

УДК 629.4.064.5

**ВИБІР МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ДОПОМІЖНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН  
ЕЛЕКТРОВОЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

Кандидати техн. наук А. Л. Сумцов, Н. Д. Чигирик, М. В. Павлюченков,  
магістрант В. В. Калініченко

**ВЫБОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
МАШИН ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Кандидаты техн. наук А. Л. Сумцов, Н. Д. Чигирик, М. В. Павлюченко,  
магистрант В. В. Калиниченко

**SELECTION METHODS OF DIAGNOSTATION OF SUPPLY ELECTRICAL MACHINES  
DC ELECTRIC LOCOMOTIVE**

**PhD (Tech.) A. L. Sumtsov, N. D. Chyhyryk, M. V. Pavliuchenkov, master V. V. Kalinichenko**

*У статті розглянуто актуальну проблему вибору методу діагностування допоміжних електричних машин електровозів. Праналізовано існуючі підходи до діагностування найбільш проблемних частин – обмоток та підшипникових вузлів. Проведений аналіз дав змогу вибрати два методи для комплексної діагностики стану ізоляції обмоток та*

доповнити їх перевіркою стану підшипників, що забезпечує системний підхід до перевірки електричних машин.

**Ключові слова:** електричні машини, діагностування, електровози постійного струму, вібродіагностика, ізоляція електричних машин.

*В статье рассмотрена актуальная проблема выбора метода диагностики вспомогательных электрических машин электровозов. Проведен анализ существующих подходов к диагностике наиболее проблемных частей – обмоток и подшипниковых узлов. Проведенный анализ позволил выбрать два метода для комплексной диагностики состояния изоляции обмоток и дополнить их проверкой состояния подшипников, что обеспечивает системный подход к проверке электрических машин.*

**Ключевые слова:** электрические машины, диагностика, электровозы постоянного тока, вибродиагностика, изоляция электрических машин.

*The article deals with the actual problem of choosing the method of diagnosing auxiliary electric cars of electric locomotives. From the reliability of electric cars traction rolling stock depends not only on the reliability of the locomotive, but also traffic safety and the ability to provide the transportation process. Therefore, the issue of improving the reliability of electrical machines is relevant.*

*The analysis of existing approaches to the diagnostics of the most problematic parts - windings and bearing units is carried out. These nodes account for 89% of all births.*

*The quality of the insulation is characterized, first of all, by the value of its resistance, which determines the main purpose of isolation - a reliable separation of current-carrying parts. The simplest method and the most frequently used method is the direct measurement of insulation resistance. This method allows, in most cases, to quickly assess the quality of the insulation and determine the suitability for further use. This method was most widely used in diagnosing the isolation of electric machines. But the lack of its informativity and the ability to predict the future state of isolation causes the search for new methods for diagnosis.*

*Taking into account the conducted analysis, it is expedient to use two methods for inspecting the state and isolation resource: insulation resistance measurement and pulse method.*

*At present, four methods of ultrasonic evaluation of the technical condition of rolling bearings are used in practice: the Peak-factor, the direct spectrum, the impulse impulses, and the envelope spectrum. The latter was most widely used in rail transport. It provides the most complete information on the bearing position and its components.*

*As a result of the analysis and selected methods on test benches, it is advisable to install insulation resistance measuring equipment combined with the assessment of absorption and polarization factors that need to be supplemented by checking the bearing condition, providing a systematic approach to checking electrical machines.*

**Keywords:** electric machines, diagnostics, DC electric locomotive, vibration diagnostics, isolation of electric machines.

**Вступ.** Від надійності функціонування електричних машин (ЕМ) тягового рухомого складу (ТРС) залежить не тільки надійність роботи ТРС, а й безпека руху і можливість забезпечення перевізного процесу. Тому питання підвищення надійності ЕМ є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемі підвищення надійності ЕМ ТРС присвячено багато публікацій [1–12]. Більшість з них акцентують увагу на проблемі надійності тягових електродвигунів (ТЕД). Це пов'язано зі значними витратами на утримання та ремонт ТЕД і

безпосереднім використанням їх при реалізації сили тяги локомотива. У всіх перелічених роботах діагностування відбувається тільки за одним критерієм, що не дає змоги всебічно оцінити стан електричної машини.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою дослідження є розроблення комплексного підходу до

оперативної діагностики стану ЕМ електровозів постійного струму.

**Основна частина дослідження.** Для визначення найбільш проблемних вузлів електричних машин було зібрано статистичну інформацію щодо відмов електричних машин електровозів ВЛ11м в експлуатації. Результати розподілу відмов по вузлах наведено на рис. 1.

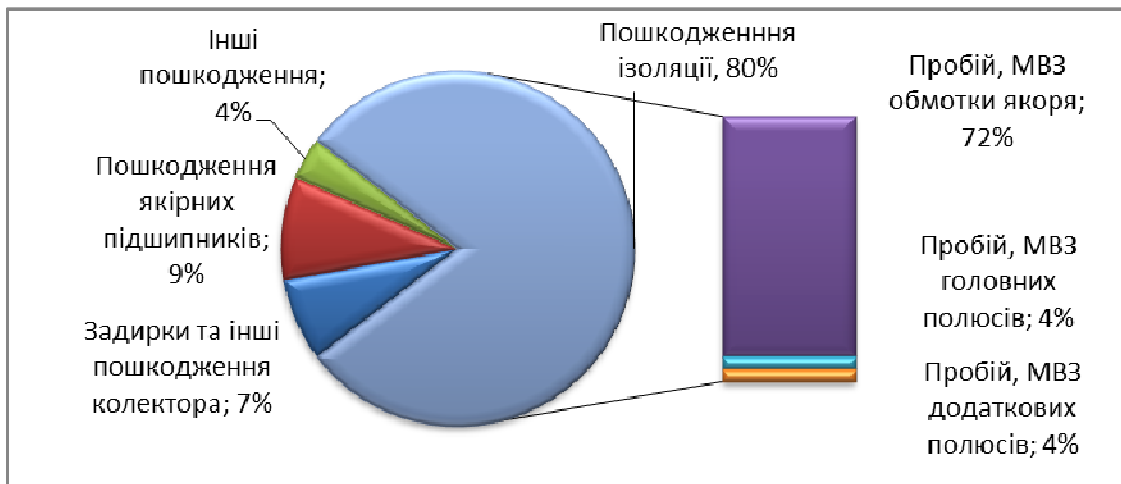


Рис. 1. Причини відмов допоміжних машин електровозів ВЛ11м

Отримані дані засвідчили, що найбільш проблемним є стан ізоляції якоря й полюсів, стан колектора та підшипників кочення. Визначення стану колектора проводиться переважно візуальним

методом. Інші два напрямки оцінюються за допомогою різних методів та приладів.

На сьогоднішній момент на практиці успішно застосовується безліч методів визначення стану ізоляції (рис. 2).



Якість ізоляції визначається, насамперед величиною її опору, що визначає основне призначення ізоляції –

частин. Найпростішим і найбільш часто використовуваним є метод прямого вимірювання

опору ізоляції. Цей метод дає змогу швидко оцінити якість ізоляції та визначити придатність до подальшого використання. Він є найбільш розповсюдженим при діагностуванні ізоляції електричних машин.

Для оцінки ізоляції за методом діелектричного розряду на практиці застосовують коефіцієнт діелектричного розряду

$$DD = I_{min} / (U F), \quad (1)$$

де  $I_{min}$  – струм витоку після 1 хв від початку розряду, А;

$U$  – тестова напруга, В;

$F$  – ємність ізоляції, Ф.

Збільшення значення коефіцієнта  $DD$  може свідчити про наявність прихованих пошкоджень. Складність застосування цього методу полягає в тому, що характерні значення  $DD$  для конкретного обладнання виявляються різними, а ємність ізоляції невідомою. Результати, отримані із застосуванням цього методу, потребують коригування по температурі.

Якість ізоляції може характеризуватися з використанням явища абсорбції за допомогою таких параметрів: опору ізоляції, напруги саморозряду, коефіцієнта абсорбції і зворотної напруги. Під абсорбцією розуміють явище поляризації ізоляції і накопичення заряду всередині неї. Для визначення ступеня зволоженості ізоляції здійснюються додаткові виміри опору ізоляції на 15-й і 60-й секундах, а також на десятій хвилині після подачі випробувальної напруги, позначають значення цих опорів як  $R_{15}$ ,  $R_{60}$  і  $R_{10}$  відповідно.

Ступінь зволоженості ізоляції електромашин і можливість їх подальшої експлуатації визначаються за значеннями коефіцієнтів абсорбції  $D$  і поляризації  $PI$ , що визначаються за формулами:

$$D = R_{15} / R_{60}, \quad (2)$$

$$PI = R_{60} / R_{10}. \quad (3)$$

Стандартна процедура тестування ступінчастою напругою передбачає подачу в систему обмотка / корпус випробувальної напруги 500 В з подальшим вимірюванням опору обмотки. При відсутності виявлених пошкоджень випробувальну напругу підвищують на 500 В і цикл вимірювань повторюється. У кожному наступному кроці (ступені напруги) обчислюється відносна зміна опору ізоляції  $\Delta R_{cm}$  за формулою

$$\Delta R_{cm} = R_{cm_i} / R_{cm_{i-1}}, \quad (4)$$

де  $R_{cm_i}$  – значення опору ізоляції, виміряне на  $i$ -му ступені тестування;

$R_{cm_{(i-1)}}$  – значення опору ізоляції, виміряне на  $(i-1)$ -му ступені тестування.

Результати випробувань не потребують коригування по температурі. Повний цикл тестування складається з п'яти кроків (до напруги 2500 В). При випробуванні ізоляції збільшення тестової напруги, а відповідно і струму, не даватиме змін опору аж до досягнення критичних впливів. Будь-які відхилення можуть указувати на наявність дефектів ізоляції. На низькій тестовій напрузі ми можемо не виявити пошкоджень, але зі збільшенням тестової напруги можна дійти до точки, у якій ефект поляризації досягне пошкоджень або тріщин. Цей факт буде зафіксований за збільшенням струму.

Найбільш поширеними для виявлення міжвиткових замикань (МВЗ) обмоток якорів є імпульсні методи. Перевага імпульсних методів у тому, що за допомогою джерела невеликої потужності можна забезпечити достатньо високу напругу між витками обмотки якоря [11].

Серед імпульсних методів можна виділити метод «біжучої хвилі». Імпульс напруги, поданий на електрод, спричиняє поширення від нього двох хвиль високої напруги. Якщо опори обох гілок обмотки однакові, то ці хвилі досягнуть бічних електродів одночасно і на екрані осцилографа буде видна симетрична

синусоїда. Якщо опори гілок обмотки неоднакові, то на екрані осцилографа з'явиться сплеск сигналу. Це означає, що на якійсь ділянці обмотки, розташованої між центральним і одним з бічних електродів, є МВЗ або обрив витків.

Імпульсні випробування електродвигунів можуть також мати на увазі запис хвильових ефектів, що виникають у результаті подачі в обмотку випробувальних імпульсів, і порівняння їх з еталонними або отриманими на інших обмотках тієї ж машини [9, 11].

З огляду на проведений аналіз для перевірки стану та ресурсу ізоляції доцільно використовувати два методи: вимірювання опору ізоляції та імпульсний метод. При цьому на випробувальних стендах вимірювання опору ізоляції доцільно об'єднувати з оцінкою коефіцієнтів абсорбції  $D$  і поляризації  $PI$ .

Неруйнівний контроль підшипників здійснюється такими основними методами дефектоскопії [7]: магнітно-порошковий, вихрострумний, акустичний.

Акустичний метод неруйнівного контролю оснований на використанні хвиль і пружних коливань. Інформативні параметри – час, частота, амплітуда, фаза, спектр. За акустичним методом частіше застосовують звукові й ультразвукові частоти, тобто використовують діапазон частот приблизно від 0,5 кГц до 30 МГц, що відповідає ультразвуковому.

Переваги ультразвукового методу контролю:

- можливість виявлення як поверхневих, так і внутрішніх дефектів;
- можливість виявлення тонких тріщин;
- безпека для обслуговуючого персоналу.

Недоліки:

- складна форма та малі розміри деталей;

- шорсткість поверхні виробу.

У наш час у практиці використовуються чотири методи ультразвукового оцінювання технічного стану підшипників кочення: пік-чинника, прямого спектра, ударних імпульсів і спектра обвідних. Останній найбільш розповсюджений на залізничному транспорті.

Для діагностування ТЕД використовується режим обертання колісної пари з постійною частотою. Основним видом аналізу сигналів є спектральний аналіз як низькочастотної (та частково середньочастотної) вібрації підшипникових вузлів (аналіз автоспектрів вібрації), так і обвідної (спектральний аналіз коливань потужності) високочастотної вібрації. Крім цього, контролюється форма (середньоквадратичне та пікове значення) ультразвукової вібрації (у смузі 10-25 кГц) і спектральна щільність низькочастотної вібрації [2].

**Висновки.** Таким чином, проаналізовані методи доповнюють один одного. Використання комплексу вимірювальних приладів, що перевіряють стан ізоляції та підшипникових вузлів, дасть змогу запобігти 89 % відмов допоміжних машин.

### Список використаних джерел

1. Жалкін, Д. С. Методи післяремонтних випробувань та моніторингу технічного стану тягових двигунів електровозів [Текст] / Д. С. Жалкін, О. М. Тимченко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків : УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 141. – С. 130-134.
2. Методи діагностування технічного стану елементів колісно-моторних блоків тягового рухомого складу [Текст] / Н. Д. Чигирик, С. І. Возненко, І. Р. Вихопень, О. В. Клецька // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2017. – № 4 (234). – С. 235-243.
3. Губаревич, О. В. Надійність і діагностика електрообладнання [Текст] : підручник / О. В. Губаревич. – Северодонецьк : Вид-во СХУ ім. В. Даля, 2016. – 248 с.

4. Решетняк, І. С. Підвищення надійності роботи тягових електродвигунів існуючих локомотивів [Текст] / І. С. Решетняк, А. П. Фалендиш, А. М. Зінківський // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків : УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 147. – С. 77-82.
5. Діагностування підшипників кочення допоміжних машин електровоза з використанням параметричної моделі та спектра обвідної вібрації [Текст] / Е. Д. Тартаковський, С. В. Михалків, А. М. Ходаківський, Р. С. Сапон // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Машинобудування. – 2016. - № 3 (78). – С. 12-18.
6. Жалкін, Д. С. Удосконалення методів контролю теплового стану тягових електричних двигунів електровозів [Текст] / Д. С. Жалкін, А. В. Таран // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 158, Т. 2. – С. 74-82.
7. Авер'янов, В. Неруйнівний контроль і діагностування підшипників кочення [Текст] / В. Авер'янов // Вісник ТНТУ. – 2015. – Т. 77, №1. – С. 142–149.
8. Baranski, M. Selected Diagnostic Methods of Electrical Machines Insulation Operating in Industrial Conditions [Text] / M. Baranski, A. Decner, A. Polak // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical, 2014. – № 5. – P. 2047-2054.
9. Pollak, A. The use of DC current to testing condition of the insulation of electrical machines [Text] // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY. – 2013. – №1 – P. 123-131.
10. Sumtsov, A. Thermal imaging diagnostics locomotives [Text] / A. Sumtsov, A. Falendysh, O. Kletska // MATEC Web of Conferences 182, 01004.
11. Шестаков, И. В. Совершенствование технологии диагностирования изоляции тяговых электродвигателей подвижного состава [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.22.07 / И. В. Шестаков. – Омск : Омский гос. ун-т путей сообщения, 2013. – 212 с.
12. Буйносов, А. П. Техническая диагностика электроподвижного состава [Текст]: учеб.-метод. пособие / А. П. Буйносов, К. А. Стаценко. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2013. – 126 с.

---

Калініченко В'ячеслав Вікторович, магістрант, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту.

Сумцов Андрій Леонідович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: sal-hiit@i.ua.

Чигирик Наталія Дмитрівна, канд. техн. наук, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: natalia65@ukr.net.

Павлюченков Михайло Васильович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри будівельної механіки та гідравліки Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: misha\_83@ukr.net.

Калиниченко Вячеслав Викторович, магистрант, кафедра эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.

Сумцов Андрей Леонидович, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. E-mail: sal-hiit@i.ua.

Чигирик Наталья Дмитриевна, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. E-mail: natalia65@ukr.net.

Павлюченков Михаил Васильевич, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры строительной механики и гидравлики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. E-mail: misha\_83@ukr.net.

Kalinichenko Vyacheslav Viktorovich, master, Department of Operation and Repair of the Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport.

Sumtsov Andrii Leonidovich, PhD (Tech.), Senior lecturer, Department of Operation and Repair of The Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: sal-hiit@i.ua.

Chigirik Nataliya Dmitrivna, PhD (Tech.), Senior lecturer, Department of Operation and Repair of the Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: natalia65@ukr.net.

Pavliuchenkov Mykhailo Vasilovich, PhD (Tech.), Senior lecturer, Department of Structural Mechanics and Hydraulics, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: misha\_83@ukr.net.

Статтю прийнято 12.11.2018 р.