., доцент кафедри теплотехніки, Херсонський навчально-науковий інститут,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,

м. Херсон, Україна

ORCID ID: 0009-0007-8427-3207

³д.т.н., професор кафедри суднового машинобудування та енергетики,
Херсонський навчально-науковий інститут,

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Херсон, Україна

ORCID ID: 0000-0002-5106-6486

Анотація

Вступ. Ротор – це один з основних елементів суднових механізмів, таких як електричні машини різних типів, турбіни, компресори, насоси, якірно-швартові пристрої тощо. Від вчасного виявлення дефектів та несправностей роторів залежить ефективна та безвідмовна експлуатація суднової енергетичної установки та судна в цілому. Розбалансування, розцентрування, порушення цілності посадки окремих вузлів ротора, що відбуваються під дією тривалого впливу змінних сил, призводять до збільшення вібрації та ймовірності відмови усього устаткування. Тому питанням діагностування технічного стану роторів приділяється велика увага. Таким чином, актуальність даного дослідження зумовлена активним впровадженням концепцій надійності та безпеки судноплавства, а також появою сучасних методів діагностування основних вузлів суднового насосного устаткування. **Мета.** Дана стаття, яка має оглядовий характер, розширює уявлення про насосне устаткування як об'єкт діагностування за параметрами вібрації. Основною її метою є системний аналіз існуючих методів діагностики суднових насосів і, зокрема, роторів, а також визначення переваг та обмежень цих методів в умовах морської експлуатації. **Результати.** Основним дефектом ротора є його неврівноваженість. Під неврівноваженістю ротора, який розглядається як абсолютно тверде тіло, розуміється відхилення, а саме розбіжність його головної центральної осі інерції і осі обертання. Залежно від розподілу мас будь-якого ротора при його обертанні розрізняють виникнення неврівноваженості трьох видів: статичної, моментної, динамічної. Найбільш небезпечною є динамічна неврівноваженість ротора, яка характеризується наявністю одночасно статичної та моментної його неврівноваженостей. При обертанні



неврівноваженого ротора відцентрові сили, що виникають, створюють змінні тиски на його опори (через підшипники). Саме тому завдання балансування ротора полягає в досягненні такого розподілу коригувальних мас на роторі, при якому вібрації опор не перевищуватимуть норм, що допускаються, у всьому діапазоні частот обертання ротора (від нуля до робочої частоти обертання). **Висновки.** Першим етапом оцінювання технічного стану підшипників та інших вузлів і деталей суднового насосного устаткування за параметрами їх вібрації має бути визначення ступеня нерівноваженості ротора. На підставі виконаного аналізу представлені прикладні рекомендації щодо підвищення ефективності технічного моніторингу суднового насосного обладнання.

Ключові слова: суднове устаткування, відцентровий насос, ротор, ось інерції, маса ротора, розцентрування, вібрація, нерівноваженість.

DIAGNOSIS OF ROTOR DEFECTS OF MARINE CENTRIFUGAL PUMPS RELATED TO UNBALANCE DURING THEIR OPERATION

V.I. Svyrydov¹, N.B. Andriieva², O.I. Solomyentsev³

¹Ph.D., Associate Professor at the Department of Ship Engineering and Power Engineering,
Kherson Educational and Research Institute,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-4841-7935

²Ph.D., Associate Professor at the Department of Heat Engineering,
Kherson Educational and Research Institute,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine
ORCID ID: 0009-0007-8427-3207

³Doctor of Science, Professor at the Department of Ship Engineering and Power Engineering,
Kherson Educational and Research Institute,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-5106-6486

Summary

Introduction. The rotor is one of the main elements of ship mechanisms, including electrical machines of various types, turbines, compressors, pumps, anchor and mooring devices, among others. The practical and trouble-free operation of the ship's power plant and the ship as a whole depends on the timely detection of defects and malfunctions of the rotors. Unbalance, misalignment, and poor fit of individual rotor components, which occur under the influence of prolonged alternating forces, lead to increased vibration and the likelihood of failure of the entire equipment. Therefore, much attention is paid to diagnosing the technical condition of rotors. Thus, the relevance of this study lies in the active implementation of concepts of ship reliability and safety, as well as the emergence of modern methods for diagnosing the main nodes of ship pumping equipment. **Purpose.** This article, which is a review, extends the idea of using vibration parameters for diagnosing pumping equipment. Its main goal is to systematically analyze existing methods for diagnosing ship pumps, particularly rotors, and to determine their advantages and limitations in marine operations. **Results.** The primary defect of the rotor is its imbalance. The imbalance of the rotor, which is considered an absolutely solid body, is understood as a deviation, namely, the divergence of its main central axis of inertia from the axis of rotation. Depending on the distribution

*of masses of any rotor during its rotation, three types of imbalance are distinguished: static, momentary, and dynamic. The most dangerous is the dynamic imbalance of the rotor, characterized by the presence of both static and moment imbalances. When the unbalanced shaft rotates, the centrifugal forces that arise create variable pressures on its supports (through bearings). That is why the task of balancing the rotor is to achieve a distribution of corrective masses on the rotor that prevents the vibrations of the supports from exceeding the permissible norms over the entire range of rotor rotation frequencies (from zero to the operating speed). **Conclusions.** The first stage in assessing the technical condition of bearings and other components and parts of ship pumping equipment, based on their vibration parameters, is to determine the degree of rotor unbalance. Based on the analysis, the following recommendations are presented to increase the efficiency of technical monitoring of ship pumping equipment.*

Key words: ship equipment, centrifugal pump, rotor, axis of inertia, rotor mass, misalignment, vibration, unbalance.

Вступ

Надійність функціонування суднових допоміжних систем безпосередньо залежить від ефективності діагностики насосного обладнання, у першу чергу, роторів. Ротор – це основна частина механізму, що обертається, яка є в різних суднових пристроях, таких як електричні машини, турбіни, компресори, насоси, а також у багатьох інших механізмах. Його основна функція полягає в перетворенні механічної, електричної або інших форм енергії в обертальний рух. Ротор може бути виконаний у різних формах і розмірах залежно від конкретного застосування, а його конструкція часто залежить від типу двигуна чи машини, в якій його конструктивно планують використовувати [1].

Робота ротора ґрунтується на двох складових, на принципах механічних і динамічних сил, а при обертанні ротора виникають потужні відцентрові сили. Ці сили впливають на опори ротора, й останньою точкою прикладених сил є підшипники опор ротора. Незалежно від того, чи є вони шарикопідшипниками чи підшипниками ковзання, саме ці вузли сприймають збільшені навантаження, що призводить до зменшення поверхневої плівки на тілі підшипника та викликає тимчасове поверхнєве нагрівання підшипника. Як результат, відбувається погіршення експлуатаційних показників підшипникового вузла, що в кінці кінців може спричинити його руйнування.

Актуальність дослідження зумовлена впровадженням концепцій надійності та безпеки судноплавства, а також використанням сучасних методів діагностування основних вузлів насосного устаткування.

Метою статті є системний аналіз існуючих методів діагностики суднових насосів, і зокрема ротора, та визначення їх переваг та обмежень в умовах морської експлуатації, а також формування прикладних рекомендацій щодо підвищення ефективності технічного моніторингу насосного обладнання. Методологія проведення дослідження передбачала критичний огляд літератури із подальшою класифікацією та порівняльним аналізом методів діагностики за критеріями точності, оперативності, адаптивності та інтеграції у суднові системи. Розглянуто як традиційні (вібраційний, тепловий, параметричний контроль тощо), так і сучасні

підходи, зокрема методи на основі використання технологій штучного інтелекту.

Постановка проблеми

Розбалансування, розцентрування, порушення щільності посадки окремих вузлів ротора відбуваються під дією тривалого впливу змінних сил, які впливають на підшипники опор, що є головним критерієм роботоздатності насосного устаткування, і призводять до збільшення вібрації [2].

При розцентруванні та прогинанні ротора значно збільшується вібрація на другій гармоніці частоти обертання, при ослабленні щільності посадки вузлів ротора в підшипниковому вузлі, та загальному ослабленні кріпильних деталей у спектрі вібрації машини зазвичай проявляються гармоніки кратності $1/2$; $1\ 1/2$; $2\ 1/2$ і т.п. [3; 4].

Ось чому завжди потрібно приділяти увагу врівноваженості усіх цих сил, які виникають при обертанні ротора [5–7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У вітчизняній і зарубіжній науковій літературі накопичено значний масив досліджень, присвячених питанням діагностики та надійності суднових технічних систем та устаткування [8–11]. Зокрема, С. Тараненко та С. Голубєва розглянули використання логіко-ймовірнісного підходу «дерева відмов» для аналізу надійності електродвигунів, які є складовими насосних агрегатів, проте не охоплюють увесь спектр характеристик насоса як об'єкта діагностики [10]. Подібна тематика розглядається і в публікаціях даних авторів, де головна увага приділена загальним показникам надійності електричних систем [2; 5; 6; 12; 13].

Актуальним напрямом при діагностуванні дефектів роторів суднових допоміжних механізмів є застосування інтелектуальних систем на основі математичних моделей і машинного навчання. У цьому аспекті заслуговують на увагу праці О. Шарка (O. Sharko) та А. Яненка (A. Yanenko), які моделюють програмне забезпечення діагностики на базі ланцюгів Маркова [14].

Але аналіз літератури свідчить про відсутність комплексного підходу до аналізу насосів, у першу чергу відцентрових, як окремої групи допоміжного обладнання, що вказує на актуальність подальших досліджень у вказаній тематиці.

Формулювання завдань статті

Для досягнення поставленої мети в межах статті вирішуються такі основні завдання:

- 1) дослідити типові методи діагностики, які застосовуються в практиці технічного обслуговування суднових насосів;
- 2) проаналізувати переваги та недоліки методів діагностики судових насосів у контексті умов експлуатації на флоті, враховуючи критерії точності, оперативності, адаптивності та технологічної інтеграції;
- 3) запропонувати рекомендації щодо вдосконалення діагностики суднових насосів для підвищення ефективності превентивного технічного обслуговування у складі суднових допоміжних систем.

Виклад основного матеріалу

Технічне обслуговування суднових насосів спирається на широкий спектр методів контролю їхнього стану. Вібраційний аналіз наразі визнаний ключовим інструментом для раннього виявлення механічних дефектів насосів (небаланс, зношення підшипників тощо) та є найбільш розповсюдженим видом діагностики

насосного агрегату. Це пояснюється тим, що при зародженні несправності внутрішніх частин насоса змінюються динамічні характеристики вузлів, що відображається у вібраційних сигналах. Обробляючи ці сигнали методами спектрального чи часово-частотного аналізу, можна виокремити ознаки дефекту та оцінити його розвиток.

Основним дефектом ротора є його невірноваженість, і його можна контролювати, використовуючи різноманітні сенсорні методи моніторингу параметрів, серед яких найпоширенішою є вібраційна діагностика [15, 16].

Невірноваженістю ротора, що розглядається як абсолютно тверде тіло, називається розбіжність його головної центральної осі інерції з віссю обертання [17]. Залежно від розподілу мас ротора розрізняють невірноваженість трьох видів: статичну, моментну, динамічну.

Статична невірноваженість ротора має місце, коли головна вісь інерції проходить через центр мас ротора, залишаючись паралельною осі обертання O_x (рис. 1, а). У цьому випадку всі невірноважені сили інерції, наведені до центру мас ротора, що обертається, дають тільки головний вектор $R_{ст}$; головний момент дорівнює нулю.

Така невірноваженість може бути виявлена без обертання ротора як в заводських умовах, так і на судні, а конкретно на конусних паралелях. При обертанні симетричного ротора в цьому випадку до підшипників прикладені дві рівні й однаково спрямовані сили, що сбурюють.

Моментна невірноваженість ротора виникає, коли головна вісь інерції перетинає вісь обертання у центрі мас (див. рис. 1, б). У цьому випадку всі невірноважені сили інерції, приведені до центру мас ротора, що обертається, дають тільки головний момент $R_{дин} \times L_1$; головний вектор дорівнює нулю.

Ця невірноваженість виявляється тільки при обертанні ротора, коли виникає момент, який сбурює, що створює обертальні коливання ротора щодо поперечної осі, яка проходить через центр мас [6].

Динамічна невірноваженість ротора характеризується наявністю одночасно статичної та моментної невірноваженостей ротора (рис. 1, в).

Але при обертанні ротора може виникнути дисбаланс, а це є порушення рівноваги, гармонії або збалансованості в системі, яке може проявлятися по-різному: в механічному обладнанні як невірноваженість обертових мас [1].

Дисбалансом називається вектор, рівний добутку невірноваженої маси на радіус-вектор її центру щодо осі ротора, який називається ексцентриситетом центру маси.

Напрямок дисбалансу збігається з напрямком ексцентриситету. Головний вектор дисбалансів ротора D дорівнює сумі всіх векторів-дисбалансів ротора і обертається разом із ротором.

Статична невірноваженість ротора повністю визначається головним вектором дисбалансів $D_{ст}$, або ексцентриситетом центру маси ротора $e_{ст}$, або відносним зміщенням головної центральної осі інерції та осі ротора, рівним значенню ексцентриситету центру маси $e_{ст}$.

Значення $e_{ст}$, що дорівнює відношенню модуля D головного вектора дисбалансів до маси ротора M , називається також питомим дисбалансом, оскільки визначає дисбаланс, що припадає на 1 кг маси ротора.

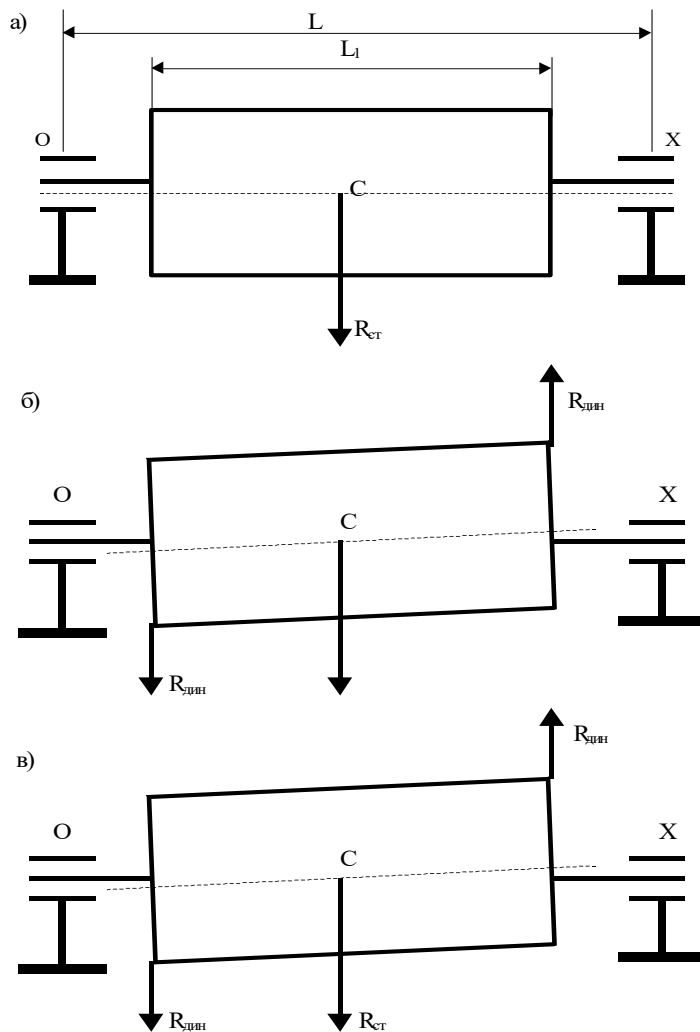


Рис. 1. Види нерівноваженості твердого ротора:
а) статична; б) моментна; в) динамічна

При обертанні нерівноваженого валу відцентрові сили, що виникають, створюють змінні тиски на його опори (через підшипники). Оскільки жорсткість будь-якої опори у реальному працюючому насосному обладнанні або в електричній машині не може бути нескінченною, ці тиски викликають вібрації нерівноваженого валу [12, 13].

Ось чому завдання балансування ротора полягає в тому, щоб досягти такого розподілу коригувальних мас на роторі, при якому вібрації опор не перевищуватимуть норм, що допускаються, у всьому діапазоні частот обертання ротора (від нуля до робочої частоти обертання) [17, 18].

Висновки.

Забезпечення надійної і безперервної роботи суднових насосів є критично важливою умовою стабільного функціонування допоміжних систем судна.

Враховуючи високий ступінь зношування насосного обладнання в умовах експлуатації на флоті, актуальність дослідження методів їх діагностики не викликає сумнівів. Насосне обладнання як об'єкт діагностування є складною системою, в якій найбільш відповідальним вузлом є ротор, який, як правило, лімітує його ресурс.

Практично всі види дефектів та несправностей вузлів і деталей суднового насосного обладнання можна визначити за параметрами вібрації. Однак вібрація, яку використовують для діагностичних цілей, залежить від параметрів функціонування насосного обладнання та конструктивних особливостей місця його встановлення та кріплення

Перш ніж перейти до оцінювання технічного стану підшипників та інших вузлів і деталей насосного устаткування за параметрами їх вібрації, необхідно визначити ступінь невірноваженості ротора (його норми) та, при необхідності, зробити його підбалансування.

Ось чому балансування ротора є однією з найважливіших умов, щоб досягти такого розподілу коригувальних мас на роторі, при якому вібрації опор не перевищуватимуть норм, що допускаються, у всьому діапазоні частот обертання ротора (від нуля до робочої частоти обертання).

ЛІТЕРАТУРА

1. Kostyshyn V. S., Yaremak I. I. Mathematical model of reliability and efficiency of the pumping unit of an oil pumping station. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2017. № 5 (161). С. 62–68. https://www.researchgate.net/publication/321157763_Mathematical_model_of_reliability_and_efficiency_of_pumping_unit_of_an_oil_pumping_station
2. Свиридов В. І., Андреев А. А., Андреев А. А. Аналіз впливу граничних рівнів вібрації на залишковий ресурс суднових машин і механізмів. *Розвиток транспорту*. 2023. № 4 (19). С. 125–139. <https://doi.org/10.33082/td.2023.4-19.10>
3. Костишин В. С., Яремак І. І. Аналіз показників ефективності та надійності роботи насосного агрегата на засадах системного підходу. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2017. № 1 (62). С. 50–60. <https://pdogf.com.ua/uk/journals/1-62>
4. Особливості діагностичного контролю технічного стану обладнання засобів річкового та морського транспорту : монографія / за загальною редакцією О. А. Дакі. Київ : Державний університет інфраструктури та технологій, 2021. 228 с.
5. Свиридов В. І., Попов І. М. Дослідження підшипникових вузлів насосного обладнання та механізмів через вібраційні показники. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон : ХНТУ, 2017. Т. 1, Вип. 3 (62). С. 338–344. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2017_3\(1\)_61](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2017_3(1)_61)
6. Свиридов В. І., Фальченко О. П. Діагностування суднового устаткування при використанні різних моделей вібрації. *Прикладні питання*

- математичного моделювання. 2019. Т. 2, № 2. С. 78–90. <https://doi.org/10.32782/2618-0340/2019.2-2.7>
7. ISO 13373-1:2002. Condition monitoring and diagnostics of machines. Vibration condition monitoring. Part 1: General procedures. <https://www.iso.org/ru/standard/21831.html>
 8. Мельник О. В., Сорока В. В. Вібродіагностика головної енергетичної установки суден: вдосконалення та інтеграція методів. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*. 2023. Вип. 47. С. 349–359. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.47.2023.300121>
 9. Cabuk A. S. Experimental IoT study on fault detection and preventive apparatus using Node-RED ship's main engine cooling water pump motor. *Engineering Failure Analysis*. 2022. 138 (7-8), article 106310. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106310>
 10. Тараненко С. В., Голубева С. М. Аналіз показників надійності суднових електродвигунів, що використовуються у сучасному судновому обладнанні. *Водний транспорт*. 2021. № 2 (33). С. 5–12. <https://doi.org/10.33298/2226-8553/2021.2.33.01>
 11. Холденко В. І. Аналіз існуючих методів діагностики суднових насосів. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон: ХНТУ, 2025. Т. 1, № 2 (93). С. 280–286. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.36>
 12. Свиридов В. І. Діагностування електричних агрегатів та енергетичного обладнання методом третьоктавного аналізу вібрації. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон: ХНТУ, 2015. № 3 (54). С. 643–648. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2015_3_124
 13. Свиридов В. І. Аналіз основних дефектів при роботі насосних агрегатів. *Водний транспорт*. 2015. Вип. 1. С. 38–44. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodt_2015_1_9
 14. Sharko O., Yanenko A. Modeling of intelligent software for the diagnosis and monitoring of ship power plant components using Markov chains. *Science-Based Technologies*. 2023. Vol. 59, No 3. P. 251–261. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.59.17946>
 15. ISO 13373-2:2016. Condition monitoring and diagnostics of machines – Vibration condition monitoring. Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data. <https://www.iso.org/standard/68128.html>
 16. Яворський І. М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань / за заг. ред. акад. НАН України З. Т. Назарчука. Львів : ФМІ НАНУ, 2013. 804 с. https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=JwU_B&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=U&S21COLORTERMS=0&S21STR=%D0%92213.305%20%D0%B2647.1
 17. Xu X., Yan X., Yang K., Zhao J., Sheng C., Yuan C. Review of condition monitoring and fault diagnosis for marine power systems. *Transportation*

Safety and Environment. 2021. Vol. 3, No. 2. P. 85–102. <https://doi.org/10.1093/tse/tdab005>

18. Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики : монографія / В. П. Бабак, С. В. Бабак, В. С. Берегун та ін. ; за ред. чл.-кор. НАН України В. П. Бабака. Київ : Ін-т техн. теплофізики НАН України, 2015, 512 с. https://itf.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/02/babak_monografia2015.pdf

REFERENCES

1. Kostyshyn, V. S., Yaremak, I. I. (2018). Mathematical model of reliability and efficiency of pumping unit of an oil pumping station. *Scientific Bulletin of the National Mining University*, № 5 (161), 62–68. https://www.researchgate.net/publication/321157763_Mathematical_model_of_reliability_and_efficiency_of_pumping_unit_of_an_oil_pumping_station
2. Svyrydov, V. I., Andreiev, A. A., & Andrieiev, A. A. (2023). Analysis of the impact of limit vibration levels on the residual life of ship machinery and mechanisms [Analiz vplyvu hranychnykh rivniv vibratsiyi na zalyshkovyyu resurs sudnovykh mashyn i mekhanizmiv. *Transport Development*, № 4 (19), 125–139. <https://doi.org/10.33082/td.2023.4-19.10> [in Ukrainian].
3. Kostyshyn, V. S., Yaremak, I. I. (2017). Analysis of the efficiency and reliability of the pumping unit based on a systems approach [Analiz pokaznykiv efektyvnosti ta nadiynosti roboty nasosnoho ahrehata na zasadakh systemnoho pidkhotu. *Exploration and development of oil and gas fields*, № 1 (62), 50–60. <https://pdogf.com.ua/uk/journals/1-62> [in Ukrainian].
4. (2021). Peculiarities of diagnostic control of the technical condition of river and sea transport equipment [Osoblyvosti diahnostychnoho kontrolyu tekhnichnoho stanu obladnannya zasobiv richkovoho ta mors'koho transportu]: monograph / edited by O. A. Daki. Kyiv: State University of Infrastructure and Technologies, 228 p. [in Ukrainian]
5. Svyrydov, V. I., Popov, I. M. (2017) Research of bearing units of pumping equipment and mechanisms through vibration indicators [Doslidzhennya pidshypnykovykh vuzliv nasosnoho obladnannya ta mekhanizmiv cherez vibratsiyni pokaznyky. *Bulletin of Kherson National Technical University*. Kherson: KhNTU, V. 1, 3 (62), 338–344. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2017_3\(1\)_61](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2017_3(1)_61) [in Ukrainian].
6. Svyrydov, V. I., Falchenko, O. P. (2019) Diagnostics of ship equipment using various vibration models [Diahnostuvannya sudnovoho ustatkuvannya pry vykorystanni riznykh modeley vibratsiyi. *Applied issues of mathematical modelling*, V. 2, № 2, 78–90. <https://doi.org/10.32782/2618-0340/2019.2-2.7> [in Ukrainian].
7. ISO 13373-1:2002. (2002). Condition monitoring and diagnostics of machines. Vibration condition monitoring. Part 1: General procedures. <https://www.iso.org/ru/standard/21831.html>
8. Melnyk, O., Soroka, V. (2023). Vibration diagnostics of ship main power plants: improvement and integration of methods [Vibrodiagnostyka

- holovnoi enerhetychnoi ustanovky suden: vdoskonalennia ta intehtatsiia metodiv. *Bulletin of the Azov State Technical University*. Series: Technical Sciences, 47, 349–359. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.47.2023.300121> [in Ukrainian].
9. Cabuk A. S. (2022). Experimental IoT study on fault detection and preventive apparatus using Node-RED ship's main engine cooling water pump motor. *Engineering Failure Analysis*, 138 (7-8), article 106310. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106310>
 10. Taranenko S.V., Golubieva S.M. (2021). Analysis of reliability indicators of marine electric motors used in modern ship equipment [Analiz pokaznykiv nadiynosti sudnovykh elektrodvyhuniv, shcho vykorystovuyut'sya u suchasnomu sudnovomu obladdnanni. *Water transport*, 2 (33), 5–12. <https://doi.org/10.33298/2226-8553/2021.2.33.01> [in Ukrainian].
 11. Kholdenko V. I. (2025). Analysis of existing methods for diagnostic of ship pumps [Analiz isnuuyuchykh metodiv diahnostryky sudnovykh nasosiv. *Bulletin of Kherson National Technical University*. Kherson: KhNTU, V. 1, 2 (93), 280–286. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.36> [in Ukrainian].
 12. Svyrydov, V. I. (2015). Diagnostics of electrical units and power equipment using the method of third-octave vibration analysis [Diahnostuvannya elektrychnykh ahrehativ ta enerhetychnoho obladdnannya metodom tret'oktavnoho analizu vibratsiyi. *Bulletin of the Kherson National Technical University*. Kherson: KhNTU, № 3 (54), 643–648. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2015_3_124 [in Ukrainian].
 13. Svyrydov, V. I. (2015). Analysis of the main defects in the operation of pumping units [Analiz osnovnykh defektiv pry roboti nasosnykh ahrehativ. *Water transport*, 1, 38–44. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodt_2015_1_9 [in Ukrainian].
 14. Sharko, O., Yanenko, A. (2023). Modeling of intelligent software for the diagnosis and monitoring of ship power plant components using Markov chains. *Science-Based Technologies*, 59 (3), 251–261. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.59.17946>
 15. ISO 13373-2:2016. (2016). Condition monitoring and diagnostics of machines – Vibration condition monitoring. Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data. <https://www.iso.org/standard/68128.html>
 16. Javorskyj, I. M. (2013) Mathematical models and analysis of stochastic oscillations [Matematychni modeli ta analiz stokhastychnykh kolyvan'] / Under the general editorship of Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine Z. T. Nazarchuk. Lviv: Faculty of Mathematics and Natural Sciences of the National Academy of Sciences, 804 p. https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=JwU_B&C21COM=S&S21C-NR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=U=&S21COLORT-ERMS=0&S21STR=%D0%92213.305%20%D0%B2647.1 [in Ukrainian].

17. Xu, X., Yan, X., Yang, K., Zhao, J., Sheng, C., & Yuan, C. (2021). Review of condition monitoring and fault diagnosis for marine power systems. *Transportation Safety and Environment*, vol. 3, No. 2, 85–102. <https://doi.org/10.1093/tse/tdab005>
18. (2015). Information support for monitoring of heat power facilities [Informatsiyne zabezpechennya monitorynhu ob'ektiv teploenerhetyky]: Monograph / V. P. Babak, S. V. Babak, V. S. Beregun and others; edited by Corresponding Member of the NAS of Ukraine V. P. Babak. Kyiv, Institute of Technical Thermal Physics of the NAS of Ukraine, 512 p. https://itf.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/02/babak_monografia2015.pdf [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 29.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 16.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.04.2026