

УДК 629.4.025

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ІСНУЮЧИХ
ЛОКОМОТИВІВ**

І.С. Решетняк, д-р техн. наук А.П. Фалендиш, канд. техн. наук А.М. Зінківський

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
СУЩЕСТВУЮЩИХ ЛОКОМОТИВОВ**

И.С. Решетняк, д-р техн. наук А.П. Фалендыш, канд. техн. наук А.Н. Зиньковский

**IMPROVING THE RELIABILITY OF TRACTION ELECTRIC MOTOR OF EXISTING
LOCOMOTIVES**

I. Reshetnyak, Doct. of techn. sciences A. Falendysh, cand. of sciences A. Zinkivskyi

У даній статті розглянуто питання надійності існуючих тягових електродвигунів тягового рухомого складу, визначено основні несправності та запропоновано методи ремонту. Також у роботі розглянуто перспективні напрямки у виробництві електродвигунів нових конструкцій, що дозволить підвищити ефективність їхньої роботи.

***Ключові слова:** локомотиви, тяговий рухомий склад, тяговий електродвигун, асинхронний привод, міжвиткове замикання.*

В данной статье рассмотрены вопросы надежности существующих тяговых электродвигателей тягового подвижного состава, определены основные неисправности и предложены методы ремонта. Также в работе рассмотрены перспективные направления в производстве электродвигателей новых конструкций, что позволит повысить эффективность их работы.

Ключевые слова: локомотивы, тяговый подвижной состав, тяговый электродвигатель, асинхронный привод, межвитковое замыкание.

In this article describes how reliability of the existing traction electric motors of traction rolling stock defines the main problems and suggested methods of repair. Also in the paper the promising areas in the production of electric motors new designs that will improve the efficiency of their work.

Keywords: locomotives, traction rolling stock, traction motor, asynchronous drive interturn fault.

Вступ. Парк рухомого складу залізниць України потребує істотної модернізації, поява нової техніки, що відповідає вимогам світового рівня. А поки йде величезна робота з підтримки його працездатності і вдосконалення систем і вузлів, успішно впроваджуються нові методи і технології ремонту ТРС.

До найбільш навантаженого обладнання тягового рухомого складу (ТРС), з точки зору комплексного впливу теплових, електричних, механічних і кліматичних чинників, належать електричні машини, тому, незважаючи на профілактичні заходи конструктивно-технологічного характеру, які постійно проводяться при виготовленні і ремонті локомотивів, рівень пошкоджуваності їх в експлуатації недостатньо знижується.

У час розвитку швидкісного ТРС постає питання впровадження тягових електродвигунів (ТЕД), надійність, технічні характеристики, умови експлуатації та порядок сервісного технічного обслуговування і ремонту яких забезпечить довготривалу безперебійну експлуатацію рухомого складу [1-3].

В останні роки за кордоном була виконана велика кількість досліджень, за якими розроблено та впроваджено різноманітні види ТЕД. Найбільшого розповсюдження серед них отримали електричні машини змінного струму, як такі, що мають більш високий показник коефіцієнта корисної дії (ККД), простішу конструкцію, меншу вагу та вартість порівняно з електродвигунами постійного струму.

Постановка задачі. За даними з експлуатації ТЕД встановити пріоритетні напрямки їх обслуговування та ремонту для забезпечення надійної роботи ТРС залізниць України, а також серед сучасних розробок визначити найбільш оптимальний тип ТЕД, який варто встановлювати на сучасному ТРС.

Мета статті. Метою статті є аналіз надійності роботи існуючих типів ТЕД, які встановлені на ТРС Укрзалізниці, і розроблення раціональних заходів з підвищення їхньої надійності.

Виклад матеріалу. Безпека експлуатації залізничного транспорту значною мірою залежить від надійної роботи ТЕД, яка визначається якістю і своєчасністю проведення відновлювальних ремонтів. Історія створення і розвитку тягових електродвигунів залізничного транспорту постійно пов'язана з підвищенням їхнього ресурсу [3, 4].

Основними причинами зниження експлуатаційної надійності тягових електричних машин є незадовільна якість ремонту і пропускання дефектів системами контролю. Один з напрямків для вирішення даного завдання – це створення ефективної організації ремонту електричних машин з застосуванням засобів неруйнівного контролю і технічного діагностування.

Аналіз відмов обладнання локомотивів по мережі залізниць показує, що 25-35% їхньої загальної кількості становлять ушкодження колісно-моторних блоків (КМБ) і в тому числі ТЕД (рисунк). Тому найважливішим завданням ефективної експлуатації ТРС є забезпечення надійної роботи одного з основних вузлів – ТЕД, що відбувається через збільшення в останні роки навантажень на локомотиви та їхнє технічне старіння.

Так, за даними обстеження технічного стану ТРС встановлено, що середня вага поїздів була збільшена на 20-25%, що призвело до зростання кількості випадків виходу з ладу електричних машин. Це підтверджує різке збільшення кількості пошкоджених електричних машин, які надходять у ремонт. У середньому 50% тягових електродвигунів

вимагають ремонту КР (КР-2) не через пробіг, а через технічний стан, з причин пошкоджень, пов'язаних з міжвитковим замиканням якоря і

катушок полюсів, пробою ізоляції якоря і катушок полюсів, тріщин валів якорів, зносу моторно-осьових горловин і т. д.

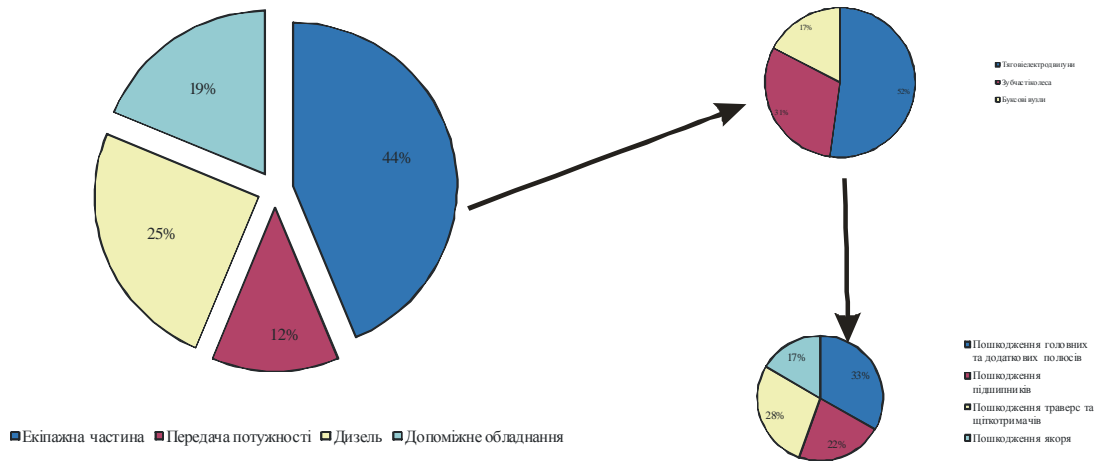


Рис. Залежність відмов і несправностей тягового рухомого складу по групах

З аналізу відмов стає зрозумілим, що найбільша кількість виходів з ладу тягових двигунів припадає на пробої ізоляції. Багато в чому це визначається складними умовами експлуатації машин: перевантаженнями, комутаційними перенапруженнями, зволоженням і т. д. Крім того, найбільша кількість виходів з ладу тягових двигунів від пробою ізоляції спостерігається у вологий період року, коли сильно зростає ймовірність зволоження обмоток через попадання вологи у двигуни. Звідси можна зробити висновок, що має місце невідповідність застосовуваних електроізоляційних матеріалів і просочувальних складів, конструкції ряду вузлів підвищеним вимогам умов експлуатації електричних машин.

Підвищення якості функціонування ТЕД в експлуатації можливо шляхом вдосконалення систем технічного обслуговування на основі проведення діагностичних заходів з метою більш об'єктивного і достовірного контролю технічного стану деталей і вузлів ТЕД, таких як підшипникові вузли, ізоляція обмоток, колекторно-щітковий вузол. Також необхідним є оптимізація міжремонтних періодів, зниження енергоємності та підвищення якості ремонтів ТЕД.

Вибір напрямку підвищення ресурсу значною мірою визначається стадією, на якій

він реалізується. Серед них, очевидно, виділяються три основних. Перша належить до перспективних розробок ТЕД, інші дві – до існуючих машин, що знаходяться в експлуатації, і ремонті.

Для зниження кількості відмов електричних машин проводяться роботи з дослідного впровадження нових перспективних електроізоляційних матеріалів і просочувальних матеріалів.

На сьогодні в якості просочувальних матеріалів обмоток ТЕД застосовують лаки ФО-98, ПЕ-9180, ПЕ-9153. У всьому світі майже повністю відмовилися від використання в якості просочувальних матеріалів лаків з вмістом розчинника 50-60 % на користь просочувальних компаундів, у яких вміст летючих речовин становить не більше 3-5%. Це обумовлено рядом переваг компаундів перед лаками. Звідси сформовано ряд вимог, які слід висувати до електроізоляційних матеріалів і застосовувати в системах ізоляції тягових двигунів:

- електроізоляційні матеріали (ЕІМ) повинні бути відповідного класу нагрівостійкості. У сьогоднішніх умовах це клас F (до 155°C) і клас H (до 180°C);
- електрична міцність ЕІМ повинна бути не менше 25 кВ/мм;

– тангенс кута діелектричних втрат ($\tan \delta$) ЕІМ при температурі 130°C повинен бути не більше 25%;

– ЕІМ повинні мати властивість теплопровідності;

– слід використовувати в якості просочувальних матеріалів компанди, при цьому цементуюча здатність просочувального матеріалу повинна бути не менше 300 Н;

– покривна емаль повинна забезпечувати захист тягового двигуна від дії атмосфери, агресивних середовищ, а також мати властивість дугостійкості.

З урахуванням постійного зростання номенклатури електроізоляційних матеріалів кількість можливих їх поєднань при ізолюванні обмоток електричних машин також збільшується.

Технічне обслуговування щітково-колекторного вузла в тяговому двигуні становить основну частку витрат на утримання двигуна в цілому і є трудомістким процесом. Вирішення проблеми надійності щітково-колекторного вузла полягає в комплексному використанні наявних резервів, таких як:

- застосування колекторних профілів з мідно-кадмієвого сплаву (бронзи) БРКД 1 для тягових двигунів всіх знову проєктованих електровозів;

- підвищення стабільності електрощіток.

Певні резерви підвищення експлуатаційної надійності щітково-колекторного вузла існують на подальшому вдосконаленні його конструкції і технології.

У зв'язку з цим в якості першочергових заходів пропонується:

- перехід на конструкцію ізоляційних пальців з дугостійкого і трекінгостійкого пресованого матеріалу амінопласт МФЕ-2 замість серійного матеріалу АГ-4В при виготовленні нових і капітальному ремонті експлуатованих двигунів;

- нанесення на ізоляційний виліт конуса колектора фторопластового трекінгостійкого покриття.

Одним з негативних моментів у роботі вузла струмознімання тягових двигунів залишається явище заволочування колекторних пластин.

Запропонована комбінована установка щіток ЕГ61А в щіткотримачі плюсової полярності і ЕГ75 – у щіткотримачі мінусової полярності дозволила істотно знизити даний

процес. Однак масового застосування даних захід не знайшов через небажання експлуатаційних служб ускладнювати собі процедуру ремонтних робіт. У пошуках прийнятних шляхів вирішення даної проблеми була розроблена нова марка - ЕГ61АІ, до складу якої було введено додаткову кількість графіту ($\approx 10\%$), що, за задумом розробників, повинно було поліпшити умови напрацювання політури, знизити мікротвердість щіток і в результаті якщо не ліквідувати повністю, то хоча б значною мірою скоротити кількість випадків виникнення заволочувань.

Спостереження за роботою щіток ЕГ61АІ намічено продовжувати з тим, щоб дати остаточне обґрунтований висновок.

Можна запропонувати ряд нових напрямів для поліпшення роботи і надійності щіток:

- дослідження нових видів сировини з більш стабільними характеристиками;

- освоєння нової установки для термообробки, що забезпечує розкид температур 20°C і дозволяє отримати матеріал з наперед заданими характеристиками;

- випробування нових просочувальних складів і модернізація існуючого обладнання з метою стабілізації та підвищення зносостійкості щіток;

- освоєння нового вигодозуючого обладнання з метою підвищення точності при складанні композиційних складів.

В умовах створення сучасного ТРС до електродвигунів висувається ряд вимог, які полягають у підвищенні ефективності використання тягового привода за рахунок удосконалення конструкції, збільшення величини обертового моменту на валу двигуна, підвищення ККД, підвищенням ефективної потужності та ін.

Проводяться роботи з виробництва та впровадження сучасних ТЕД, які відповідають вимогам високої ефективності й мінімально займаного простору. Розробляються безкорпусні асинхронні тягові двигуни, що робить їх компактними й з більшою величиною активної маси відносно об'єму двигуна. Це дозволяє збільшити обертовий момент, що розвивається на валу, і створити двигуни, що задовольняють усі вимоги тяги. Таким чином, раціональна конструкція та більша потужність електродвигунів відповідають експлуатаційним вимогам рухомого складу.

Конструкція ТЕД виконується уніфікованою для можливості встановлення необхідної потужності шляхом зміни налаштувань деяких параметрів (розташування вентиляційних каналів, коробки виводів, напруги живлення, частоти обертання та обертального моменту) з метою швидкого задоволення потреб і особливих вимог замовника [4]. Дана процедура забезпечується підбором необхідної комбінації стандартних вузлів з великого списку конфігурацій продукту.

Головною вимогою при виробництві ТЕД є забезпечення високого рівня довговічності та надійності роботи протягом всього терміну служби.

Одним з методів забезпечення надійності роботи вузлів ТЕД є встановлення ряду датчиків температури для можливості контролю та коригування режимів навантаження і роботи двигунів.

Забезпеченням необхідного рівня надійності ТЕД також займаються на етапі проектування шляхом застосування методів математичного моделювання конструкції та режимів роботи ТЕД, а також виконується перевірка електромагнітної сумісності з вузлами та системами ТРС.

На кожній стадії проектування використовується метод математичного моделювання. Застосовують аналітичні методи визначення розмірів деталей і вузлів тягових електродвигунів, а також метод кінцевих елементів. Здійснюють перевірку електромагнітної сумісності між тяговим електродвигуном і перетворювальною установкою. Інші перевірки здійснюють аналіз пульсацій обертального моменту.

Для гарантії одержання оптимальних результатів розроблення механічної частини тягового електродвигуна має бути скоординоване з проектуванням електричної частини. Це містить у собі аналіз живлячої напруги й обчислення виникаючих резонансних частот.

Висновки. Для нових електричних машин підвищення ресурсу необхідно і можливо передбачити вже на стадії проектування за рахунок застосування нових ізоляційних конструкцій з підвищеною електричною міцністю і класом ізоляції «Н», 200 і 220°C. Загалом серйозних проблем підвищення ресурсу до 2,5 млн км пробігу по

остову немає, такі пробіги вже реалізовані, наприклад, по остову тягових двигунів чеських електровозів, ТЕД НБ-514 та ін. Більш проблематичним є завдання підвищення ресурсу якорів тягових двигунів, оскільки однією зміною ізоляційної конструкції воно не вирішується і вимагає підвищення рівня технологічних процесів їх виготовлення.

Іншим напрямком підвищення ресурсу тягових електричних машин є застосування при ремонті нових матеріалів і технологій, що можливо не тільки при капітальних, а й середніх ремонтах якорів і остовів.

Найбільші можливості підвищення ресурсу, природно, є при капітальних ремонтах із заміною ізоляції. Однак реалізація нових ізоляційних конструкцій по якорю з використанням матеріалів більш високого класу нагрівостійкості дещо обмежена можливостями зміни перетину дроту і перекомпонування паза якоря. По остову ТЕД при капітальному ремонті можливості підвищення ресурсу знаходяться на рівні нових електричних машин (за умови однакової технологічної оснащеності ремонтних заводів і заводів-виробників).

Слід виділити як найбільш перспективний напрямок, застосування при вакуумно-нагнітальному просочуванні з глибоким вакуумом сучасних компаундів, повністю сумісних з використаними в конструкції ізоляційними матеріалами.

При середніх ремонтах можливості підвищення ресурсу обмежені і пов'язані з поліпшенням властивостей покривних матеріалів, зокрема дугостійкості електроізоляційних матеріалів відповідного класу нагрівостійкості. Такі матеріали в даний час створені і проходять стадію дослідної експлуатації.

Зазначимо ще один напрямок, пов'язаний з контролем параметрів ізоляції електричних машин після виготовлення, ремонту та у процесі експлуатації. Використовувані в даний час параметри у вигляді опору ізоляції при напругах залежно від типу машини в діапазоні 1,0-2,5 кВ випробування підвищеною напругою на випробувальній станції не дозволяють оцінити ресурс електричної машини. У якості додаткових контрольованих параметрів пропонуються, наприклад, коефіцієнт абсорбції, поворотна напруга, тангенс кута діелектричних втрат.

Для цих цілей уже створені такі прилади, як «Кедр-2», електронний мегаомметр М1-ШТ, «УПП-02», «Тангенс-2000», які проходять апробацію. Застосування цих приладів у якості додаткового контролю стану ізоляції дозволило б побічно підвищити ресурс за рахунок

отримання своєчасної інформації про погіршення ізоляційних властивостей. Однак до теперішнього часу ще не визначено допустимі значення контрольованих параметрів по кожному типу електричних машин з урахуванням умов навколишнього середовища.

Список використаних джерел

1. Меерзон, Ю.М. Анализ технического состояния тяговых двигателей [Текст] / Ю.М. Меерзон // Повышение ресурса тяговых электродвигателей: сб. науч. работ. – М.: ОАО «РЖД», 2004. – С.15-19.
2. Лайдабон, Я.С. Организационно-технические мероприятия по повышению надежности электрических машин [Текст] / Я.С. Лайдабон // Повышение ресурса тяговых электродвигателей: сб. науч. работ. – М.: ОАО «РЖД», 2004. – С. 91-95.
3. Карякин, А.В. Повышать надёжность парка локомотивов [Текст] / А.В. Карякин // Локомотив. – 2006. – №7. – С. 2-3.
4. Носков, В.И. Состояние и перспективы внедрения тяговых электроприводов переменного тока [Текст] / В.И. Носков, Н.И. Шпика // Гидроэнергетика Украины. – 2006. – №2. – С. 63-67.

Решетняк Ігор Сергійович, магістр НН ІППК Української державної академії залізничного транспорту, група МЗ-Л-Б-12, майстер, локомотивне депо Коломия.

Фалендиш Анатолій Петрович, доктор технічних наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 057-730-1999.

Зінківський Артем Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 057-730-1999.

Reshetnyak Igor, group MR-L-B-12, master, locomotive depot Kolomya.

Falendysh Anatoly, PhD, Professor, Professor of "Maintenance and repair of rolling stock". Tel. 057-730-1999.

Zinkivskyi Artem, PhD, "Maintenance and repair of rolling stock." Tel. 057-730-1999.