

Технічна діагностика колесотокарних верстатів та візків рухомого складу залізниць

Пріоритетним завданням залізничного транспорту є забезпечення безпеки руху. Одним із найбільш ефективних шляхів розв'язання цього завдання є впровадження та використання засобів технічної діагностики в процесі експлуатації, технічного обслуговування та ремонту рухомого складу, а також металорізальних верстатів, що застосовуються під час відновлення профілю кочення залізничних колісних пар. У статті розглянуто актуальність впровадження засобів технічної діагностики в процесах експлуатації, технічного обслуговування та ремонту рухомого складу залізничного транспорту. Обґрунтовано доцільність застосування діагностичних методів як одного з ефективних шляхів підвищення безпеки руху та переходу від планово-попереджувальної системи ремонту до системи ремонту за технічним станом.

Проведено аналіз існуючих і перспективних технологій, технологічних процесів та обладнання для виконання технічної діагностики, зокрема рішень компанії SKF. Розглянуто їх конструктивні особливості, технологічні аспекти застосування та основні експлуатаційні характеристики.

Наведено результати впровадження засобів технічної діагностики на прикладі локомотивного депо Покровськ Донецької залізниці та виконано оцінку економічної ефективності запропонованих рішень. Визначено перспективи подальших досліджень у напрямі впровадження технічної діагностики для підвищення ефективності процесів відновлення профілю кочення залізничних колісних пар.

Ключові слова: технічна діагностика; вібродіагностика; підшипник кочення; відновлення; механічна обробка; верстат.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку промисловості України в багатьох галузях широко впроваджена та практично використовується планово-попереджувальна система технічного обслуговування і ремонту обладнання. Водночас в умовах економічної нестабільності, фінансових криз та особливо в період воєнного стану дедалі більшої актуальності набуває система ремонтів за фактичним технічним станом (ремонт на вимогу), що характеризується нижчими витратами на експлуатацію.

Основною перевагою зазначеної системи є суттєве скорочення кількості операцій розбирання та складання відповідальних вузлів і деталей. Як відомо, навіть за умови високої точності виконання монтажних-демонтажних робіт, розбирання-складання вузлів та деталей обладнання неможливо повністю відтворити початкові режими затягування різьбових з'єднань. Унаслідок цього відбувається пластична деформація матеріалів, зміна геометричних параметрів деталей та порушення їх співвісності. Зазначені чинники зумовлюють повторне припрацювання сполучених елементів у процесі подальшої експлуатації, що супроводжується інтенсивним зростанням зношування тертя поверхонь і, як наслідок, істотним скороченням терміну служби деталей.

Разом з тим впровадження системи ремонту за технічним станом потребує організації ефективного контролю параметрів працездатності вузлів і деталей без застосування їх розбирання. У цьому контексті провідну роль відіграє технічна діагностика, яка на основі спеціалізованих методик і технічних засобів забезпечує оцінювання фактичного технічного стану агрегатів, виявлення дефектів і відхилень, а також формування обґрунтованих рекомендацій щодо технічного обслуговування та ремонту.

Термін «технічна діагностика» набув широкого застосування на початку 1960-х років і передбачає визначення технічного стану об'єкта в конкретний момент часу. Аналогічно до медичної діагностики, де стан організму оцінюється за сукупністю непрямих показників (температура тіла, артеріальний тиск, біохімічні характеристики крові тощо), у машинобудуванні для оцінювання стану механізмів і систем використовуються фізичні процеси та явища, що супроводжують їх роботу [1].

Принципово важливим є те, що визначення технічного стану, як правило, здійснюється без розбирання відповідальних вузлів і деталей. На відміну від традиційних форм контролю, технічна діагностика спрямована не лише на фіксацію поточного стану об'єкта, але й на прогнозування тривалості його подальшої безвідмовної експлуатації. При цьому діагностування має базуватися на результатах науково обґрунтованих досліджень, виконуватися переважно неруйнівними методами із застосуванням сучасних технічних засобів та досягнень науки і техніки. Проте на сьогодні за наявності множини різноманітних методів технічної діагностики вузлів машин немає методу, що поєднує високу достовірність визначення та прогнозування параметрів стану досліджуваного об'єкта з простотою контролю його діагностичних параметрів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Упродовж останніх років питання розроблення та впровадження систем технічного діагностування стали предметом активних досліджень значної кількості вітчизняних і зарубіжних науковців та фахівців виробничої сфери. Зокрема, окремі аспекти цієї проблематики висвітлено в наукових працях [2–5] та інших.

Незважаючи на наявність значної кількості наукових напрацювань, проблема вибору оптимального діагностичного комплексу для конкретних типів обладнання та різних технологічних режимів їх експлуатації на сьогодні залишається остаточно невирішеною.

Метою статті є дослідження та комплексний аналіз переваг і недоліків наявних технологій, обладнання та інструментальних засобів технічної діагностики, а також формулювання цілей і напрямів подальших наукових досліджень.

Викладення основного матеріалу. Впровадження систем технічного діагностування потребує комплексного системного підходу, що передбачає узгоджений розгляд усіх їх складових у взаємозв'язку, а також формування належного інформаційного, математичного та технічного забезпечення. Дані, отримані в процесі діагностування, мають підлягати структурованому накопиченню та зберіганню у спеціалізованих базах даних персональних електронно-обчислювальних машин. При цьому інформація повинна бути впорядкованою та представленою у стандартизованих формах, що забезпечують можливість автоматизованого аналізу та обробки накопичених відомостей [6].

З урахуванням характеру інформації про технічний стан агрегату доцільно виокремити два основні способи діагностування: визначення загального технічного стану об'єкта та діагностування за контрольованими параметрами.

У разі застосування першого способу за результатами діагностування встановлюється факт працездатності або непрацездатності досліджуваного агрегату, тобто визначається відповідність його стану встановленим вимогам або наявність порушень окремих з них. Таким чином, діагностування здійснюється за логічною схемою типу «так – ні», «справний – несправний». Інформація про всі відмови, тобто випадки втрати працездатності об'єкта, накопичується в спеціалізованих файлах за уніфікованими формами, що містять необхідні дані для подальшої автоматизованої обробки засобами обчислювальної техніки.

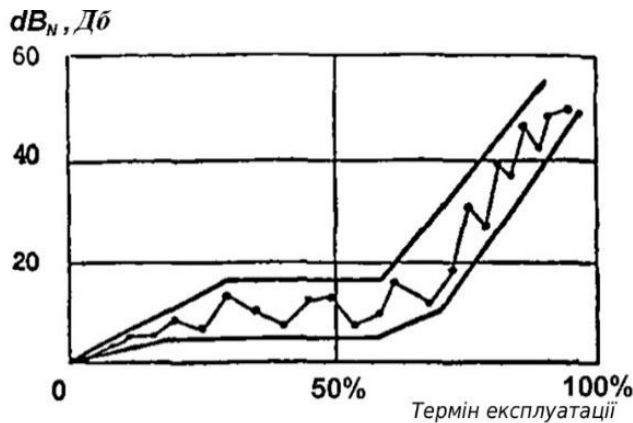
Другий спосіб діагностування передбачає отримання кількісної інформації у вигляді числових значень контрольованих параметрів, які характеризують технічний стан агрегату. Отримані дані також зберігаються в базах даних, а їх подальша обробка та аналіз дають змогу встановити функціональні залежності зміни параметрів у процесі експлуатації та обґрунтувати оптимальні міжремонтні пробіги для окремих елементів обладнання.

Кінцевим результатом функціонування системи діагностування є формування раціональної структури технічного обслуговування та ремонту обладнання. У межах цієї структури повинні бути чітко визначені кількість, періодичність і послідовність виконання різних видів технічного обслуговування та поточних ремонтів (ТО і ПР), а також встановлений перелік робіт, спрямованих на відновлення працездатності окремих вузлів і деталей, тобто обсяг впливів ремонту. Принципово важливо, що зазначені параметри формуються на основі результатів технічного діагностування і, таким чином, відображають реальні умови експлуатації та фактичний технічний стан обладнання.

Основним призначенням системи технічного обслуговування з використанням технічної діагностики є запобігання втраті працездатності обладнання, технічний стан якого може бути оцінений на підставі аналізу закономірностей зміни його параметрів у процесі експлуатації. Водночас така система зберігає плановий характер, оскільки обсяги ТО і ПР визначаються завчасно, а ремонтно-відновлювальні операції групуються з урахуванням мінімізації сукупних витрат на підтримання агрегатів у працездатному стані. Невід'ємним елементом зазначеної системи технічного обслуговування і ремонту є технічна діагностика, яка забезпечує не лише оцінювання поточного стану обладнання, а й прогнозування тенденцій його зміни в умовах експлуатації.

Використання методу ударних імпульсів для контролю підшипників. На поверхні бігових доріжок підшипників завжди є нерівності. У процесі роботи підшипника внаслідок взаємодії тіл кочення з доріжками кочення виникають механічні удари, що супроводжуються формуванням ударних імпульсів. Амплітуда цих імпульсів визначається технічним станом підшипника, якістю та станом поверхонь кочення, а також величиною окружної швидкості. Встановлено, що інтенсивність ударних імпульсів, які генерує справний підшипник, зростає приблизно у 1000 разів від початкового рівня, характерного для нового виробу, до граничного стану, за якого подальша експлуатація є недопустимою і необхідна його заміна [7]. Для спрощення сприйняття та аналізу таких значень використовується логарифмічна шкала, проградуйована в децибелах.

Експериментальні дослідження показали, що навіть новий та належним чином змащений підшипник генерує певний рівень ударних імпульсів. Значення цього початкового рівня прийнято характеризувати параметром dBI (дБ, вихідний рівень). У процесі зношування підшипника зростає параметр $dBSV$, який відповідає сумарній величині ударних імпульсів.



Нормоване значення параметра для оцінювання технічного стану підшипника визначається за залежністю:

$$dB_N = dB_{SV} - dBI. \quad (1)$$

Шкала dBN (рис. 1, 2) поділяється на три зони, що відповідають різним категоріям технічного стану підшипника:

$dB_N < 20$ – добрий технічний стан;

$dB_N = 20-40$ – задовільний технічний стан;

$dB_N > 40$ – незадовільний технічний стан, за якого необхідна заміна підшипника [8–10].

Рис. 1. Залежність ресурсу підшипника від терміну експлуатації

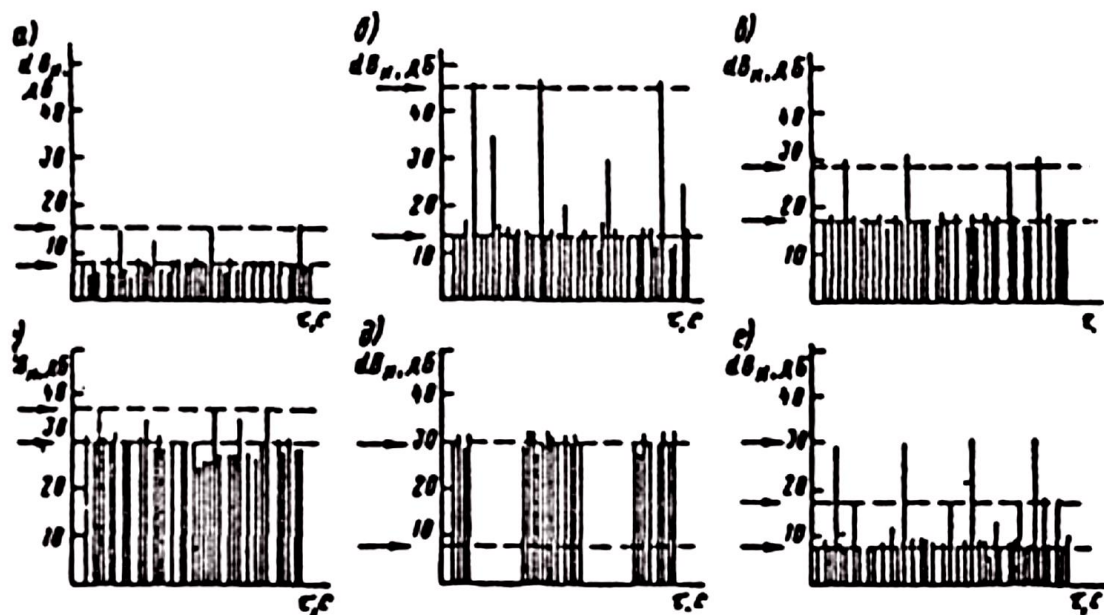


Рис. 2. Типові приклади оцінки стану рівня ударних імпульсів

Методика та умови проведення вимірювань. Вимірювання ударних імпульсів слід виконувати безпосередньо на корпусі підшипника. За наявності вільного доступу до корпусу вимірювання здійснюються із застосуванням індикаторного щупа [8–10]. Перед початком вимірювань необхідно проаналізувати конструкторську документацію механізму та переконатися у правильності вибору точок контролю з урахуванням умов поширення ударних імпульсів у конструкції. Контрольована поверхня повинна бути рівною та чистою; у разі наявності значного шару лакофарбового покриття його слід видалити. Індикаторний щуп встановлюють перпендикулярно до контрольованої поверхні з метою забезпечення достовірності результатів вимірювання (рис. 3).

Взаємозв'язок коливальних величин (середньоквадратичне значення (СКЗ) віброшвидкості, СКЗ вібропереміщення, амплітудного значення вібропереміщення) відповідно до ГОСТ 22261- 94 [11], визначається за формулою:

$$Se = Ve/2\pi f, \quad (2)$$

де f – частота коливань;

Ve – СКЗ віброшвидкості, мм/с.

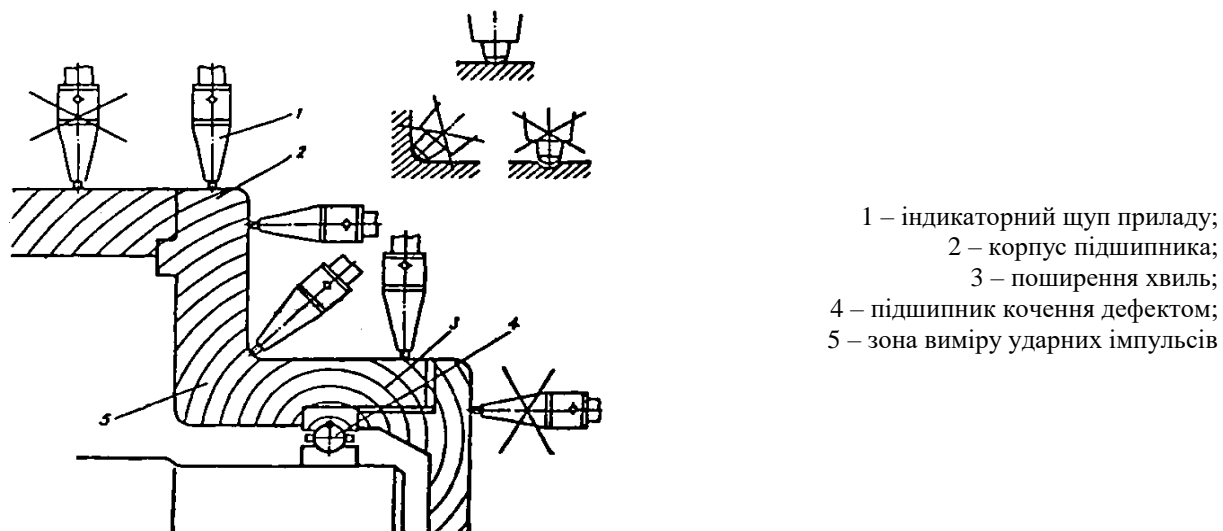


Рис. 3. Зони дії ударних імпульсів та розміщення датчиків для вимірювання ударних імпульсів підшипників кочення (перекреслені датчики – некоректе вимірювання)

Системи моніторингу SKF. Бездротові системи технічного діагностування [12, 13]. Зі зростанням вимог до продуктивності виробничих процесів суттєво підвищується навантаження на технологічне обладнання. З метою запобігання незапланованим простоям виникає потреба у підвищенні частоти контролю його технічного стану. В умовах обмеженого часу та ресурсів, відведених на проведення інспекційних обходів, вирішального значення набуває автоматизація процесів контролю, в межах якої бездротові системи виконують ключову роль у забезпеченні надійності вузлів обертання.

Онлайн-моніторинг технічного стану обладнання. Автоматизовані системи онлайн-моніторингу SKF забезпечують безперервний контроль параметрів роботи обладнання та надання актуальної інформації, необхідної для оптимізації експлуатації критично важливих виробничих активів. Застосування таких систем сприяє реалізації проактивної стратегії технічного обслуговування, оскільки вони доповнюють засоби періодичного збору діагностичних даних і забезпечують цілодобове спостереження за станом обладнання, у тому числі в складних умовах експлуатації – віддалених, небезпечних або важкодоступних зонах.

Онлайн-системи здійснюють безперервний збір діагностичної інформації зі стаціонарно встановлених датчиків із подальшою передачею даних до центрального обчислювального вузла. Обробка та аналіз отриманої інформації виконуються з використанням спеціалізованого програмного забезпечення SKF @ptitude Monitoring Suite або іншого програмного забезпечення SKF для моніторингу та аналізу технічного стану, що забезпечує підтримку прийняття рішень щодо технічного обслуговування і ремонту обладнання.

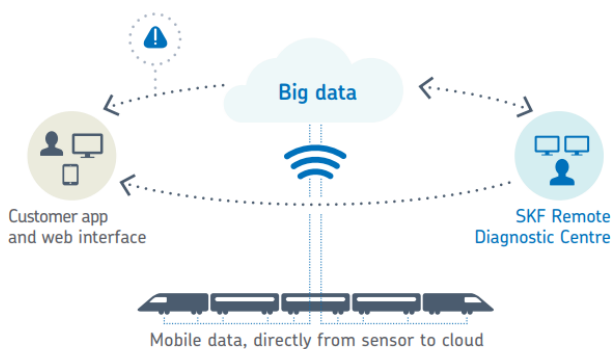
Система SKF Insight Rail [14]. Підвищення міжремонтних інтервалів та зниження витрат на технічне обслуговування залізничного транспорту. За сучасних умов експлуатації залізничного транспорту витрати на технічне обслуговування рухомого складу становлять близько 20 % загальних експлуатаційних витрат операторів. Окрім цього, виникнення позапланових зупинок і затримок руху призводить до зменшення коефіцієнта експлуатаційної готовності рухомого складу та негативно впливає на показники надійності й якості транспортних послуг. Упровадження систем технічного обслуговування за фактичним технічним станом дозволяє мінімізувати зазначені негативні чинники за рахунок своєчасного виявлення потенційних відмов і оптимізації ремонтних впливів.

Одним із прикладів реалізації такого підходу є застосування бездротових систем моніторингу технічного стану з автономним енергоживленням та можливістю віддаленого аналізу параметрів роботи візків пасажирських вагонів SKF Insight Rail (рис. 4). Подібні системи забезпечують прогнозування розвитку дефектів на ранніх стадіях, ще до переходу їх у відмовний стан, завдяки використанню алгоритмів аналізу діагностичних даних і системи попереджувальних повідомлень, орієнтованих на підтримку прийняття технічних рішень. Крім того, інтеграція результатів моніторингу у виробничі та логістичні процеси створює передумови для оптимізації управління запасами комплектувальних виробів і підвищення загальної ефективності технічного обслуговування рухомого складу.

Прийняття управлінських і технічних рішень на основі даних про фактичний технічний стан обладнання створює передумови для оптимізації процесів планування технічного обслуговування та збільшення міжремонтних інтервалів, що своєю чергою забезпечує зниження витрат на обслуговування і

скорочення сукупної вартості життєвого циклу. Застосування віддаленого моніторингу також істотно зменшує ймовірність виникнення позапланових зупинок та небажаних простоїв рухомого складу.

Системи бездротового моніторингу технічного стану *SKF Insight Rail*, призначені для використання на залізничному транспорті, характеризуються простотою впровадження та мінімальною тривалістю монтажних робіт. Такі рішення мають відповідну міжнародну сертифікацію, не потребують встановлення обладнання всередині вагонів і забезпечують можливість подальшої модернізації з урахуванням змін умов експлуатації та вимог до діагностування.



Specifications

Measurements

- Acceleration 3 Hz – 10 kHz up to 60 G
- SKF Acceleration Enveloping
- Temperature
- Wheel speed

Wireless communication

- 4G radio communications: LTE - Europe
- "Soft SIM" card pre-programmed with IoT data service

Environmental

- Operating temperature: -35 to +80 °C
- Sealing: IP 68
- Compliant to Railway standards for vibration, temperature, shock, noise, humidity, salt mist, fire and smoke

Data acquisition

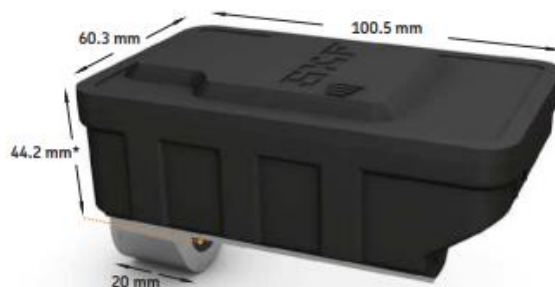
- Configurable samples/FFT line resolution
- GPS/GNSS satellite positioning

Physical

- Direct mount to existing axlebox bolthole
- Case material: rugged thermoplastic with alloy mounting base

Power

- Lithium-thionyl chloride battery pack
- Typical battery life: 3 years (actual life will vary with application and sensor configuration)



*Indication only; mounting hole assembly and dimensions may vary to suit fleet

Рис. 4. Система SKF Insight Rail

Застосування вібродіагностики для контролю стану колесо-токарних верстатів.

Вибір датчика вібрації. Різноманіття пропонованих SKF датчиків вібрації зумовлене багатоваріантністю їх експлуатаційних та вимірювальних характеристик, що підлягають вибору залежно від конкретних умов застосування [15]. До основних змінних параметрів належать динамічні характеристики, зокрема амплітудно-частотна характеристика, чутливість і точність вимірювання. Окрім цього, важливе значення мають фізичні характеристики датчиків, такі як температурний діапазон експлуатації, габаритні розміри та конструктивне виконання з'єднувальних роз'ємів. Промислові датчики вібрації з урахуванням умов застосування та вимог до вимірювань доцільно класифікувати за такими категоріями:

- *відповідні* – датчики загального призначення з прийнятними вимірювальними та фізичними характеристиками, які забезпечують виконання програм моніторингу технічного стану обладнання в умовах змінних параметрів сигналу, коли досягнення максимальної точності не є критичною вимогою;
- *оптимальні* – датчики загального призначення з покращеними вимірювальними та фізичними характеристиками, що мають додаткові функціональні можливості, зокрема розширений температурний діапазон або різні варіанти монтажу, які забезпечують кращу адаптацію до специфічних умов експлуатації;
- *найкращі* – датчики з максимально збалансованими вимірювальними та фізичними характеристиками, ефективність і надійність яких підтверджені тривалим досвідом практичного

застосування. Такі датчики є доцільними для використання на відповідальному обладнанні, зокрема в системах, пов'язаних із забезпеченням безпеки та захистом обладнання від аварійних режимів роботи.

Накопичений SKF експлуатаційний досвід у сфері використання датчиків вібрації дозволяє обґрунтовано здійснювати вибір оптимальних рішень для конкретних галузей промисловості. Моніторинг вібраційного стану широко застосовується у верстатобудуванні, целюлозно-паперовій, харчовій та загальнопромисловій галузях, у нафтогазовидобутку, нафтопереробці та нафтохімічному виробництві, в енергетиці (тепловій, атомній, гідро- та вітроенергетиці), металургії, гірничодобувній, гірничозбагачувальній і цементній промисловості, а також у складі портативних систем збору та аналізу діагностичних даних. Крім того, для забезпечення коректної роботи датчиків вібрації застосовується широкий спектр допоміжних елементів, зокрема з'єднувальні кабелі, роз'єми, монтажні пристрої та інші аксесуари, які забезпечують надійність кріплення, стабільність сигналу та відповідність умовам експлуатації.

Ультракompактний датчик вібрації – акселерометр SKF CMSS 100F (рис. 5) [16]. Для застосування на металорізальних верстатах розроблено ультракompактний датчик вібрації – акселерометр SKF CMSS 100F. Конструктивне виконання датчика передбачає його встановлення у фронтальній зоні шпиндельного вузла, що забезпечує підвищену точність реєстрації вібраційних сигналів і розширює можливості аналізу їх частотних характеристик. Це своєю чергою, сприяє підвищенню достовірності діагностування технічного стану шпиндельних вузлів.

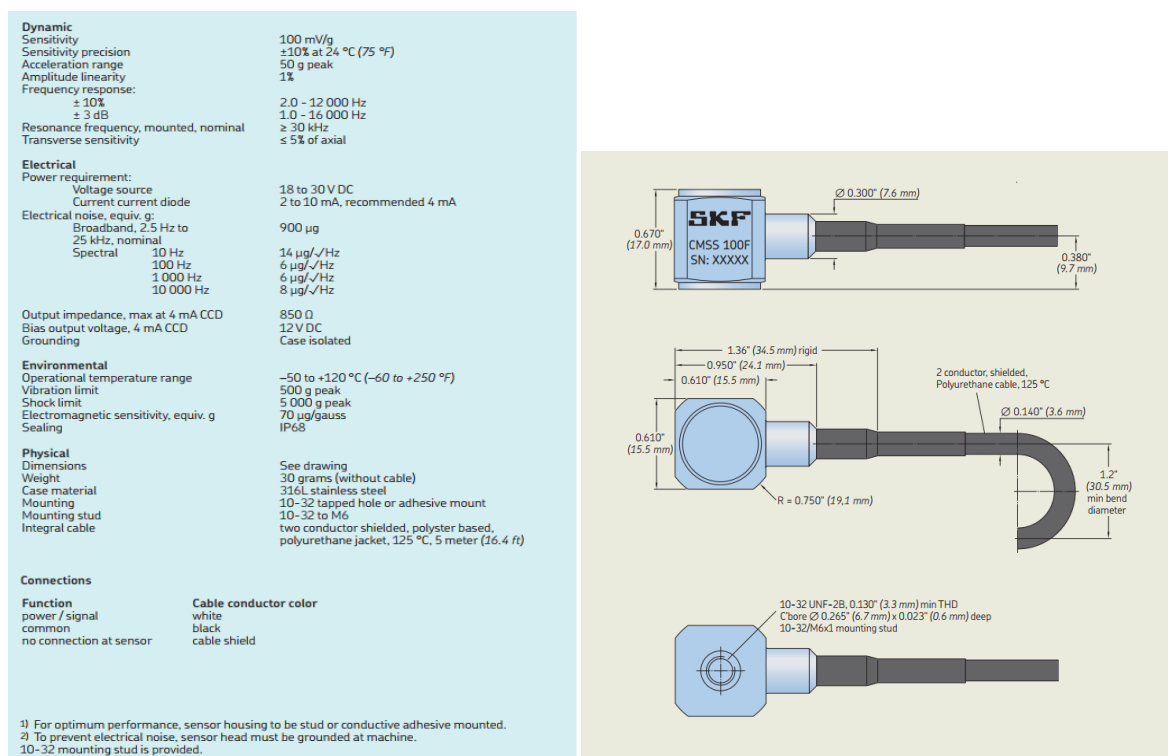


Рис. 5. Характеристики датчика вібрації – акселерометр SKF CMSS 100F [16]

Акселерометр SKF CMSS 100F оснащений вбудованим поліуретановим кабелем, стійким до впливу агресивних мастильно-охолоджувальних рідин, із кабельним виводом для підключення до систем онлайн-моніторингу. Конструктивні особливості включають компактний низькопрофільний корпус, можливість встановлення у обмеженому просторі на шпильку або за допомогою клейового з'єднання, широкий частотний діапазон, високу чутливість і стійкість до електричних перешкод. Датчик відповідає вимогам CE (стандарти охорони праці та безпеки), EMC (електромагнітна сумісність) та RoHS (обмеження використання небезпечних речовин).

Універсальний акселерометр SKF CMSS 2200 – промисловий акселерометр, що має бічний вихід із двома штекерами та може застосовуватися у різних верстатах як з онлайн-системами, так і з портативними пристроями збору даних [17]. Датчик характеризується високою надійністю, низьким рівнем шуму, широким температурним діапазоном експлуатації та стабільністю чутливості за підвищених температур. Його конструкція дозволяє встановлення в будь-якій орієнтації, а низькопрофільний корпус із герметичним виконанням забезпечує стійкість до корозії та захист від зворотної полярності дровів. Монтаж здійснюється через нерознімні болти (1/4-28 або M6 × 1,00).

Завдяки таким характеристикам CMSS 100F і CMSS 2200 забезпечують точне та надійне визначення вібраційного стану верстатів і рухомих механізмів у промислових умовах.

Технічні характеристики акселерометра CMSS 2200:

- чутливість: 100 мВ/г;
- вузька частотна характеристика: від 0,2 Гц до 3,7 кГц;
- призначення для моніторингу обертових компонентів з частотою від 12 об/хв і вище;
- низький рівень шуму та виняткова стабільність сигналу;
- можливість використання на обладнанні з обмеженим простором;
- кожен датчик калібрується перед експлуатацією.

Вібрації шпинделя верстата є одним з головних факторів, що впливають на якість механічної обробки та стійкість різального інструменту. Саме цьому цей параметр суворо регламентований Стандартом ISO 17243.

Стандарт ISO 17243 містить такі різні частини [18]:

- ISO 17243-1: Вбудовані шпинделі на підшипниках від 600 до 30 000 об/хв [19];
- ISO 17243-2: Шпинделі з прямим або ремінним приводом на підшипниках від 600 до 30 000 об/хв [20];
- ISO 17243-3: Шпинделі із зубчастою передачею на підшипниках від 600 до 12000 об/хв [21].

Практичне застосування засобів діагностики та економічна доцільність. У локомотивному депо Красноармійськ (Покровськ) Донецької залізниці, автором цієї статті було впроваджено технологічні карти для проведення технічного обслуговування ТО-3 та поточних ремонтів ПР-1 тепловозів моделей ЧМЕЗ та 2ТЕ116. Впровадження та застосування цих карт сприяє зниженню кількості відмов вузлів тепловозів, що підтверджується графіком відмов (рис. 6) і розрахунком економічного ефекту.

До впровадження діагностичних карт у депо ГЧ4 Красноармійськ спостерігалися часті випадки прогарів поршнів, клапанів, циліндрових кришок, вихлопних колекторів та глушників через неправильне регулювання паливної апаратури. У діагностичних картах тепловозів ЧМЕЗ передбачено проведення вимірів:

- тиску стиснення для оцінки стану циліндро-поршневої групи двигунів тепловозів;
- тиск спалаху для контролю роботи паливної апаратури та клапанів у циліндрах дизеля;
- тиску палива в паливному колекторі на «0-й», «4-й» та «8-й» позиціях контролера машиніста.

Заміри тиску стиснення та спалаху виконуються на «0-й» позиції контролера машиніста, при цьому тиск спалаху заміряється шляхом «часткового завантаження» дизеля, а саме: відбувається відключення 50 відсотків паливних насосів через один по черзі роботи дизеля і виконуються заміри тиску спалаху на «робочих» циліндрах, а потім аналогічні виміри виконуються на решті циліндрів.

Раніше також спостерігалися задири циліндричних втулок поршнями через перегрівання, що було наслідком недостатнього тиску масла в системі змащення дизеля. Причиною цього слугували витіки масла через корінні та шатунні вкладиші, обумовлені збільшеним зазором. Для своєчасного виявлення цієї несправності в картках передбачено замір тиску масла на «0-й», «4-й» та «8-й» позиціях контролера машиніста, а також вимір зазорів у корінних та шатунних вкладишах колінчастого валу дизеля тепловозів ЧМЕЗ.

Для економії палива та часу значення тиску стиснення та спалаху на «0-й» позиції контролера отримуються (як еталонні) безпосередньо за допомогою максиметра на тепловозах після капітального ремонту. З метою запобігання передчасному виходу з ладу турбокомпресорів тепловозів ЧМЕЗ у картках передбачено вимір величини наддуву на «8-й» позиції контролера та час вибігу ротора (має складати 55–60 секунд). Вихід турбокомпресорів з ладу через перегрівання та прогар клапанів запобігається шляхом контролю тиску стиснення та спалаху циліндрів дизеля.

Для запобігання задири шийок моторно-осьових підшипників тягових електродвигунів колісних пар у діагностичних картках передбачено обміри зазорів «на масло». З метою підвищення безпеки руху карти доповнено даними вимірів колісних пар та автотягачних пристроїв.

Для тепловозів 2ТЕ116 стан циліндро-поршневої групи та паливної апаратури визначається шляхом вимірювання температури вихлопних газів за допомогою штатного комплекта термодатчиків ТКД. Контроль стану масляної системи здійснюється заміром тиску масла при частоті обертання колінчастого валу 350 і 1000 об/хв, а також на вході та виході фільтрів тонкого та грубого очищення. Стан паливного насоса та паливної системи визначається шляхом виміру тиску палива перед та після фільтрів тонкого очищення (ФТО).

Незважаючи на наявність перепробігів від ПР та КР у більшості локомотивів на момент впровадження (19 од. тепловозів ЧМЕЗ та 7 од. тепловозів 2ТЕ116), застосування діагностичних карт і виконання зазначених замірів дозволило оптимізувати частоту проведення реостатних випробувань тепловозів та знизити кількість позапланових ремонтів, що сприяло економії часу та палива й зменшенню трудомісткості обслуговування.

Розрахунок економічного ефекту підтвердив суттєву економію за рахунок зменшення кількості позапланових ремонтів та заміни вузлів тепловозів, що становила в середньому 617,5 тис. грн на рік за цінами 2020 року.



Рис. 6. Графік кількості відмов вузлів тепловозів (1996–1999 роки – до впровадження діагностичних карт, 2000–2003 роки – після їх впровадження)

Висновки та перспективи подальших досліджень. На сьогоднішній день на більшості підприємств засоби технічної діагностики ще не знайшли широкого застосування для своєчасного виявлення дефектів обладнання в експлуатації та під час проведення ТО та ПР. Розроблення та практичне впровадження засобів і технологій технічної діагностики обладнання є економічно обґрунтованим та перспективним напрямом наукових досліджень. Зазначена проблематика має важливе значення як для України, зокрема в умовах воєнного стану, так і для світової спільноти в контексті реалізації концепцій сталого розвитку економіки та парадигм INDUSTRY 4.0 і INDUSTRY 5.0.

Список використаної літератури:

1. *Бабанін А.* Рухомий склад: діагностика, експлуатація / *А.Бабанін* // Магістраль. – 1998. – № 30.
2. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів : навчальний посібник / *В.В. Біліченко, В.Л. Крещенецький, Ю.Ю. Кукурудзяк, С.В. Цимбал.* – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 118 с.
3. Фізичні основи теорії надійності : підручник / *М.К. Жердєв, С.В. Ленков, Б.П. Креденцер та ін.* ; за ред. *М.К. Жердєва.* – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 215 с.
4. Методи вібраційної діагностики початкових стадій пошкодження обертових систем / *І.М. Яворський, П.П. Драбич, І.Б. Кравець, І.Й. Мацько* // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2011. – № 2. – С. 134–140.
5. *Борисюк Д.В.* Особливості вібродіагностики низькооборотних підшипників кочення / *Д.В. Борисюк, І.В. Твердохліб, Ю.А. Полевода* // Вібрації в техніці та технологіях. – 2013. – № 4 (72). – С. 56–60.
6. *Міщенко В.О.* Обслуговування рухомого складу та спеціальної техніки залізничного транспорту (локомотиви) / *В.О. Міщенко, Л.В. Бескровна.* – Дніпропетровськ : ІМА-прес, 2002. – 144 с.
7. Методичні вказівки по застосуванню засобів вібродіагностики. – Донецьк : Управління донецької залізниці, 1997. – 57 с.
8. Віброметр ВВМ-201 : паспорт. – 64 с.
9. Перетворювач п'єзоелектричний вібровимірювальний ДН-3-Ш : паспорт. – 40 с.
10. Індикатор вібродіагностичний Контест 77D : паспорт. – 15 с.
11. Засоби вимірювань електричних та магнітних величин. Загальні технічні умови : ГОСТ 22261-94.
12. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.skf.com/kz/products/condition-monitoring-systems>.
13. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.skf.com/kz/products/condition-monitoring-systems/portable-systems>.
14. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.skf.com/kz/industries/railways/solutions/insight-rail>.
15. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.skf.com/kz/products/condition-monitoring-systems/sensors/vibration-sensors>.
16. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680a7e9f9/pdf_preview_medium/0901d19680a7e9f9_pdf_preview_medium.pdf#cid-bltee540ddf823ce93.
17. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.skf.com/kz/industries/machine-tools/products-and-solutions/ultra-compact-vibration-sensors-for-machine-tools>.
18. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/59471/f0d7c85e26f44e3ba3f8b0d5b9fb9b0b/ISO-TR-17243-1-2014.pdf>.
19. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/59471/f0d7c85e26f44e3ba3f8b0d5b9fb9b0b/ISO-TR-17243-1-2014.pdf>.

20. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/66432/d72b853f6b574aefbe90c1fab3cd933d/ISO-TR-17243-2-2017.pdf>.
21. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/74650/3f3d36bc617247d9b2a98e3731b27bee/ISO-TR-17243-3-2020.pdf>.

References:

1. Babanin, A. (1998), «Rukhomiyi sklad: diahnostryka, ekspluatatsiia», *Mahistral*, No. 30.
2. Bilichenko, V.V., Kreshchenetskyi, V.L., Kukurudziak, Yu.Yu. and Tsybal, S.V. (2012), *Osnovy tekhnichnoi diahnostryky kolisnykh transportnykh zasobiv, navchalnyi posibnyk*, VNTU, Vinnytsia, 118 p.
3. Yavorskyi, I.M., Drabych, P.P., Kravets, I.B. and Matsko, I.I. (2011), «Metody vibratsiinoi diahnostryky pochatkovykh stadii poskodzhennia obertovykh system», *Fizyko-khimichna mekhanika materialiv*, No. 2, pp. 134–140.
4. Borysiuk, D.V., Tverdokhlib, I.V. and Polievoda, Yu.A. (2013), «Osoblyvosti vibrodiahnostryky nyzkoobertovykh pidshyupnykiv kochennia», *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*, No. 4 (72), pp. 56–60.
5. Zherdiev, M.K., Lienkov, S.V., Kredentser, B.P. et al. (2008), *Fizychni osnovy teorii nadiinosti*, pidruchnyk, in Zherdiev, M.K. (ed.), Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr «Kyivskiy universytet», K., 215 p.
6. Mishchenko, V.O. and Beskrovna, L.V. (2002), *Obsluhovuvannia rukhomoho skladu ta spetsialnoi tekhniky zaliznychnoho transportu (lokomotyvy)*, IMA-pres, Dnipropetrovsk, 144 p.
7. *Metodychni vkazivky po zastosuvanniu zasobiv vibrodiahnostryky* (1997), Upravlinnia donetskoi zaliznytsi, Donetsk, 57 p.
8. *Vibrometr VVM-201*, pasport, 64 p.
9. *Peretvoriuvach piezoelektrychni vibrovymiriuvalni DN-3-Sh*, pasport, 40 p.
10. *Indyktor vibrodiahnostychni Kontest 77D*, pasport, 15 p.
11. *HOST 22261-94 Zasoby vymiriuvan elektrychnykh ta mahnitnykh velychyn. Zahalni tekhnichni umovy*.
12. [Online], available at: <https://www.skf.com/kz/products/condition-monitoring-systems>
13. [Online], available at: <https://www.skf.com/kz/products/condition-monitoring-systems/portable-systems>
14. [Online], available at: <https://www.skf.com/kz/industries/railways/solutions/insight-rail>
15. [Online], available at: <https://www.skf.com/kz/products/condition-monitoring-systems/sensors/vibration-sensors>
16. [Online], available at: https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680a7e9f9/pdf_preview_medium/0901d19680a7e9f9_pdf_preview_medium.pdf#cid-bltee540ddfb823ce93
17. [Online], available at: <https://www.skf.com/kz/industries/machine-tools/products-and-solutions/ultra-compact-vibration-sensors-for-machine-tools>
18. [Online], available at: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/59471/f0d7c85e26f44e3ba3f8b0d5b9fb9b0b/ISO-TR-17243-1-2014.pdf>
19. [Online], available at: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/59471/f0d7c85e26f44e3ba3f8b0d5b9fb9b0b/ISO-TR-17243-1-2014.pdf>
20. [Online], available at: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/66432/d72b853f6b574aefbe90c1fab3cd933d/ISO-TR-17243-2-2017.pdf>
21. [Online], available at: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/74650/3f3d36bc617247d9b2a98e3731b27bee/ISO-TR-17243-3-2020.pdf>

Бахман Сергій Олександрович – аспірант кафедри механічної інженерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0009-0001-9568-0621>.

Наукові інтереси:

- відновлення профілю кочення залізничних колісних пар;
- технічна діагностика;
- металорізальні верстати та системи.

E-mail: sergbakhman@gmail.com.

Bakhman S.O.

Technical diagnostics of wheel lathes and railway rolling stock bogies

Ensuring operational safety is a primary objective of railway transport. One of the most effective approaches to achieving this objective is the implementation and application of technical diagnostic tools during the operation, maintenance, and repair of rolling stock, as well as metal-cutting machine tools used for restoring the rolling profile of railway wheelsets. The article substantiates the relevance of introducing technical diagnostic systems into the processes of operation, maintenance, and repair of railway rolling stock. The feasibility of applying diagnostic methods as an effective means of improving traffic safety and transitioning from a scheduled preventive maintenance system to a condition-based maintenance system is justified.

An analysis of existing and promising technologies, technological processes, and equipment for technical diagnostics is carried out, including solutions developed by SKF. Their design features, technological aspects of application, and main operational characteristics are presented.

The results of implementing technical diagnostic tools are demonstrated using the example of the Pokrovsk locomotive depot of the Donetsk Railway. The economic efficiency of the proposed solutions is evaluated. Prospects for further research aimed at expanding the use of technical diagnostics to improve the efficiency of railway wheelset rolling profile restoration processes are identified.

Keywords: technical diagnostics; vibration diagnostics; rolling bearing; restoration; machining; machine tool.

Стаття надійшла до редакції 05.01.2026.