

КОРАБЛЕБУДУВАННЯ

УДК 629.5.036.086:534.832:681.586

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.3.1/03>

Холденко В.І.

Одеський національний морський університет

МЕТОДИ ОЦІНКИ СТАНУ СУДНОВИХ НАСОСІВ НА ОСНОВІ ВІБРАЦІЙНОЇ ТА АКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Забезпечення безперебійної і надійної роботи суднових насосів є ключовим чинником ефективної експлуатації суднових енергетичних установок. Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах сучасних вимог до автоматизації технічного обслуговування, енергоефективності та скорочення витрат на ремонт суднового обладнання. Мета дослідження полягає у визначенні найбільш інформативних фізичних параметрів та обґрунтуванні ефективних методів їх аналізу для оцінки стану суднових насосів в умовах реальної експлуатації.

У роботі проаналізовано специфіку формування вібраційних та акустичних сигналів при пошкодженнях типу розбалансування, зношення підшипників, кавітації, ослаблення кріплень тощо. Виокремлено спектральні ознаки дефектів, зокрема амплітуди на гармоніках $1X$ – $3X$, широкосмугові імпульсні збурення та зміни в характері шуму в діапазоні 4–12 кГц. Здійснено критичний огляд сучасних засобів збору даних (акселерометри, гідрофони), способів монтажу сенсорів, а також інструментів обробки сигналів: швидке перетворення Фур'є (FFT), аналіз огинаючої, вейвлет-декомпозиція та кореляційний аналіз. Наведено узагальнені характеристики кожного з методів із точки зору їх придатності до умов морської експлуатації і типових пошкоджень.

Особливу увагу приділено перспективам використання інтелектуальних алгоритмів, зокрема нейромережевих і гібридних моделей, які забезпечують високу точність класифікації технічного стану агрегатів. Запропоновано напрями удосконалення діагностичних систем: впровадження сенсорів нового покоління з підвищеною чутливістю, автоматизація процесу аналізу та інтерпретації сигналів, інтеграція систем у бортове обладнання з урахуванням специфіки морського середовища. Узагальнено практичні рекомендації щодо адаптації методів до суднових умов, а також підготовки технічного персоналу до роботи з діагностичними платформами.

Результати дослідження мають прикладне значення для проєктування систем технічного моніторингу, удосконалення процедур технічного обслуговування суднових механізмів і підвищення ефективності управління технічним станом флоту. Отримані висновки сприятимуть формуванню уніфікованого підходу до оцінки стану насосного обладнання з урахуванням мультисенсорних даних, адаптивних алгоритмів та умов морської експлуатації.

Ключові слова: технічна діагностика, суднове обладнання, спектральний аналіз, вібрація, акустичний шум, нейронні мережі, сенсорні системи.

Постановка проблеми. Функціональна надійність суднових допоміжних механізмів, зокрема насосного обладнання, є визначальним чинником безпеки й ефективності експлуатації суднових енергетичних установок. У сучасних умовах, коли судноплавна галузь стикається з підвищеними вимогами до енергетичної ефективності, екологічної безпеки й автоматизації, проблема своєчасного виявлення відмов і зниження технічних ресурсів елементів насосних систем набуває особливої актуальності. Насамперед, це

стосується внутрішніх пошкоджень, які не виявляються візуально і проявляються лише в умовах реального навантаження [1, с. 350–351].

Традиційні методи контролю, які ґрунтуються на плановому технічному обслуговуванні, виявляються недостатньо ефективними в умовах інтенсивної експлуатації суднових агрегатів. У цьому контексті вібраційна й акустична діагностика демонструють суттєві переваги, оскільки дозволяють оперативно виявляти передаварійні стани без демонтажу

обладнання [2, с. 153]. Проте на практиці все ще існує низка обмежень щодо точності оцінки, адекватності математичних моделей та адаптивності діагностичних алгоритмів до специфіки роботи насосного обладнання в умовах морського середовища [3].

Дослідження демонструють, що характерні ознаки відмов насосів, такі як розбалансування, кавітація, зношення підшипників чи деформації робочого колеса, супроводжуються змінами в спектральній структурі сигналів вібрації і шуму. Водночас складність інтерпретації цих сигналів часто обумовлена впливом зовнішніх чинників: змінного навантаження, температури, вібрацій корпусу судна тощо. У результаті, без належної обробки сигналів і системного підходу до їх інтерпретації, ризик хибних висновків залишається високим.

Також актуальність дослідження зумовлена потребою в стандартизації методик діагностики, адаптованих до умов експлуатації суднових насосів різних типів. Попри наявність окремих моделей і рішень, відсутня уніфікована система оцінки технічного стану, що ускладнює впровадження сучасних технологій у судноремонтній практиці та технічному менеджменті флоту [4].

Таким чином, визначення ефективних підходів до оцінки технічного стану суднових насосів із використанням вібраційної та акустичної діагностики під час реальної експлуатації є важливим науковим і практичним завданням. Воно має ключове значення для забезпечення безперебійної роботи суднових енергетичних систем, зниження витрат на ремонт і підвищення технічної готовності флоту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж останнього десятиліття спостерігається активізація досліджень у сфері технічної діагностики суднових агрегатів, зокрема насосного обладнання. Актуальність цієї проблематики зумовлена зростанням складності суднових енергетичних установок, потребою у зменшенні витрат на обслуговування та підвищенні рівня безпеки морських перевезень.

Серед вітчизняних наукових розвідок слід виокремити статтю О. Мельника та В. Сороки, які запропонували інтегровану методику вібраційної діагностики суднових енергетичних установок на основі аналізу спектральних характеристик сигналів. Автори справедливо підкреслюють доцільність поєднання кількох методів діагностування для виявлення прихованих дефектів, однак проблема диференціації

відмов за джерелами коливань залишається відкритою [1].

Певне поширення отримали підходи до цифрової діагностики на базі систем «Інтернету речей» (IoT). Так, А. Кабук (A. Cabuk) у межах експериментального дослідження застосував платформу Node-RED для виявлення несправностей у моторі насоса системи охолодження головного двигуна. Незважаючи на технологічну новизну, науковець зосереджується переважно на реалізації апаратної частини, залишаючи поза увагою специфіку обробки вібраційно-акустичних сигналів в умовах морської експлуатації [5].

В аспекті надійності приводних електродвигунів насосів актуальними є праці С. Тараненка та С. Голубевої, які застосували логіко-ймовірнісні методи (зокрема «дерево відмов») для прогнозування відмов [6] і проаналізували основні показники надійності суднових електроприводів [7]. Попри високий ступінь формалізації моделей, роботи не охоплюють акустичну діагностику, що є суттєвим обмеженням у контексті цілісної оцінки стану насосного агрегата.

Серед закордонних досліджень слід виокремити роботу К. Діонісіу (K. Dionysiou) та ін., які запропонували функціонально-модельний підхід до оцінки надійності систем змащення круїзного судна [8]. Незважаючи на загальносистемний рівень моделювання, запропоновані підходи потенційно придатні для аналізу насосного обладнання в контексті інтегрованих енергетичних систем.

Особливу увагу привертає дослідження О. Шарка (O. Sharko) та А. Яненка (A. Yanenko), присвячене застосуванню марковських моделей для інтелектуального моніторингу стану компонентів суднової енергетичної установки [9]. Хоча дослідження не фокусується безпосередньо на насосах, запропонована модель відкриває перспективи для інтеграції акустичних і вібраційних даних у прогнозні алгоритми.

Системний огляд сучасних підходів до діагностики гідравлічних насосів представлений у статті Й. Ян (Y. Yang) та ін., де узагальнено методи обробки сигналів і тенденції впровадження цифрових технологій у цій сфері. Автори визнають відсутність єдиного стандарту оцінювання технічного стану, що ускладнює практичне впровадження в морській галузі [3]. Подібні проблеми ідентифіковано в огляді Х. Ху (X. Hu) та ін., де наголошується на обмеженості сучасних підходів до моніторингу морських енергетичних систем через надмірну генералізацію

моделей [10]. Підтвердженням цьому є також стаття М. Паяк (M. Rajak) та ін., де методи машинного навчання застосовано до діагностики дизельних двигунів суден, однак залишається відкритим питання щодо їхньої адаптації до насосних вузлів [11].

Нестандартний підхід до діагностики запропонували Дж. Гіртлер (J. Girtler) та Й. Рудницький (J. Rudnicki), які розглядають феномен квантових ефектів у роботі морських машин [12]. Незважаючи на теоретичну привабливість, застосування даної концепції до вібраційної та акустичної діагностики наразі не має практичної реалізації.

Результати застосування методів ШІ до діагностики турбокомпресорів суднових двигунів представлені в статті А. Адамкевич (A. Adamkiewicz) та П. Ніконьчук (P. Nikończuk) [13]. Методологія цього дослідження потенційно адаптивна до насосів, проте потребує ґрунтовного емпіричного підтвердження.

Варто також зазначити про контекст професійної підготовки суднових механіків, висвітлений у публікації А. Кононенка та В. Слабко, де йдеться про важливість неперервного оновлення знань у сфері технічної експлуатації [14], а також про ширший інженерний контекст використання допоміжного обладнання, поданий у монографії В. Чимшира [15].

Узагальнюючи огляд, слід зазначити, що більшість наявних досліджень зосереджуються або на загальних підходах до діагностики суднових систем, або на прикладних рішеннях, не пов'язаних безпосередньо з насосним обладнанням. У цьому вбачається суттєва наукова прогалина, яка полягає у відсутності комплексного підходу до оцінки технічного стану суднових насосів з урахуванням специфіки їх роботи, складових чинників вібраційного й акустичного впливу та умов експлуатації на морі. Таким чином, доцільним є подальший розвиток досліджень у напрямі формалізації діагностичних алгоритмів, адаптації інтелектуальних моделей до реальних експлуатаційних сценаріїв, а також інтеграції мультисенсорних даних для забезпечення високої достовірності діагностичних висновків.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження методів оцінки стану суднових насосів на основі вібраційної та акустичної діагностики під час експлуатації. Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання дослідження:

Дослідити основні фізичні параметри, що супроводжують роботу суднових насосів і можуть бути використані як інформативні ознаки технічного стану агрегатів при вібраційній та акустичній діагностиці в експлуатаційних умовах.

Проаналізувати сучасні методики збору, обробки та інтерпретації вібраційних і шумових сигналів, що застосовуються для діагностики насосного обладнання, з урахуванням особливостей морського середовища, конструктивної складності та змінного режиму роботи механізмів.

Сформулювати практичні рекомендації щодо вдосконалення методів діагностики стану суднових насосів, зокрема у частині вибору сенсорів, адаптації алгоритмів обробки сигналів та інтеграції діагностичних систем у структуру технічного менеджменту флоту.

Виклад основного матеріалу. Діагностування технічного стану суднових насосів в умовах експлуатації є складним завданням, що передбачає аналіз множини параметрів. Основними інформативними ознаками стану є амплітудно-частотні характеристики вібрації корпусу, гідравлічних пульсацій і спектр акустичного випромінювання.

Умовні дефекти, такі як дисбаланс, розцентрування, ослаблення кріплень, зношення підшипників або кавітація, мають відмінні вібраційні ознаки. Наприклад, дисбаланс ротора спричиняє зростання амплітуди коливань на частоті обертання (1X), а розцентрування — появу гармонік на 2X і 3X [6, с. 152–154]. Зношення підшипників проявляється широкосмуговим вібраційним фоном та імпульсними пульсаціями [2; 3]. При цьому акустичний шум набуває характерного підвищеного рівня в діапазоні 4–10 кГц.

У таблиці 1 відображено типові ознаки несправностей насосного обладнання за вібраційними й акустичними показниками. Таким чином, на основі аналізу спектральних і часових характеристик вібраційного й акустичного полів можна здійснювати попереднє розпізнавання типу несправностей.

Для оцінки стану насосів застосовуються п'єзоелектричні датчики прискорення, які монтуються на корпус агрегату. Використання акселерометрів дозволяє ефективно виявляти спектральні компоненти сигналу до 10 кГц [6, с. 152]. Акустичні сенсори (гідрофони) встановлюють безпосередньо в напірній або всмоктувальній трубопроводах для аналізу

Таблиця 1

Характерні вібраційні та акустичні ознаки несправностей суднових насосів

Тип несправності	Ознаки вібрації	Ознаки акустичного сигналу
Дисбаланс	Амплітуда зростає на частоті 1Х	Гул на низьких частотах (до 1 кГц)
Розцентрування	Поява гармонік 2Х, 3Х	Ритмічні коливання у діапазоні 1–2 кГц
Зношення підшипників	Імпульси, широкосмуговий шум	Скрегіт, висока частота (5–10 кГц)
Кавітація	Стохастичний спектр, сплески шуму	Шарудіння, шум у діапазоні 6–12 кГц
Ослаблення кріплень	Резонансні сплески при зміні режиму	Варіативність тону, нестационарний шум

Джерело: узагальнено автором на основі даних [2; 3; 6, с. 152–154; 11].

шумових характеристик, що супроводжують гідравлічні процеси [4; 5].

Подальша обробка сигналів здійснюється методами швидкого перетворення Фур'є (FFT), аналізу огинаючої, а також вейвлет-декомпозиції. Зокрема, FFT дозволяє встановити частотні компоненти сигналу, що відповідають типам дефектів. Аналіз огинаючої – ефективний для виявлення імпульсних збурень при руйнуванні контактних поверхонь підшипників. Основні методи обробки (табл. 2) дозволяють перейти від «сирого» сигналу до формалізованого набору ознак, на основі яких здійснюється автоматичне діагностичне рішення. Варто також зазначити, використання штучних нейронних мереж забезпечує точність класифікації станів насосів на рівні понад 90%.

На основі проведеного аналізу запропоновано декілька напрямів покращення діагностики насосів. По-перше, необхідно впроваджувати сучасні сенсори з кращими характеристиками: високочутливі акселерометри та ультразвукові гідрофони значно розширюють можливості виявлення дрібних дефектів. Бездротові мережі збору даних та автономні периферійні обчислювальні модулі

прискорюють введення технічного стану насосів у систему моніторингу судна.

По-друге, рекомендовано розвивати алгоритмічний супровід діагностики. Застосування нейромережових і гібридних моделей (з нечіткою логікою) дозволяє підвищити точність розпізнавання складних дефектів та адаптувати систему до змінних умов експлуатації. Також доцільно використовувати інтелектуальні системи спостереження, що безперервно аналізують сигнали в реальному часі та самонавчаються на основі накопиченої історії станів.

По-третє, важливим є технічний супровід діагностики. Це передбачає регулярну калібровку датчиків, стандартизацію методик зняття даних та інтеграцію діагностичних систем із бортовою автоматикою. Впровадження «Інтернету речей» (IoT) та платформ для візуалізації робить інформацію про стан насосів доступнішою та сприяє ефективному прийняттю рішень під час експлуатації. У таблиці 3 сформовано ключові рекомендації щодо вдосконалення діагностики насосів. Зокрема, акцент робиться на впровадженні новітніх сенсорів та оптимізації алгоритмів аналізу. Як показано, поєднання високотехнологічних

Таблиця 2

Основні методи обробки діагностичних сигналів насосів

Метод	Призначення	Метод
FFT-аналіз	Визначення гармонік, прив'язаних до механічних дефектів	FFT-аналіз
Вейвлет-аналіз	Виявлення імпульсних збурень у часі	Вейвлет-аналіз
Аналіз огинаючої	Виявлення підповерхневих дефектів підшипників	Аналіз огинаючої
Кореляційний аналіз	Встановлення зв'язку між вібраційними джерелами	Кореляційний аналіз

Джерело: узагальнено автором на основі даних [4; 5; 7, с. 7–9; 11].

Таблиця 3

Рекомендації щодо вдосконалення діагностики суднових насосів

Напрямок вдосконалення	Заходи
Сенсори	Застосування високочутливих акселерометрів, гідрофонів; безконтактних датчиків; IoT-інтеграція
Алгоритми	Використання машинного навчання, нейромереж; адаптивних експертних систем, обробки в реальному часі
Технічний супровід	Стандартизація зняття даних, калібрування обладнання; інтеграція з бортовими системами моніторингу

Джерело: власна розробка автора.

датчиків з інтелектуальними алгоритмами дозволяє значно підвищити надійність оцінки стану агрегатів.

Отже, проведений аналіз фізичних параметрів і методів їх обробки дозволяє сформулювати рекомендації щодо поліпшення діагностики суднових насосів. Застосування сучасних сенсорів, вдосконалених алгоритмів і належного технічного супроводу забезпечить підвищення надійності моніторингу та своєчасне виявлення відхилень у роботі насосного обладнання.

Висновки. Забезпечення надійної і безаварійної роботи суднових насосів залишається одним із ключових завдань технічної експлуатації суден у межах сучасних транспортних технологій. З огляду на складність і вартість ремонтних операцій, особливо в умовах експлуатації у морі, актуальність розробки та впровадження ефективних методів діагностики технічного стану допоміжного насосного обладнання є беззаперечною. Вібраційна й акустична діагностика набули значного поширення завдяки своїй чутливості до ранніх проявів дефектів і можливості функціонування без демонтажу агрегатів.

Проведене дослідження дозволило встановити, що інформативними параметрами для оцінки стану насосів є характерні спектральні та часові характеристики вібрацій і шумів. Їх аналіз надає можливість виявляти типові несправності, як-от дисбаланс, кавітація, зношення підшипників, порушення кріплень тощо. Визначені ознаки можуть слугувати основою для побудови класифікаційних моделей технічного стану.

У рамках дослідження узагальнено сучасні методи збору, обробки та інтерпретації сигналів,

зокрема, швидке перетворення Фур'є, аналіз огинаючої і вейвлет-декомпозиція, які забезпечують достатню діагностичну точність навіть за умов зашумленого середовища. Також проаналізовано можливості використання інтелектуальних алгоритмів, які здатні адаптивно підлаштовуватися під змінні експлуатаційні режими насосного обладнання.

На основі отриманих результатів сформульовано низку практичних рекомендацій до вдосконалення діагностичних систем: застосування сенсорів нового покоління, інтеграція методів обробки сигналів у реальному часі, автоматизація інтерпретації результатів, та адаптація методів до морських умов експлуатації. Це дозволяє створити надійну систему технічного моніторингу, що може бути вбудована в загальну структуру суднових систем технічного обслуговування.

Результати дослідження мають прикладну цінність для судноплавних компаній, судноремонтних підприємств, конструкторських бюро морської техніки, а також можуть бути впроваджені в навчальні програми морських закладів вищої освіти. Подальші дослідження доцільно спрямувати на формалізацію автоматизованих алгоритмів технічної діагностики з урахуванням мультисенсорної інтеграції, розробку адаптивних діагностичних платформ для мобільного контролю стану агрегатів, а також апробацію запропонованих методів на широкому спектрі насосного обладнання різного призначення та типу. Особливу увагу варто приділити створенню уніфікованих нормативних рішень, які регламентуватимуть застосування вібраційно-акустичних методів у морській галузі.

Список літератури:

1. Мельник О., Сорока В. Вібродіагностика головної енергетичної установки суден: вдосконалення та інтеграція методів. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*. 2023. № 47. С. 349–359. URL: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.47.2023.300121> (дата звернення: 28.05.2025).
2. Курносенко Д. Методи дослідження параметрів працездатності елементів системи мащення та трибосполучень суднових двигунів внутрішнього згоряння. *Матеріали II Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ ОНМУ, квітень 2020. Одеса: ОНМУ, 2020. С. 151–155. URL: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19286.40006> (дата звернення: 28.05.2025).*
3. Current status and applications for hydraulic pump fault diagnosis: A review / Y. Yang et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22, No. 24. Article 9714. URL: <https://doi.org/10.3390/s22249714> (дата звернення: 28.05.2025).
4. Investigation of failure causes of oil pump based on operating conditions / J.-J. Lee et al. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(7). 4308. URL: <https://doi.org/10.3390/app13074308> (дата звернення: 28.05.2025).
5. Cabuk A. Experimental IoT study on fault detection and preventive apparatus using Node-RED ship's main engine cooling water pump motor. *Engineering Failure Analysis*. 2022. Vol. 138. Article 106310. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106310> (дата звернення: 28.05.2025).
6. Тараненко С., Голубева С. Використання «дерева відмов» як логіко-ймовірнісного методу аналізу суднових електродвигунів. *Транспортні системи і технології*. 2022. № 40. С. 149–158. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-137> (дата звернення: 28.05.2025).

7. Тараненко С., Голубєва С. Аналіз показників надійності суднових електродвигунів, що використовуються у сучасному судновому обладнанні. *Водний транспорт: Збірник наукових праць*. 2021. № 2 (33). С. 5–12. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/165/129> (дата звернення: 27.05.2025).
8. Dionysiou K., Bolbo, V., Theotokatos G. A functional model-based approach for ship systems safety and reliability analysis: Application to a cruise ship lubricating oil system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*. 2022. Vol. 236, No. 1. P. 228–244. URL: <https://doi.org/10.1177/14750902211004204> (дата звернення: 28.05.2025).
9. Sharko O., Yanenko A. Modeling of intelligent software for the diagnosis and monitoring of ship power plant components using Markov chains. *Science-intensive technologies*. 2023. Vol. 3, No. 59. P. 251–261. URL: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.59.17946> (дата звернення: 28.05.2025).
10. Review of condition monitoring and fault diagnosis for marine power systems / X. Xu et al. *Transportation Safety and Environment*. 2021. Vol. 3 (2). P. 85–102. URL: <https://doi.org/10.1093/tse/tdab005> (дата звернення: 28.05.2025).
11. Ship diesel engine fault diagnosis using data science and machine learning / M. Pajak et al. *Electronics*. 2023. Vol. 12, No. 18. Article 3860. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics12183860> (дата звернення: 28.05.2025).
12. Girtler J., Rudnicki J. Quantumness in diagnostics of marine internal combustion engines and other ship power plant machines. *Polish Maritime Research*. 2023. Vol. 30, No. 4. P. 110–119. URL: <https://doi.org/10.2478/pomr-2023-0064> (дата звернення: 28.05.2025).
13. Adamkiewicz A., Nikończuk P. An attempt at applying machine learning in diagnosing marine ship engine turbochargers. *Eksploatacja i Niezawodność*. 2022. Vol. 24, No. 4. P. 795–804. URL: <http://doi.org/10.17531/ein.2022.4.19> (дата звернення: 28.05.2025).
14. Кононенко А., Слабко В. Реалізація неперервної освіти в процесі формування професійної компетентності майбутніх суднових механіків. Науковий часопис. Серія 5. Педагогічні науки: реалії та перспективи. 2024. № 101. С. 20–25. URL: <https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series5.2024.101.04> (дата звернення: 28.05.2025).
15. Чимшир В. Сучасні підходи до вискоєфективного використання засобів транспорту : колективна монографія. Ізмаїл: ДІ НУ «ОМА», 2020. 472 с. URL: <https://surli.cc/zjxhxc> (дата звернення: 28.05.2025).

Kholdenko V.I. METHODS FOR ASSESSING THE CONDITION OF SHIP PUMPS BASED ON VIBRATION AND ACOUSTIC DIAGNOSTICS DURING OPERATION

Ensuring the uninterrupted and reliable operation of ship pumps is a key factor in the effective operation of ship power plants. This problem is particularly relevant in modern requirements for automation of technical maintenance, energy efficiency and reduction of costs for repair of ship equipment. The study aims to determine the most informative physical parameters and substantiate effective methods of their analysis for assessing the condition of ship pumps in real operation.

The paper analyzes the specifics of the formation of vibration and acoustic signals in the event of damage such as imbalance, bearing wear, cavitation, loosening of fasteners, etc. Spectral signs of defects are identified, particularly amplitudes at 1X–3X harmonics, broadband impulse disturbances and changes in the nature of noise in the range of 4–12 kHz. A critical review of modern data collection tools (accelerometers, hydrophones), sensor mounting methods, and signal processing tools is carried out: fast Fourier transform (FFT), envelope analysis, wavelet decomposition, correlation analysis. Generalized characteristics of each method are given in terms of suitability for marine operating conditions and typical damages.

Particular attention is paid to the prospects for using intelligent algorithms, particularly neural networks and hybrid models, which provide high accuracy in classifying the technical condition of units. Directions for improving diagnostic systems are proposed: introduction of new generation sensors with increased sensitivity, automation of the signal analysis and interpretation process, integration of systems into on-board equipment, taking into account the specifics of the marine environment. Practical recommendations are summarized for adapting methods to ship conditions and training technical personnel to work with diagnostic platforms.

The study results have practical significance for designing technical monitoring systems, improving the procedures for technical maintenance of ship mechanisms and increasing the efficiency of fleet technical condition management. The conclusions obtained will contribute to forming a unified approach to assessing the condition of pumping equipment, considering multisensor data, adaptive algorithms and marine operating conditions.

Key words: *technical diagnostics, ship equipment, spectral analysis, vibration, acoustic noise, neural networks, sensor systems.*