

Штрибець В.В. Державний університет інфраструктури та технологій, кандидат технічних наук, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті, м.Ізмаїл

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Постановка проблеми. Забезпечення надійної та безпечної експлуатації двигунів (ходових і системи енергозабезпечення) засобів водного транспорту досягається за рахунок застосування системи контролю та діагностування технічного стану. До такої системи відносять сукупність методів і засобів контролю та діагностування. Система технічного діагностування при цьому повинна включати періодичний контроль технічного стану двигунів, пошук дефектів і несправностей у роботі, визначення ступеня небезпеки дефектів і оцінку остаточного ресурсу обладнання [1, 2].

Мета дослідження – визначити методи контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту.

Одним з етапів при виконанні технічного обслуговування та ремонтних робіт є моніторинг і оцінка фактичного стану обладнання для визначення об'ємів і строків необхідних регламентних робіт. Таким чином, від точності та ефективності проведення діагностики залежить якість і вартість робіт, тобто фінансово-економічні результати обслуговування двигунів [1–3].

До основних вимог сучасних методів діагностування технічного стану двигунів засобів водного транспорту пропонується віднести:

- потрібний рівень достовірності та точності виявлення несправностей і пошкоджень двигунів;
- можливість своєчасного виявлення основних електричних і механічних дефектів двигунів;
- проведення необхідних вимірювань дистанційно;

- низька трудомісткість і простота технічного обслуговування (проведення вимірювань необхідних параметрів);
- можливість проведення аналітичної обробки отриманих результатів вимірювань за короткий час (застосування інформаційно-вимірювальних систем і комплексів).

Розглянемо основні методи контролю та діагностування технічного стану двигунів засобів водного транспорту.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Методи контролю технічного стану головних двигунів засобів водного транспорту

Головні (ходові) двигуни засобів водного транспорту є складною технічною системою, що складається з великого числа систем, вузлів і деталей, які взаємодіють між собою [2]. Широкий частотний діапазон коливальних процесів в силовій установці обумовлює швидку реакцію віброакустичного сигналу на зміну технічного стану. Це є визначальним в аварійних ситуаціях [3]. Агрегати, від надійності безаварійної роботи яких залежить життя людей, вимагають особливої уваги. Дуже важливо вчасно виявити і не допустити розвиток дефектів, що призводять до незворотних катастрофічних наслідків.

Сутність проблеми віброакустичної діагностики складних технічних систем полягає в розробці та практичній реалізації алгоритмів оцінки параметрів технічного стану об'єкта без його розбирання в робочих умовах за характеристиками віброакустичних процесів, які супроводжують його функціонування [3]. Для двигуна засобів водного транспорту можна виділити основні джерела виникнення вібрації [3]:

- коливання від незбалансованих обертових мас (роторна вібрація);
- вібрації, порушені зубчастими передачами редукторів;
- коливання підшипникових вузлів; власні коливання лопаток, дисків, корпусів; аеродинамічні коливання;

- вібрації, порушені процесами в газо-повітряному тракті;
- вібрації агрегатів і трубопроводів.

Основними коливаннями, що підлягають діагностиці, є низькочастотні (0,1 Гц ... 400 Гц) і середньо-частотні (400 Гц ... 2000 Гц) вібрації. Високочастотними (> 2000 Гц) коливаннями зазвичай нехтують внаслідок малої частки енергії, яка переноситься цими коливаннями.

Колівальні процеси силової установки представляються у вигляді вимушених і власних коливань [3, 4]. Обидва ці види можуть служити носіями інформації про технічний стан, але характер і обсяг цієї інформації різні. Вимушені коливання містять інформацію про якість виготовлення, ремонту, складання та про грубі зміни технічного стану, що межують з аварійною ситуацією. Власні коливання містять інформацію про наявність дефектів на ранній стадії.

Вібраційний метод оцінки технічного стану головних двигунів засобів водного транспорту передбачає вимірювання та аналіз сигналів від вібрації двигуна. За отриманими даними аналізуються параметри сигналу вібрації (наприклад, форма та амплітуда, спектральний склад). Отримані значення сигналів порівнюються із відповідними значеннями попередніх вимірювань. За результатами порівняння оцінюють можливість подальшої експлуатації двигунів або визначають можливі несправності.

До недоліків вібраційного методу відносять [4, 5]:

- обмежені можливості щодо дистанційного контролю;
- складність проведення необхідних вимірювань параметрів вібрації.

Метод моделювання технічного стану ходових двигунів засобів водного транспорту включає розробки моделі двигуна (імітаційна модель), двигун з підключеними датчиками [4, 5]. При цьому вимірюється набір сигналів двигуна, який застосовується для розв'язання рівняння стану за деякій час. Потім отримані значення порівнюються з розв'язанням, яке отримане за допомогою імітаційного моделювання та визначається наявність несправності

двигуна. При виявленні несправності видається повідомлення для запобігання пошкодження двигуна.

До недоліків методу моделювання слід віднести [6]:

- відсутність дистанційного контролю та діагностування;
- низька точність;
- складність розробки імітаційної моделі, яка адекватна реальній роботі двигуна.

Метод на основі аналізу спектру передбачає контроль параметрів роботи ходового двигуна протягом деякого інтервалу часу, визначення характерних частот роботи. Отриманий сигнал в аналоговій або цифровій формі за допомогою методів спектрального аналізу досліджується у визначених точках (характерних частотах). Цей метод дозволяє проведення дистанційного контролю та діагностування технічного стану двигунів засобів водного транспорту. До недоліків такого методу слід віднести [6,7]:

- складність оцінки результатів, оскільки будь-яка амплітудно-модульована частота f враховується у спектрі двояко, по обидві сторони потрібної частоти f_1 , тобто у вигляді $|f_1 - \Delta f|$ і $|f_1 + \Delta f|$. Таке подвійне врахування частот моделювання обумовлює недостатню точність діагностування (імовірність накладання частот від різних несправностей (дефектів) збільшується у два рази);

- відсутність можливості збільшення кількості гармонік частоти f для аналізу.

Однак, метод на основі аналізу спектру, порівняно з іншими методами, має переваги у точності, ефективності та простоті реалізації засобів діагностування технічного стану двигунів.

Але, такий метод потребує удосконалення процедур спектрального аналізу для усунення недоліків (наприклад, при діагностуванні двигунів, у яких змінюється режим роботи, що характерно для засобів водного транспорту).

Найбільш перспективним є метод спектрального аналізу моторного мастила. Зміна в експлуатаційних характеристиках моторного мастила свідчить про появу несправності та дозволяє своєчасно виконати потрібний ремонт або регулювання. Визначити наявність домішок допомагає спектральний аналіз моторного мастила.

Дослідження моторного мастила дозволяє:

- своєчасно визначити несправності частин двигуна або двигуна у цілому;
- скоротити час простою на обслуговування;
- підвищити надійність роботи двигуна;
- підвищити ефективність роботи двигуна.

За допомогою спектрального аналізу стану моторного мастила можна визначити:

- фізико-хімічні показники, тобто склад палива та додаткових домішок (наприклад, води, сажі, кислот);
- наявність металів, які можуть вплинути на роботу двигуна (залізо, мідь, кальцій, алюміній тощо);
- в'язкість (при проведенні перевірки при температурі у 40 градусів і 100 градусів).

Такий метод є найбільш простим способом діагностики і профілактики можливих несправностей. При технічному контролі стану двигунів засобів водного транспорту спектральний аналіз стану моторного мастила може надати інформацію про справність системи подачі повітря за даними рівня змісту кременя (бруд) у мастилі. Рівні змісту заліза та алюмінію попереджають про знос поршня та циліндру та дозволяють попередити виникнення значної відмови, що може привести до несправності двигуна під час здійснення маршруту засобом водного транспорту. Також за даними спектрального аналізу моторного мастила можна визначити швидкість зносу підшипників і прийняти заходи до заклинювання колінчатого валу. Своєчасне виявлення палива,

антифризу, води у моторному мастилі дозволить попередити вихід появи значних несправностей двигуна, особливо під час рейсу засобів водного транспорту. Рівні забруднення та згорання сажі у мастилі можуть вказувати на обмеження у системі подавання повітря, забруднення масляних фільтрів, погане згорання та високе відношення повітря/паливо [7, 8].

У гідравлічних системах, трансмісіях, коробках передач, диференціалах і інших системах, де є мастильні матеріали, але горіння не відбувається, спектральний аналіз проб мастила також дозволяє виявити несправності. Високі рівні вмісту алюмінію можуть вказувати на можливу відмову насоса або перетворювача. Погане увімкнення передач характеризується високим рівнем міді, а значний вміст хрому може вказувати на зношення шестерень і підшипників, забруднення гідравлічних циліндрів.

Але, відсутність простих для технічної реалізації методів спектрального аналізу високої точності дослідження характеристик змін спектру моторного мастила робить цей метод достатньо коштовним, а, тому, знайшов низького розповсюдження.

2. Методи контролю технічного стану двигунів системи енергозабезпечення засобів водного транспорту

Для виявлення несправностей двигунів системи енергозабезпечення засобів водного транспорту виділяють характерні частоти напруги або струму. Характер і ступінь несправності виділяють шляхом порівняння значень амплітуд A_i на характерних частотах і із значення амплітуд A_0 на частоті 0 Гц .

Діагностування основних несправностей електродвигунів засобів водного транспорту здійснюється на характерних частотах:

- наявність міжвиткових замикань в обмотках статора та несправності ротора – на частоті мережі живлення (50 Гц; 400 Гц);
- відсутність співвісності валів електродвигунів і зв'язаних з електродвигуном механічних пристроїв – на частотах, кратних частоті обертання електродвигуна;

- дефекти ремінцевої передачі навантаження – на частотах, які кратні частоті биття ременя;
- пошкодження підшипника – на частотах, кратних частоті обертання ротора;
- пошкодження механічного обладнання із групи двигуна: насос, вентилятор, компресор – на лопатковій частоті.

Висновок про наявність несправності електродвигуна робиться на основі порівняння значень амплітуд A_i на частотах, характерних для несправностей (дефектів), з рівнем сигналу на частоті, яка дорівнює нулю. Якщо амплітуди A_i на характерних частотах нижче амплітуди модуля A_0 на частоті 0 Гц на задану величину, робиться висновок про справний технічний стан двигуна та пов'язаних з ним механічних пристроїв. Якщо така різниця між амплітудами більше заданої величини, то робиться висновок про наявність несправності, яка характерна для даної частоти.

Спектральний аналіз отриманого сигналу та порівняння амплітуд A_i проводяться переважно у частотній області від мінус 100 дБ до 0 дБ шляхом виділення характерних рис (значень) появи несправності, наприклад, у вигляді стрибків амплітуди A_i на характерних частотах.

Для зниження ефекту розтікання спектра при виконанні спектрального аналізу за допомогою алгоритму швидкісного перетворення Фур'є використовуються функції вікна [8, 9].

На рисунках 1 – 7 наведені частотні характеристики A_i для справного двигуна та двигуна з різного роду несправностями. На рисунках амплітуди сигналів на вертикальній вісі, частоти – на горизонтальній вісі. На рисунках позначені характерні частоти, які характеризують несправності.

На рисунку 8 наведений приклад реальної напруги живлення електродвигуна засобу водного транспорту (вісь часу горизонтальна).

3. Засоби контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту

Велика кількість суден річкового флоту України, Росії та інших країн СНД оснащені ДВЗ типу 6NVD26-2. Ресурс даних двигунів у більшості випадків практично вироблений, а працездатність судових енергетичних установок підтримується на необхідному рівні за рахунок здійснення частих позапланових заходів з технічного обслуговування.

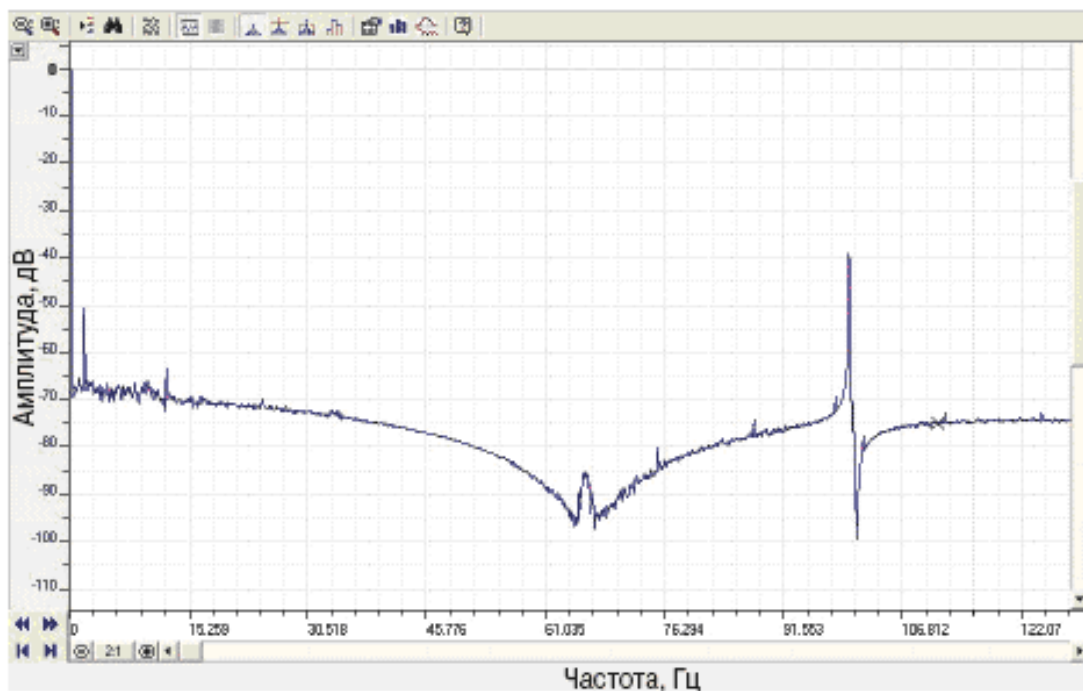


Рисунок 1 – Частотна характеристика модулю вектору струму справногo електродвигуна (навантаження – насос)

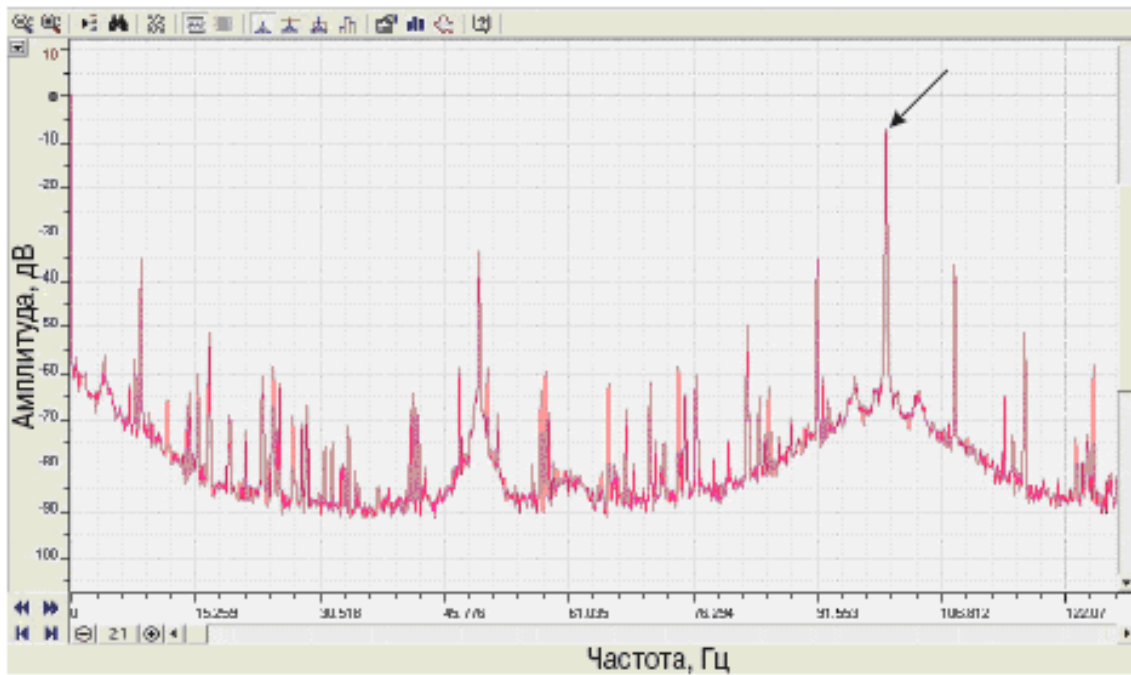


Рисунок 2 – Частотна характеристика модулю вектору струму електродвигуна при короткому замкненні обмотки статора

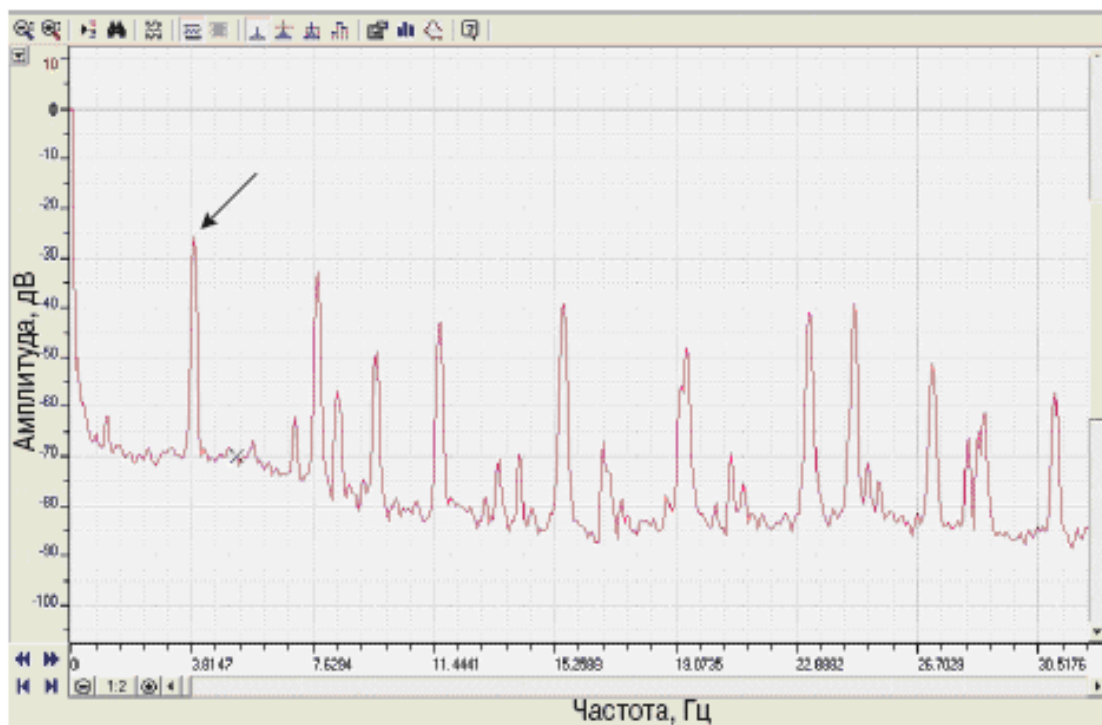


Рисунок 3 – Частотна характеристика модулю вектору струму електродвигуна при несправності ротора

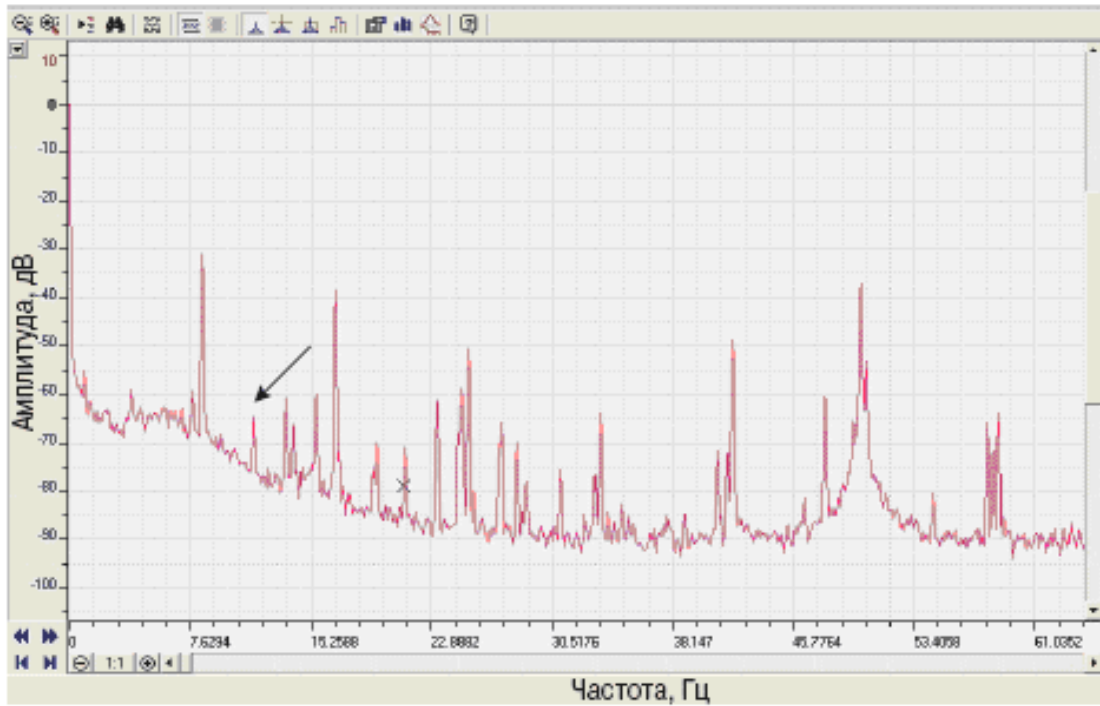


Рисунок 4 – Частотна характеристика модулю вектору струму електродвигуна при терті ротора та статора

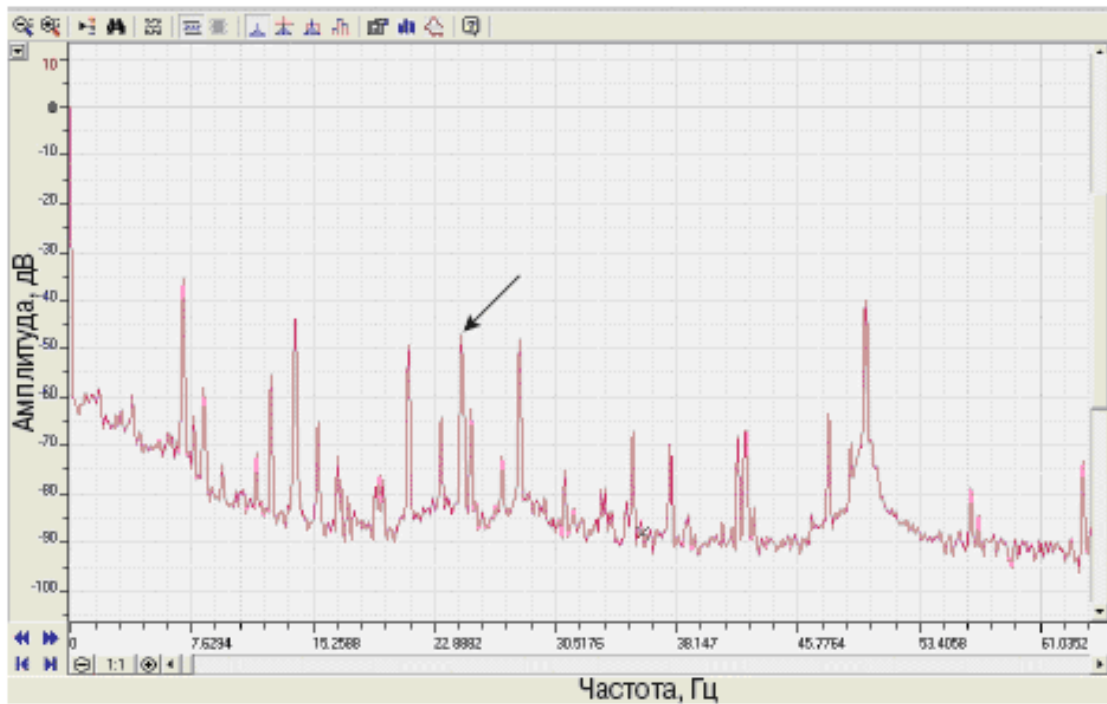


Рисунок 5 – Частотна характеристика модулю вектору струму електродвигуна при неузгодженні із навантаженням

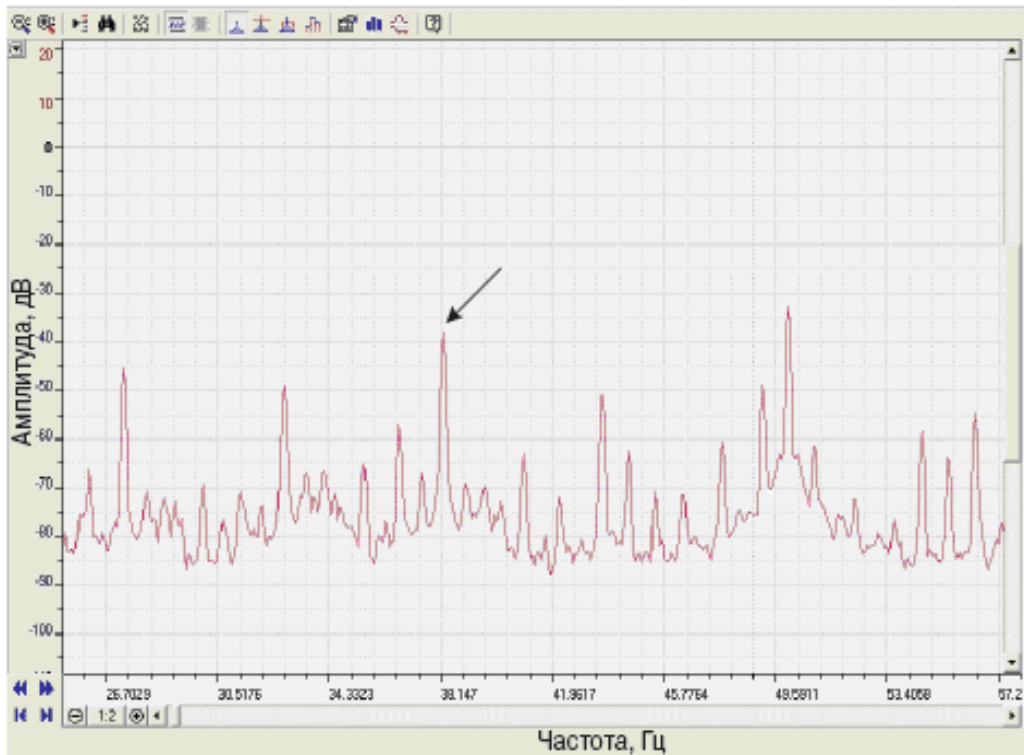


Рисунок 6 – Частотна характеристика модулю вектору струму електродвигуна при несправності підшипника

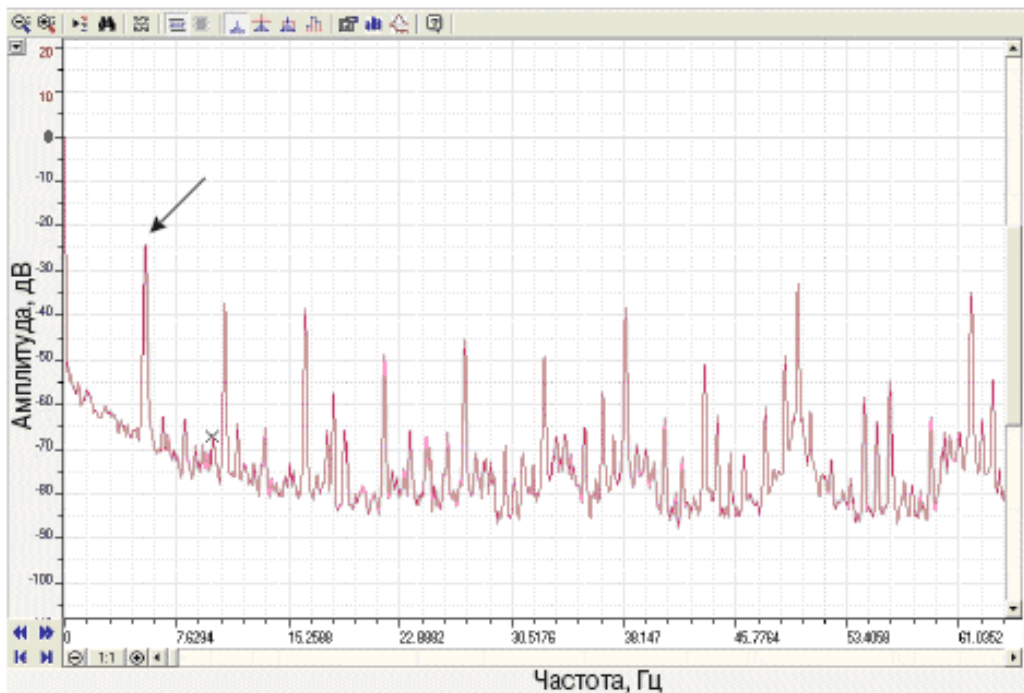


Рисунок 7 – Частотна характеристика модулю вектору струму електродвигуна при несправності передатного механізму

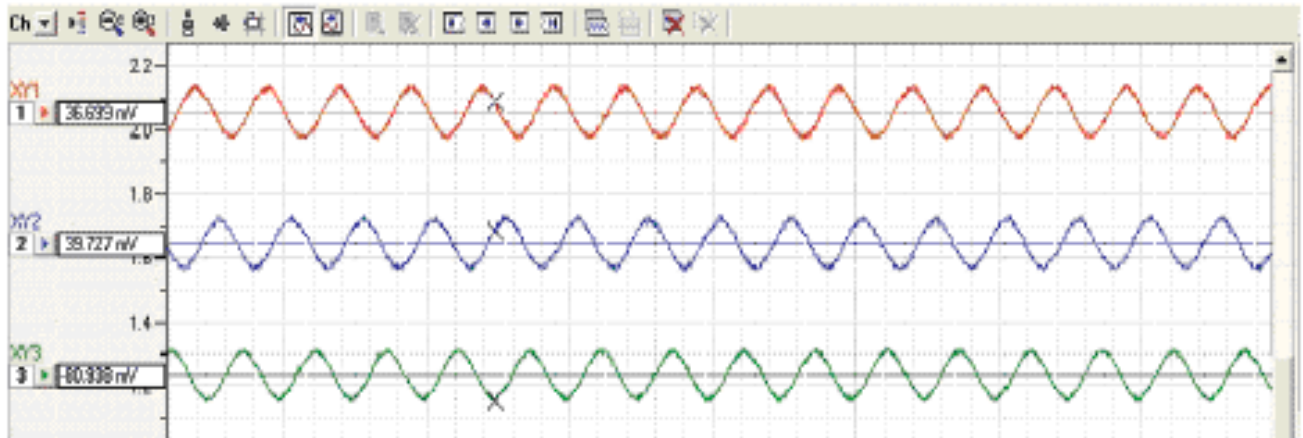


Рисунок 8 – Приклад напруги електродвигуна засобу водного транспорту

Прилади контролю та діагностики, що використовуються на морських і річкових судах, відповідають вимогам класифікаційних документів і виробників енергетичного обладнання на момент прийняття судна і, як правило, реалізовані з використанням відповідних технологій [9].

Контрольно-вимірювальне обладнання, включаючи комп'ютерні інформаційно-вимірювальні компоненти, швидко застаріває, враховуючи досить довгий термін експлуатації суден. Сучасні інформаційні технології надають можливість суттєво підвищити якість контролю роботи обладнання, забезпечити більш високий рівень надійності, поліпшити умови роботи суднової команди за рахунок модернізації суднових інформаційних систем, що не вимагає великих матеріальних і виробничих витрат порівняно з заміною енергетичного обладнання [10].

Однією з важливих передумов забезпечення технічної безпеки плавання є моніторинг параметрів суднових дизелів (головних і допоміжних) в процесі їх експлуатації. Інформація про поточні значення параметрів робочого процесу суднових дизелів під час експлуатації дозволяє обслуговуючому персоналу підтримувати нормальний технічний стан дизелів і попереджати виникнення аварійних ситуацій. На експлуатованих в даний час річкових судах моніторинг параметрів двигунів найчастіше зводиться до періодичного контролю тисків і

температур – за допомогою максиметра екіпаж визначає максимальні значення тисків газів по циліндрах (p_{\max}) якого тиску в кінці процесу стиснення (p_c) при відключеною подачі палива. Крім p_{\max} , p_c , температур води і масла, можна виділити цілий ряд інших параметрів, моніторинг яких під час експлуатації дає можливість здійснювати більш якісний контроль робочого процесу дизеля та виробляти точне регулювання окремих вузлів. Так, контроль середнього індикаторного тиску (p_i) дозволяє визначити перевантаження окремих циліндрів і рівномірно розподілити потужність по всіх циліндрах дизеля. Контроль максимальної швидкості підвищення тиску при згорянні палива (жорсткості $\Delta p/\Delta \phi$ робочого процесу) дозволяє обмежити ударні навантаження на підшипники окремих циліндрів і виявити недоліки в роботі паливної апаратури (ПА). За допомогою контролю геометричних і дійсних фаз подачі палива виробляється комплексна оцінка технічного стану ПА. Контроль фаз газорозподілу під час роботи дизеля дозволяє оперативно оцінювати технічний стан газорозподільного механізму та підтримувати паспортні значення кутів закриття та відкриття клапанів [11].

Крім перерахованих вище, можна виділити ще цілий ряд параметрів робочого процесу, моніторинг яких під час експлуатації в значній мірі допоможе обслуговуючому персоналу підтримувати нормальний технічний стан дизеля [12].

До теперішнього часу більшість систем моніторингу суднових ДВЗ було спроектовано як єдиний програмно-апаратний комплекс, що виробляє запис параметрів і частковий розрахунок робочого процесу в режимі реального часу. Найбільш характерними системами такого типу є NK-5, NK-100, NK-200 фірми Autronica A/S, а також ряд аналогічних систем, розроблених компаніями Terasaki Electric Co., Ltd, Konsberg, JRCS, Hyundai, Samsung, Honeywell, Sulzer [11, 12].

Системи подібного типу покликані вирішувати два завдання: отримання даних в реальному часі та частковий розрахунок робочого процесу, що

дозволяє виробникам випускати завершені комплекси моніторингу суднових ДВЗ і надавати технічному персоналу судна великий обсяг інформації, необхідної для якісної технічної експлуатації двигунів. Однак такий підхід до вирішення завдання моніторингу ДВЗ має ряд недоліків:

- недостатньо повне (неточне) моделювання робочого процесу;
- за вихідні дані використовується обмежена кількість вимірюваних параметрів;
- не виявляються прогнозовані зміни технічного стану двигуна;
- з'єднання вимірювальної та розрахункової частин систем моніторингу ДВЗ значно збільшує їх складність. Так для передачі сигналів від двигуна до обчислювального комплексу використовуються довгі кабельні лінії; встановлюються додаткові підсилювачі та перетворювачі сигналів, що знижує надійність функціонування системи в цілому;
- вартість систем подібного типу залишається вельми високою, оскільки складається з вартості не тільки датчиків і первинних перетворювачів, а й усього допоміжного обладнання, включаючи вартість обчислювального комплексу та програмного забезпечення. Крім того, комп'ютери в таких системах задіяні тільки для вирішення завдання моніторингу ДВЗ [12].

4. Системи діагностики середньо-оборотних і мало-оборотних двигунів

Розглянемо що застосовуються в даний час системи діагностики середньо-оборотних і мало-оборотних двигунів.

Система CEDC фірми «Зульцер» (Швейцарія) призначена для діагностування ЦПГ, ПА, турбокомпресора, охолоджувача наддувочного повітря (ОНП). Ця система встановлена на дизелях типу 6RND-90 теплохода «Вилли де Страсбург» (Франція). Діагностична система на базі міні-ЕОМ аналізує поточні параметри дизеля та його технічний стан. При зміні діагностичних параметрів проводиться аналіз тенденцій їх зміни в часі та встановлюється необхідний термін обслуговування (перебирання) вузла.

Поломка деталі (вузла) попереджається сигналом про досягнення граничного значення параметра. Таким чином, кожен раз проводяться тільки ті роботи, які необхідні для підтримки характеристик дизеля на оптимальному рівні. Діагностичні системи складаються з трьох основних частин [13, 15]:

- датчиків і перетворювачів сигналів, встановлених на дизелі або в безпосередній близькості до нього; центрального обробного та реєструючого пристрою, розміщеного в центральному пульті управління або в спеціальному приміщенні;

- засобів зв'язку «людина – машина», що знаходяться в центральному посту управління.

Сигнали передаються у цифровому вигляді. Термічне навантаження циліндра вимірюється термодатчиками, встановленими в кришці циліндра (2 шт.), верхній частині втулки (4 шт.) і в нижній частині втулки збоку випуску (1 шт.) на глибині близько 6 мм від робочої поверхні. Чотири термодатчика у верхній частині втулки дозволяють визначити похибку організації процесу згоряння, обертання та вібрацію поршневих кілець, а також зафіксувати сухе тертя, яке відзначає в основному датчик в нижній частині втулки. Робота поршневих кілець контролюється двома додатковими датчиками, розташованими в верхній частині втулки. Ці датчики визначають щільність прилягання кілець до втулки в момент проходження кільцем місця установки датчика та фіксують втрату рухливості й поломку кілець; при відсутності кільця в струмку (поломка кільця) інтенсивність сигналу падає не менше ніж на 25%. При аналізі процесу згоряння визначаються характерні точки процесу (p_c , p_{max} тощо) [14].

Система фірми «Зульцер» забезпечує безперервне вимірювання та реєстрацію зносу верхнього поршневого кільця дизеля, а також зазначає обертання кілець або його відсутність. Датчики індуктивні. Верхні поршневі кільця головного двигуна спеціальної конструкції. Датчики встановлюються в наскрізних свердліннях втулки врівень з її робочою поверхнею.

Обчислювальний пристрій за визначеними програмами оцінює загальний технічний стан дизеля та залишковий ресурс деталей ЦПГ, рекомендує час чергового профілактичного обслуговування. Діагностична система може бути з'єднана зі штатними системами управління та регулювання – регулятором «Вудворд», системою регулювання циркуляційної та циліндричної мастила – і брати участь в загальному процесі автоматичного регулювання режиму роботи дизеля, аж до аварійної зупинки його в разі небезпечного виходу за норму будь-яких параметрів контролю, в тому числі в системах підготовки палива й масла, охолодження тощо [15].

Система DETS фірми «Норконтрол» (Норвегія) є вимірювальним комплексом, що дає інформацію про систему впорскування палива та процесу згоряння в дизелі у вигляді роздрукованих значень параметрів і графіків. Система використовує два датчики (тиску уприскування палива та тиску в циліндрі) п'єзоелектричного типу. Два магнітні датчики дають інформацію про кут перекидання клапану (ПКВ) і частоту обертання. Додатково встановлюється датчик тиску продувочного повітря. Реєструються такі характерні параметри: p_i , p_c , p_{max} , тиск розширення в точці 40° верхньої мертвої точки, момент максимального тиску, градуси ПКВ; різниця між найбільшим і найменшим значеннями p_i протягом п'яти ходів поршня. Для візуального контролю будується діаграма тиску стиснення в зоні верхньої мертвої точки і крива тиску впорскування [15, 16].

Система PED фірми «Пилстик» (Франція) вперше була встановлена на дизелі 18PC2-5V теплохода «Ренор». За допомогою системи діагностуються середньо-оборотні дизелі фірми «СЕМТ-Пилстик» серій PC-2, PC-3, PC-4. Діагностичною системою контролюється стан корінних підшипників колінчастого вала й верхнього поршневого кільця, агрегатів турбокомпресора. Датчики системи вимірюють такі параметри: температуру та тиск за ОНП, температуру охолоджуючої води на вході в ОНП, тиск повітря за турбокомпресором, положення рейок паливних насосів високого тиску (ПНВТ),

частоту обертання ротора турбокомпресора, вібрацію підшипників турбокомпресора з видачею попереджувальних сигналів при підвищеній вібрації за допомогою датчика стану підшипників (безконтактного датчика переміщення). Датчик дає можливість виявити порушення центрування колінчастого вала. Стан верхнього кільця контролюється індуктивним датчиком «Ніпп» фірми «Віброметр» [16].

Система «Віброметр» фірми «Віброметр» (Швейцарія) діагностує такі вузли: ЦПГ, системи упорскування палива, турбокомпресора, поршневих кілець. Діагностична система випробовувалася на дво- і чотиритактних МОД і СОД. Діагностична система контролює такі вузли дизеля:

- поршень (поява стукотів, задираки);
- клапани, деталі клапанних приводів (розподільний вал, коромисло тощо), ПНВТ;
- підшипники (знос), а також такі параметри, як частота та напрямок обертання колінчастого вала, p_{\max} і характеристики впорскування.

У діагностичній системі використовуються п'єзоелектричні датчики, які збирають інформацію про акустичні сигнали, після обробки яких робиться висновок про нормальний або аномальний стан вузлів. П'єзоелектрична система оцінки звукових хвиль «Ніпп» включає п'єзоелектричний акселерометр, який виявляє неузгодженість ротора та знос підшипників турбокомпресора. Стан поршневих кілець контролюється за допомогою датчика «Ніпп». Інформація виводиться на дисплей [17, 18].

Система МЕКОМ фірми «Статронік» (Норвегія) призначена для діагностування дизелів, турбін, котлів, з її допомогою реєструються наступні параметри: рівень вібрації механізмів, температури підшипників турбін, втулок циліндрів, температура випускних газів, тиск в різних точках газоповітряного тракту [13].

Сучасні діагностичні системи дизелів контролюють зміну тиску в циліндрах залежно від часу, кута ПКВ або ходу поршня. Діаграма $p_{\text{ц}} = f(\varphi)$

ПКВ) наводиться на екрані осцилографа та вводиться у пам'ять електронно-обчислювальної машини (ЕОМ) для наступного аналізу, в процесі якого встановлюються величини p_i , p_c , p_{max} , кут ПКВ, якому відповідав би максимальний тиск у циліндрі. Значення цих параметрів, а також інших, що мають відношення до робочого процесу (тиск і температура наддувочного повітря, частота обертання колінчастого вала тощо), виводяться або можуть бути викликані на дисплей (табло) пристрою. Так працює прилад НК-2, що входить в діагностичну систему фірми «Аутроника» (Норвегія), АСЕА (Швеція) та інших [17, 18].

Системи «Комос-D1, -D2, -D3, -D4» фірми МНІ (Японія), використовують електронно-променеву трубку та систему діалогу, призначені для діагностування головного та допоміжних двигунів. Вимірювані значення порівнюються з еталонними, що зберігаються в пам'яті ЕОМ [18].

З представленого аналізу існуючих діагностичних систем двигунів засобів водного транспорту можна зробити наступні висновки:

- в даний час кожен виробник ДВЗ в першу чергу стурбований моніторингом параметрів (діагностикою) тільки свого двигуна, універсальні системи моніторингу для двигунів будь-яких моделей не створюються;
- установка спеціалізованих діагностичних комплексів здійснювалася на ДВЗ досить високої потужності, застосовуваних на морських суднах; на річкових суднах та суднах змішаного (річка-море) плавання такі системи дотепер не застосовувалися.

Технічна діагностика двигунів на суднах з класом річкового реєстру зводиться до зняття індикаторних гребінок, теплотехнічного контролю та подальшої «ручної» обробки отриманих результатів судовими механіками або теплотехнічними групами. Однак досягнення технічного прогресу та встановлені вимоги до надійності двигунів засобів водного транспорту вимагають перегляду підходів в області технічної діагностики судових технічних засобів на внутрішньому водному транспорті, тим більше що прогрес

в галузі управління об'єктами СЕУ і діагностики їх технічного стану неминуче вимагатиме переходу організацій за класифікацією на новий рівень реалізації процедур класифікації та огляду суден [19].

Висновки. Аналіз розглянутих вище й інших, не описаних у роботі, систем дозволяє сформулювати перелік діагностичних параметрів двигунів, необхідних для реалізації алгоритмів безрозбірної автоматичної технічної діагностики.

Результати аналізу доводять, що в даний час розв'язання задачі технічної діагностики суднових двигунів, а отже, і інших, менш складних об'єктів СЕУ річкових суден, стає можливим, оскільки сучасні електронні системи управління дозволяють здійснювати безперервний моніторинг технічних параметрів, збір та обробку інформації, отриманої від датчиків регульованих величин і процесів. У зв'язку з цим завдання розробки спеціалізованих діагностичних комплексів стає актуальним, так як інформація, отримана від електронних систем управління двигуном і іншими об'єктами СЕУ, може оброблятися центральним комп'ютером управління або комп'ютером машинного відділення з метою управління та діагностування всієї СЕУ [14], а, при необхідності, й окремих об'єктів.

Отже, аналіз методів і засобів контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту показує, що актуальним є метод спектрального аналізу сигналів вібродіагностування або складових спектру робочої рідини (наприклад, моторного мастила). Розглянемо методи дослідження оцінок спектральної щільності потужності при спектральному аналізі випадкових сигналів, які можна використовувати при контролі технічного стану двигунів.

Список літератури

1. Сборник резолюций Международной морской организации по вопросам судоходства. М.: В/О Мортехинформреклама, 1989. 68 с.

2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2006. 751 с.
3. Сизых В.А. Судовые энергетические установки. М. : РКонсульт, 2002. 264 с.
4. Соловьёв А.В. Интеллектуальная система управления классификационной деятельностью на водном транспорте. *Речной транспорт (XXI век)*. 2017. № 84. С. 40–42.
5. Соловьёв А.В. Концепция единого целеориентированного управления судовой энергетической установкой. *Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С.О. Макарова*. 2017. Т. 9. № 5. С. 1027-1039.
6. Сорокин В.А. Производство современных среднеоборотных судовых дизелей. *Двигателестроение*. 2013. № 3. С. 3–8.
7. Справочник капитана дальнего плавания / Аксютин Л.Р. и др.; под ред. Г.Г. Ермолаева. М. : Транспорт, 1988. 248 с.
8. Судовые двигатели внутреннего сгорания: учебник для вузов / Ю.Я. Фомин и др. Л.: Судостроение, 1989. 344 с.
9. Суворов П.С. Динамика дизеля в судовом пропульсивном комплексе. Одесса: ОНМА, 2004. 304 с.
10. Суворов П.С. Управление режимами работы главных судовых дизелей. Одесса: ЛАТСТАР, 2000. 238 с.
11. Сысоева С. Новые тенденции и перспективные технологии автомобильных датчиков систем Powertrain и контроля эмиссии. Ч. 1. Состояние и перспективы рынка датчиков положения, скорости, датчиков концентрации кислорода (газа), массового расхода воздуха и давления. *Компоненты и технологии*. 2006. № 60. С. 86–94.
12. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем / Л.Н. Александровская и др. М.: Логос, 2003. 736 с.

13. Тихонов И.В. Прогнозирование параметров траектории движения объектов на внутренних водных путях. «Практичні проблеми розвитку радіозв'язку та радіонавігації в ГМЗЛБ, у системах АІС, СУКС і РІС». Матеріали VIII науково-практичної конференції (Одеса, 6–7 листопада 2007 р.). Одеса: ОНМА. 2007. С. 8–9.
14. Тихонов И.В. Пособие судоводителя малотонажного судна / Тихонов И.В. и др. Одесса: Феникс, 2007. 302 с.
15. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надёжности. М.: Советское Радио, 1962. 552с.
16. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. Москва: Горячая линия: Телеком, 2007. 228 с.
17. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system. The Archives of Transport. 2005. No 3–4, Vol. XVII. P. 133 –147.
18. Reform in the inland water transport: China's experience URL: <https://www.unescap.org/our-work/transport> (дата звернення 12.12.2018).
19. Sustainable development of inland waterway transport in China (2009). Theme I of a World Bank Project: Comprehensive Transport System Analysis in China. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/860411468024540285/pdf/549620WP0P109910printing1En109jul09.pdf> (дата звернення 12.12.2018).