

УДК 629. (431+432). 004.163

М.Д. Черкаський, А.О. Сулим, О.О. Мельник, С.В. Шмаков

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЯГОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

У статті виконано аналіз існуючих заходів щодо підвищення ефективності використання тягового залізничного транспорту. За результатами аналізу встановлено, що одним з перспективних заходів для вирішення зазначеної проблеми є впровадження тепловізійного діагностування. Сформульовано основні переваги застосування методу тепловізійного діагностування у порівнянні з існуючими традиційними методами. Визначено основні напрямки досліджень та сформульовано рекомендації під час впровадженні зазначеного методу діагностування електрообладнання тягового залізничного транспорту.

Вступ. За останні 25 років сталося чимале зношення парку тягового рухомого складу ПАТ «Укрзалізниця», зокрема локомотивів [1, 2]. На разі здебільшого під час експлуатації використовуються локомотиви, які побудовані в середині минулого століття та вичерпали призначений термін експлуатації [2–4]. На разі за браком фінансування ПАТ «Укрзалізниця» гостро стоїть питання забезпечення безпечної експлуатації тягових одиниць при закінченні встановленого терміну їх служби.

Актуальність та постановка проблеми. Висока інтенсивність використання локомотивів, великі маси вантажних та швидкості руху пасажирських поїздів, що основними вимогами сучасності до залізничних перевезень потребують надійності роботи усіх систем та елементів тягового залізничного транспорту, зокрема системи електрообладнання [5]. Несправності, що виникають у колах системи електрообладнання тягового залізничного транспорту на шляху прямуювання поїзда, можуть призвести до порушення графіку руху поїздів, що є на залізничному транспорті неприпустимим фактом. Крім того, відмови у роботі тягового залізничного транспорту під час його експлуатації у міжремонтний період, в значній мірі, знижують економічний ефект від його використання.

З метою забезпечення необхідного рівня експлуатаційної надійності тягового залізничного транспорту в локомотивних господарствах впроваджена система виконання періодичних і профілактичних ремонтів, а також технічні огляди. Названа система заключається в тому, що тяговий залізничний транспорт через визначені проміжки часу або після виконання визначеного обсягу робіт (пробігу в тисячах

© Черкаський М.Д., Сулим А.О., Мельник О.О., Шмаков С.В., 2017

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

кілометрів) підлягають ремонту, незважаючи на те, що вони ще могли б виконувати свої функції. Згідно зазначеної системи тяговий залізничний транспорт підлягає ремонту до того, як настане крайній знос або несправність його обладнання, виникне несправність у його роботі. Ремонтні та профілактичні роботи обладнання тягового залізничного транспорту виконуються в обсязі, визначеному нормативними актами та Правилами ремонтів, що діють на ПАТ «Укрзалізниця».

Отже, забезпечення високих показників економічної ефективності використання тягового залізничного транспорту є пріоритетним завданням для експлуатуючих підприємств локомотивного господарства залізниць. Зазначений параметр залежить від експлуатаційної надійності тягових одиниць та вартості експлуатаційних витрат.

Експлуатаційну надійність тягового залізничного транспорту характеризують показники роботоздатності та надійності, зокрема, їх систем електрообладнання у міжремонтний період, що в свою чергу, залежить від якості виконаних ремонтів та обслуговувань. Таким чином, питання діагностування роботи електрообладнання тягового залізничного транспорту у міжремонтний період є досить актуальним, оскільки виявлення та усунення несправностей на початкових стадіях надасть змогу підвищити економічну ефективність тягового залізничного транспорту.

Мета роботи – аналіз існуючих та пошук перспективних заходів щодо підвищення економічної ефективності використання тягового залізничного транспорту шляхом ефективного діагностування роботи його електрообладнання.

Матеріал і результати досліджень. Як показує досвід експлуатації, нормований обсяг профілактичних ремонтів та оглядів, а саме перелік вузлів та елементів системи електрообладнання тягового залізничного транспорту та робіт, що виконуються на зазначеному обладнанні, можливо, не повною мірою відповідає дійсному технічному стану обладнання конкретної тягової одиниці. Увага слюсаря, який виконує технічний огляд, насамперед приділяється тим приладам і апаратам, про незадовільну роботу яких зроблені записи в журналі технічного стану тягового залізничного транспорту за час, що спливає із дня його виходу від останнього періодичного або профілактичного ремонту. Обов'язково перевіряють справність вузлів та систем, що безпосередньо відповідають за безпеку руху і за їх несправності неможливо випустити тягову одиницю з депо, а також ті, що найбільш часто виходять із ладу та працюють ненадійно. Інше обладнання проходить діагностування та перевірку роботоздатності в комплексі.

На даний час діагностування технічного стану електрообладнання тягового залізничного транспорту виконують за допомогою мегомметра та методом візуального контролю стану поверхонь (контактних, корпусів, ізоляційних матеріалів електрообладнання), кольору термоіндикаторних фарб.

За допомогою мегомметра вимірюють опір електричної ізоляції електрообладнання, і за отриманими результатами визначаються з необхідністю та обсягом ремонту. Для цього система електрообладнання розбивається на декілька електрич-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

них кіл. Стан електрообладнання, що входить до кожного окремого кола оцінюється в комплексі. У разі отримання негативного результату, електричне коло, що піддавалося діагностуванню розбивається на більш дрібні кола, і таким чином, знаходять конкретний елемент, що має незадовільний стан електричної ізоляції.

Під час візуального контролю керуються простим правилом, що зміни зовнішнього виду і звичного стану елементів системи електрообладнання не бувають безпричинними та дозволяють визначити можливе або усунути наслідки вже такого, що трапилось пошкодження.

Однак не завжди можна діагностувати несправність за допомогою мегомметра та візуально. Особливо це стосується таких несправностей, що знаходяться на початковій стадії. Складність виявлення деяких несправностей складається у тому, що їх не можна виявити під час знаходження тягового залізничного транспорту в депо у знеструмленому стані, за відсутності навантаження. Найчастіше виявити несправності можна тільки за умови, коли прилади та пристрої системи електрообладнання тягового залізничного транспорту працюють за номінальних, а іноді і граничних значень напруги живлення та навантаження (за значень робочих струмів близьких до максимальних), тобто на шляху прямування. Слід зазначити, що визначати ці несправності під час роботи можна тільки дистанційно тому, що все електрообладнання тягового залізничного транспорту захищене та огорожене від несанкціонованого або помилкового доступу до струмоведучих частин огорожами, дверцятами, корпусами.

Наприклад, на даний час послаблення контактного приєднання кабелю до контактної поверхні силового контактора діагностується візуально за зміною кольору матеріалу контакту (як правило міді). Водночас спостерігається посиніння місця контактного приєднання. Цьому явищу, як правило, передують спочатку незначне збільшення температури місця контакту завдяки збільшенню перехідного опору між клемою кабелю та контактною поверхнею, що є результатом послаблення контактного з'єднання. З часом перехідний опір у місці контакту збільшується, при цьому збільшується степінь нагрівання місця контактного з'єднання. Несвоєчасне виявлення зазначеної несправності може призвести до зміни властивостей матеріалу контактного з'єднання, появи іскріння у місці контакту, як наслідок, обуглювання ізоляційного матеріалу провідника, підгоряння наконечника кабелю, пошкодженню ізоляції обладнання, що знаходиться у безпосередній близькості до місця знаходження несправності. Усі вищезазначені наслідки можуть виникнути у доволі короткий термін під дією значних струмових та вібраційних навантажень, якими характеризується робота силового електрообладнання тягового залізничного транспорту. Виявлення описаної вище несправності на початковій стадії за підвищенням температури місця контактного з'єднання дало б можливість запобігти можливим її наслідкам завдяки своєчасному усуненню причин, що призвели до її виникнення.

Вищесказане дозволило встановити наступне:

– ремонт за графіком не завжди відображає дійсної картини стану елементів

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

електрообладнання тягового залізничного транспорту;

– обсяги ремонтів потребують корегування відповідно до дійсного стану елементів системи електрообладнання кожної конкретної тягової одиниці;

– під час експлуатації тягового залізничного транспорту в міжремонтний період є нагальна потреба контролю стану його електрообладнання щодо виявлення несправностей на стадії зародження з метою їх своєчасного усунення й тим самим запобігання виникнення відмов та аварій;

– стан системи електрообладнання під час експлуатації тягової одиниці можливо оцінювати за ступенем нагрівання елементів електрообладнання в процесі їх роботи.

Степінь нагріву (температура на поверхні електрообладнання) – це універсальне відображення стану систем електрообладнання. Практично будь-яке відхилення від нормального режиму роботи викликає зміну (у сторону збільшення) робочої температури електрообладнання, електроприладу, їх дефектного елемента.

Кожне *нагрівання* – це інфрачервоне випромінювання. Око людини не сприймає це випромінювання, і лише досить нагріте предмети випромінюють електромагнітні хвилі, довжини яких лежать у межах світлового діапазону, що сприймається зором людини. Зір людини сприймає кольори від 380 нм (фіолетовий колір) до 770 нм (червоний колір). В умовах повної адаптації до темряви око може бачити інфрачервоне випромінювання з довжиною хвилі до 950 нм.

Сучасні технології приладобудування приходять на допомогу зору людини й дозволяють розширити спектр випромінювань від ультрафіолетового до інфрачервоного. Для спостереження за об'єктами, що оточують нас у інфрачервоному діапазоні створені прилади – тепловізори.

Тепловізор – пристрій для спостереження за розподіленням температури поверхні об'єкта, що досліджується (у нашому випадку – електрообладнання) в інфрачервоному спектрі, який демонструє за допомогою кольорової картинки температуру різних його зон. Розподілення температури відображається на дисплеї або в пам'яті тепловізора як кольорове поле, де визначена температура характеризується відповідним кольором.

Відрізняють тепловізори для спостереження і вимірювальні. Перші дають зображення в інфрачервоних променях, які видно у відповідній шкалі кольорів. Вимірювальні тепловізори, окрім наведених функцій, присвоюють значенню цифрового сигналу кожного пікселя температуру, що йому відповідає, у наслідок чого отримується картина розподілення температур. Загальний вигляд сучасних тепловізорів зображено на рис. 1. На рис. 2 наведено картину розподілення температур під час вимірювання тепловізором елементів тягового залізничного транспорту.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



Рис. 1 - Загальний вигляд тепловізорів

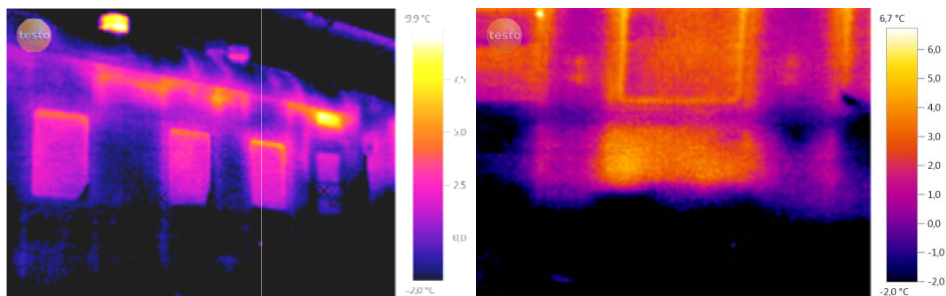


Рис. 2 - Картина розподілення температури під час вимірювання тепловізором елементів тягового залізничного транспорту у вигляді кольорової шкали

Тепловізори вже знайшли застосування в енергетиці. Завдяки ним тепловізійне діагностування (далі – ТД) електрообладнання під час експлуатації вийшло в розряд високоефективних методів дослідження. До речі, необхідність проведення тепловізійного обстеження електрообладнання підстанцій і розподільчих пристроїв закріплена в «Нормах и объеме испытаний электрооборудования Белорусской энергосистемы», у яких закріплені норми та умови оцінки теплового стану облад-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

нання під час його ТД. Крім того, ТД разом з іншими ефективними видами діагностування включений до обсягу комплексного обстеження трансформаторів перед ремонтом. Проведення передремонтного діагностування дозволяє уточнювати обсяг ремонтних робіт або проводити ремонт за реальним станом.

Тепловізійне діагностування у порівнянні з традиційними методами має значні переваги, а саме:

- достовірність, об'єктивність та точність отриманих результатів завдяки високим технічним та метрологічним характеристикам сучасних приладів тепловізійного спостереження, які гарантують заводи-виробники;

- безпека персоналу завдяки проведенню робіт на безпечній відстані від струмоведучих частин, які знаходяться під напругою;

- відсутня необхідність виконання робіт із підготовки робочого місця, тобто немає необхідності у відключенні напруги живлення, підготовки робочого місця та електрообладнання до діагностування;

- можливість виконання великого обсягу робіт за одиницю часу;

- незначні економічні затрати на проведення діагностування (зважаючи на два попередні підпункти);

- можливість визначення місця дефекту на ранній стадії розвитку;

- можливість визначати стан електрообладнання незалежно від фірм-виробників, моделей обладнання та номінальної напруги живлення;

- можливість складання бази даних з метою використання отриманих результатів досліджень у подальшій роботі.

З наявних досліджень відомо, що існує ряд факторів, які впливають на релевантність даних, отриманих під час ТД електрообладнання:

- сонячна радіація. Промені сонця спроможні нагрівати об'єкт контролю і впливати на дані спостережень – викривляти їх у сторону збільшення;

- вітер – рух повітряних мас у місці проведення вимірювань, наприклад на території відкритих розподільчих пристроїв, може викривляти дані вимірювань;

- дощ, туман, мокрий сніг, що впливають на оптичну прозорість оточуючого повітря;

- вплив відбитої температури на результат вимірювань, спричиненою виділенням теплового випромінювання під час роботи електрообладнання, що знаходиться в безпосередній близькості;

- випромінювальна здатність матеріалу;

- степінь навантаження. Температура струмопровода залежить від навантаження і прямо пропорційна величині квадрату струму, що проходить крізь дільницю, на якій ведеться спостереження.

Вузлами, що підлягають такому контролю є корпуси електрообладнання, зовнішні контактні з'єднання (болтові, зварні, виконані обтисканням), губки контакторів, шинопроводи, проводи та кабелі, ізолятори тощо. Для цієї цілі необхідна розробка норм та умов оцінки теплового стану обладнання, нормативів періодичності

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

виконання ТД, методів та методик безпечного виконання ТД електрообладнання, а також проведення навчання серед інженерно-технічного персоналу.

Електрообладнання, що використовується в енергетиці та в конструкції систем електрообладнання тягового залізничного транспорту, зокрема локомотивів, схоже за конструкцією. Режим роботи електрообладнання та процеси у колах мають однакову фізичну природу. Тому є підстави припустити, що ТД можна також ефективно застосовувати й у локомотивному господарстві. До того ж, електрообладнання локомотивів знаходиться у середині кузова, завдяки цьому воно захищене від впливу прямих променів сонця, атмосферних опадів, поривів вітру. Однак є деякі відмінності й особливості системи електрообладнання та розміщення її елементів, які слід враховувати під час розроблення методик ТД. Серед основних потрібно відмітити наступні: місця розташування електрообладнання освітлені недостатньо й нерівномірно; все силове електрообладнання знаходиться в шафах, за огорожею, обладнаними блокувальними пристроями з метою унеможливлення доступу персоналу до струмоведучих систем під час піднятого струмоприймача.

Недостатнє освітлення вирішується шляхом застосування додаткових джерел світла. Для можливості проведення ТД електрообладнання, до якого обмежений доступ, у огорожі (сітчастій, дверцятах тощо) у зручних для інфрачервоного спостереження за електрообладнанням місцях, можна зробити спеціальні вікна з урахуванням усіх заходів щодо забезпечення достатнього рівня електробезпеки спеціалістів. Це дасть можливість виконувати спостереження навіть під час руху тягового залізничного транспорту (у процесі виконання поїзної роботи) за умов комплексної розробки та впровадження інструкцій із безпечного виконання робіт під час ТД.

Що стосується норм та умов оцінки теплового стану елементів електрообладнання тягового залізничного транспорту, то в нормативній, конструкторській та експлуатаційній документації майже завжди наводяться норми допустимої робочої температури електрообладнання та його елементів під час роботи. За відсутності таких даних, наявність дефекту може бути виявлено шляхом порівняння температури аналогічного електрообладнання, поверхонь апаратів тощо, які працюють у аналогічних умовах та режимах. Тому отримані результати інфрачервоного спостереження за роботою елементів системи електрообладнання тягового залізничного транспорту, отримані у процесі їх роботи, мають бути проаналізовані і тільки після цього оформлені у відповідному вигляді.

Надалі, розбивши систему спостереження за температурним режимом роботи електрообладнання, та завдяки накопиченню, аналізуванню, зберіганню інформації щодо нагріву систем та елементів електрообладнання тягового залізничного транспорту можна буде визначати загальний стан систем та їх конкретного елемента. Визначення стану виконують шляхом порівняння отриманих результатів з архівними даними для кожної конкретної тягової одиниці або аналогічних елементів електрообладнання однотипних тягових одиниць (однакових за моделлю, серією, роком виготовлення). Розробка системи дозволить запобігти появі несправностей шляхом

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

виявлення їх на початковій стадії розвитку та планувати обсяг технічних обслуговувань і періодичних ремонтів за дійсним станом елементів електрообладнання.

Для створення бази даних упродовж деякого періоду часу необхідно буде провести досліду роботу з ретельного вивчення елементів систем електрообладнання тягового залізничного транспорту та спостереження за їх роботою для фіксації їх штатного роботоздатного та досягнення критичного стану. З метою отримання можливості коригування обсягів ремонту за дійсним технічним станом електрообладнання періодичність виконання ТД слід розробити з урахуванням періодичності технічних обслуговувань, профілактичних ремонтів. А надалі, для забезпечення більш ефективного контролю за станом та з метою запобігання аварій у системах електрообладнання тягового залізничного транспорту міжремонтна періодичність може бути відкоригована за умови накопичення досвіду, результатів спостережень за елементами систем електрообладнання тягового залізничного транспорту різних моделей і серій.

З вищесказаного витікає, що за результатами ТД можливо:

- визначати стан систем та елементів електрообладнання тягового залізничного транспорту під час його експлуатації;
- коригувати обсяг необхідних робіт з профілактики або підтримання роботоздатного стану системи електрообладнання тягового залізничного транспорту перед його виведенням у ремонт (профілактичний, періодичний) за дійсним станом її елементів, що вплине на вартість та якість зазначених робіт;
- виявляти несправності елементів системи електрообладнання тягового залізничного транспорту на початковій стадії їх зародження й запобігати аваріям під час його експлуатації у міжремонтний період.

Для підтвердження необхідності та доцільності впровадження ТД має бути проведена значна за обсягом науково-дослідна робота, яка повинна складатися з наступних етапів:

- предметного досконалого вивчення питань застосування ТД систем електрообладнання тягового залізничного транспорту, нормативно-технічної документації, конструкторської документації, інструкцій та правил, що діють у локомотивному господарстві ПАТ «Укрзалізниця», стосовно періодичності та обсягів профілактичних і капітальних видів ремонтів;
- визначення з вимогами до метрологічних та технічних характеристик приладу для ТД;
- вивчення питання щодо охорони праці під час виконання робіт із ТД в процесі роботи електрообладнання;
- необхідного рівня підготовки спеціалістів, що будуть залучатись до ТД;
- рівня організацій, яким буде доручатись робота з ТД (профільна наукова організація відповідного рівня акредитації або відповідний підрозділ експлуатаційного, ремонтного депо).

Результатом зазначеної роботи має бути науково-технічне обґрунтування ТД

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

та затверджена форма надання результатів виконаної роботи.

Висновки. 1. Одним з ефективних заходів під час здійснення контролю роботи електрообладнання тягового залізничного транспорту є застосування методу тепловізійного діагностування.

2. Основними перевагами методу тепловізійного діагностування електрообладнання є безпека виконання робіт, відсутність необхідності виконання робіт з підготовки робочого місця, можливість виконання великого обсягу робіт за одиницю часу, незначні економічні затрати на проведення діагностування, можливість визначати стан електрообладнання широкого модельного ряду незалежно від номінальної напруги живлення, можливість складання бази даних з метою прогнозування виникнення несправності електрообладнання.

3. Особливістю застосування методу тепловізійного діагностування є можливість визначення ознак несправності електрообладнання на ранній стадії розвитку та планування обсягів ремонтів за його дійсним технічним станом.

4. Для вирішення проблеми підвищення економічної ефективності використання тягового залізничного транспорту шляхом впровадження методу тепловізійного діагностування електрообладнання необхідне проведення значного обсягу наукових досліджень та застосування комплексного підходу в частині розроблення вимог і нормативної документації.

Тому подальші дослідження необхідно спрямувати на поетапне впровадження методу тепловізійного діагностування під час експлуатації тягового залізничного транспорту, зокрема розробити вимоги та нормативну документацію з охорони праці, застосованого обладнання (тепловізорів), рівня підготовки спеціалістів і рівня організацій, а також затвердити форму надання результатів виконаної роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1 Донченко А.В. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008–2020 роки, стан виконання на 01.06.2010 р. / А.В. Донченко // Збірник наукових праць ДП «УкрНДІВ». Рейковий рухомий склад. – 2010. – Вип. 3. – С. 4–11.

2 Фалендиш А.П. Визначення раціональних параметрів гібридного маневрового тепловоза на базі ЧМЕЗ / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець, О.В. Артеменко // Вісник Східноукраїнського національного ун-ту імені В.Даля. – 2015. – № 1 (215). – С. 253–256.

3 Лашко А.Д. Основные направления обновления тягового подвижного состава Украины в 2006–2011 гг. / А.Д. Лашко, В.Н. Самсонкин, А.М. Гончаров, А.В. Коновалов // Локомотив-информ. – 2006. – № 6 – С. 8–12.

4 Донченко А.В. Сучасна ситуація у залізничній галузі України та залізнична промисловість світу / А.В. Донченко, І.В. Гладких // Збірник наукових праць ДП «УкрНДІВ». Рейковий рухомий склад. – 2012. – Вип. 6. – С. 8–10.

5 Гончаров О.М. Аналіз передумов модернізації маневрових тепловозів Львівської залізниці гібридною енергетичною установкою / О.М. Гончаров, С.О. Кінтер, Ю.В. Терещак // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 6. – С. 19–25.