

К.В. Переверзєв

ТОВ «ДАК-Енергетика», Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЦЬ

Розглянута апаратна й програмна модернізація лазерної швидкодійної системи вимірювання параметрів контактної мережі. Шляхом запровадження швидкісних алгоритмів ущільнення реального часу й застосування світлодіодного підсвічування.

Ключові слова: оптичні методи діагностування, світлодіодні випромінювання, контактний провід.

Постановка проблеми

Струмоприймач та контактний провід (КП), що є частиною контактної мережі (КМ) електрифікованих залізниць, при взаємодії та передаванні електричної енергії від джерела до тягових навантажень, утворюють пару ковзання. В результаті взаємодії КП та контактні пластини струмоприймача зазнають стирання та зносу. Площа поперечного перерізу КП зменшується, і з часом вона досягає граничних значень, за межами яких експлуатація КМ є ненадійною та небезпечною з точки зору руху поїздів та у випадку несвоєчасного коригуючого втручання може призвести до руйнівних наслідків. Таким чином, критичний знос КП повинен бути своєчасно діагностований та проведені необхідні відновлювальні дії. На відміну від заміни накладок пантографів на електрорухомому складі, котру можна здійснити в умовах спеціалізованих обслуговуючих підприємств, контактний провід монтується або вставками, або за потреби й цілими анкерними ділянками з виведення з роботи відповідних залізничних дільниць, використовуючи велику кількість робочої сили та спеціалізовані засоби механізації. Враховуючи також значну вартість матеріальних ресурсів та компонентів КМ питання вивчення діагностування стану КП, є важливим для технічного обслуговування залізничної інфраструктури й планування капітальних ремонтів. Наведене вище і визначає актуальність теми досліджень роботи.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є вивчення й удосконалення методів та засобів діагностики параметрів КМ для забезпечення надійного і економічного струмозняття на електрифікованих залізницях. Для досягнення зазначеної мети необхідно:

- виконати експериментальні випробування

сучасної системи діагностування КМ з вимірюванням зносу КП та співставити експериментальні дані з результатами ручних вимірів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зі збільшенням швидкості поїздів та підвищенням інтенсивності руху, час для обслуговування інфраструктури буде відповідно зменшуватись. Тому ручне вимірювання основних параметрів КМ було автоматизовано.

Наприклад для JR Yamagata Shinkansen в Японії, компанією MEIDEN розроблено вимірювальну машину з використанням газовмістної лампи натрію. Оптична система використовує рухоме лінійне дзеркало, ПЗС-сенсори і фільтр. Він вимірює нижню ширину зносу проводу зі стандартним відхиленням точності до 0,3 мм при 500 Гц, проводячи вимірювання кожні 70 мм зі швидкістю 100 км/год. Він також вимірює висоту і зігзаг КП, жорсткі точки (вимірюючи прискорення 'g') та габарит опор та положення струнок.



Рис. 1. Високошвидкісна оптична система вимірювання параметрів КП на JR Yamagata Shinkansen

Постійне вдосконалення розробки діагностичних пристроїв відбувалось на інспекційному вимірювальному потязі Siemens, який може записувати параметри КМ. На додаток до цього, він використовує візуальні зображення для порівняння з нормативною базою, щоб виявити дефекти монтажних робіт чи обслуговування. За допомогою сканування дзеркал, що обертаються здійснюється вимірювання висоти та зміщення контактного дроту відносно осі колії та зносу контактного дроту.

У 2005-2006 роках була вперше на УЗ впроваджена СИСТЕМА виміру зносу КП на основі оптичних волокон (СІИКП ОВ) - розробка вчених й фахівців НІИЭФА-ЭНЕРГО, м. Санкт-Петербург.

СІИКП ОВ призначена для експлуатації на електрифікованих залізницях в складі інформаційно-обчислювального комплексу (ІВК) вагона-лабораторії випробувань контактної мережі (ВВКМ) та забезпечує безконтактне вимірювання ширини зношеної частини контактного проводу (до 4-х проводів одночасно) з подальшим обчисленням залишкової висоти або перетину КП, а також вимірювання положення КП щодо осі струмоприймача.



Рис. 2. ВВКМ нового покоління з системою виміру зносу КП СІИКП ОВ

Принцип дії СІИКП ОВ полягає у визначенні ширини відбитого від зношеної частини КП світлової плями за допомогою оптичної системи, що складається з волоконно-оптичного приймача і лінійного освітлювача (випромінювача), з наступним перерахунком в ЕОМ її величини в залишкову висоту або перетин контактний проводу. Для цієї мети, КП з боку струмоприймача висвітлюється лінійним імпульсним джерелом світла (випромінювачем), і відбите світло від зношеної плоскої частини проводу, через гребінчасту бленду, потрапляє на волоконно-оптичний приймач. Далі, по оптоволоконному джгуту, світлові сигнали потрапляють на блок посилення і реєстрації оптичних сигналів (УУРОС), причому кількість «засвічених» оптичних каналів

відповідає ширині зношеної частини КП, а їх порядкові номери характеризують положення проводу на полозі струмоприймача.

Однак усім таким системам притаманний один недолік: при складній конфігурації зносу або при бічному зносі може з'явитися суттєва помилка в даних вимірах.

Виклад основного матеріалу

Дослідження роботи сучасної системи діагностування КМ з вимірюванням зносу КП

При експлуатаційних випробуваннях ВВКМ, за участю фахівців нашої компанії, з вимірюванням зносу КП системою СІИКП ОВ на дільниці Славянської дистанції електропостачання Донецької залізниці та подальшому порівнянні з результатами ручних вимірювань були виявлені розбіжності. Причиною виникнення таких розбіжностей стали в тому числі й наступні експлуатаційні обмеження системи вимірювання:

- абсолютна похибка обчислення може бути у діапазоні $\pm 3 \text{ мм}^2$ тільки при наявності на кожному вимірюваному контактному проводі однієї площадки зносу, площа якої в поперечному напрямку, розташована (візуально) перпендикулярно рейковому полотну.

- швидкість руху ВВКМ при вимірюванні локальних зносів КП не повинна перевищувати 30 км/год.

Вищезазначені обмеження стримували подальше застосування системи виміру зносу КП на основі оптичних волокон й вимагали вдосконалення апаратно-програмних засобів діагностування.

Відповіддю на існуючі виклики стала нова швидкодіюча лазерна система діагностики КП.

Робота лазерної системи заснована на принципі фіксації форми профілю зношеної частини КП з подальшим обчисленням залишкової висоти або залишкової площі перетину КП, а також вимір положення КП щодо осі струмоприймача. Система також застосовується в складі комплексу вимірювально-обчислювального ВВКМ та призначена для:

- вимірювання профілю зношеної частини КП при кількості проводів від 1 до 4 одночасно з подальшим обчисленням залишкової висоти або площі зношеної частини перетину КП.

- вимір положення КП щодо осі струмоприймача (зігзаг);

- вимірювання висоти КП щодо ковзної поверхні вимірювальної ліжкі струмоприймача;

- діагностування (визначення) місць з порушенням правил підвішування контактних проводів.

В системі вимірювання використовуються спеціалізовані високошвидкісні телевізійні камери, а для підсвічування контактних проводів - віялові растрові імпульсні лазерні освітлювачі.

При обробці відеозображення процесор камери виділяє підсвічений слід від лазера на поверхні проводу, оцифровує його і передає визначенні траєкторії по волоконно-оптичній лінії зв'язку в вимірювально-обчислювальний комплекс вагона-лабораторії для подальшої обробки.

Для аналізу й обробки результатів вимірювання розроблено спеціалізоване програмне забезпечення. У режимі безперервного виведення або по кадрам можливе виведення графіків зигзагу КП, відносно висоти при двох й більше КП у полі зору камер, залишкової висоти КП. Крім того можливе накладання на графіки відео зображення з позначенням розпізнавального профілю КП, а також побудова та синхронне виведення 3-d моделі відбудованої на основі вимірюваних даних.



Рис. 3. Інтерфейс ПЗ для аналізу й обробки даних вимірювань лазерної системи діагностики КП

На рис. 3 наведений вигляд програмного забезпечення к роботі з усіма вищезгаданими режимами відображення даних. Крім графічного представлення, програма дозволяє виводити результати у табличній формі. При розрахунку зносу в автоматичному режимі програма готує

текстові звіти про середній знос на анкерному ділянці, на прольотах між опорами, а також виділяє ті місця, де знос на 20-30% відрізняється від середнього зносу на прольоті або досягає граничних значень, які можуть бути введені оператором перед аналізом.

Таблиця 1

Результати аналізу даних. Середній знос на анкерних ділянках.

№	Марка проводу	От	До	h _{ср л.} мм	СКО h л. мм	Scp л., мм ²	h _{ср пр.} мм	СКО h пр. мм	Scp пр., мм ²
1	МФ-100	96	89А	10,18	1	9,57	10,11	0,93	10,09
2	МФ-100	92А	72А	9,43	0,71	16,59	9,45	0,6	16,32
3	МФ-100	75А	57А	10,03	0,82	10,88	10,17	0,55	9,62
4	МФ-100	60А	46А	10,12	0,45	10,02	9,95	0,44	11,6

Випробування лазерної системи виміру зносу КП, встановленої на ВВКМ ЦЕ, проводилися на головних коліях станції Колпіно, в умовах мінливої хмарності при температурі +28°C. В межах випробувальної ділянки підвищений в основному здвоєний контактний провід типу МФ-100. Швидкість руху вагона при здійсненні вимірів

становила 35-45 км/год. З метою досягнення точного збігу ручних і автоматизованих вимірювань ручні вимірювання проводились на 3 прольотах контактної мережі по станції Колпіно в безпосередній близькості від усіх затискачів КП для більш легкої ідентифікації в ПЗ при аналізі.

Результати ручних та автоматизованих вимірювань зносу КП.

Відстань від опори 69, см	Ручні вимірювання, мм		Вимірювання системи «Знос», мм		Похибка, мм	
	Лівий	Правий	Лівий	Правий	Лівий	Правий
-175	11	7,64	10,8	8	0,2	-0,19
0	10,47	8,1	10,3	8,35	0,17	-0,25
075	9,57	9,49	9,5	9,29	0,07	0,2
150	10,13	9,57	10,16	9,54	-0,03	0,03
850	9,45	8,92	9,8	8,9	-0,35	0,02
1875	9,36	9,1	9,3	8,98	0,06	0,12
2875	8,5	9,38	8,65	9,05	-0,15	0,23
3745	8,17	8,75	8,25	8,9	-0,08	-0,15
4025	9,8	8,71	9,5	8,76	0,2	-0,05
4085	9,24	8,71	9,7	8,7	-0,26	0,01
4875	9	8,93	9,12	8,93	-0,12	0,11
5850	9,8	9,35	9,5	9,2	0,24	0,23
6000	9,37	9,67	9,2	9,5	0,16	0,26
6075	9,2	9,76	9	9,61	0,25	0,15

За результатами експлуатаційних випробувань нова швидкодіюча лазерна система діагностики КП може бути запропонована для заміни ручних вимірів з високою ефективністю.

Висновки

1. Вдосконалена лазерна швидкодіюча система вимірювання зносу КП значно підвищує надійність й знижує час на виявлення експлуатаційних дефектів КП.

2. У подальшому застосування такого виду систем дозволить накопичувати статистичні дані про рівень зносу КП та застосувати алгоритми прогнозу аналітики для планування ремонтних робіт на КМ з врахуванням фактичного стану КП.

Література

1. Михеев, В. П. Контактные сети и линии электропередачи [Текст] / Михеев В. П. – М.: Маршрут, 2003. – 416 с. – (Учебник для вузов ж. д. транспорта).
2. Kiesling, F., Puschman, R., Schmieder, A. (2001) Contact lines for electric railways planning design implementation. Berlin and Munich. Siemens, 822.
3. Вологин, В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети [Текст] / Вологин В. А. – М.: Интекст, 2006. – 256 с.
4. Доманський, І. В. Основи енергоефективності електричних систем з тяговими навантаженнями [Текст] : монографія / І. В. Доманський // НТУ „ХПИ”. – Харків: вид-во ТОВ «Центр інформації транспорту України», 2016. – 224 с.
5. Development of Measuring Apparatus for Contact Wire Wear Using Sodium Vapor Lamps. Hiroki Nagasawa, Takahiro Fukutani Shun-ichi Kusumi. (2000) *QR of RTRI*, 41, 3, Sep. 2000.

6. Оптический метод автоматического контроля контактной подвески [Текст] // *Залізниця світу*. -2002, № 6, С.48 -53.

7. ЛАЗЕРНАЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ КОНТАКТНОГО ПРОВОДА «ИЗНОС» [Текст] / ВОРОНИН А.В., СИРОТИНИН В.И., ФЕДОРОВ Ю.И., ШЕВЯКОВ С.М. // «НАУКА И ТРАНСПОРТ» № 3 2012, С 52-53

References

1. Miheev, V.P. (2003) Overhead contact lines and power transmitting lines. Moscow: Marshrut, 416. Textbook for universities of railways.
2. Kiesling, F., Puschman, R., Schmieder, A. (2001) Contact lines for electric railways planning design implementation. Berlin and Munich. Siemens, 822.
3. Volgin, V.A. (2006) Interaction of pantographs with overhead contact lines. Moscow: Intext, 256.
4. Domanskiy, I.V. (2016). Fundamentals of energy efficiency of electric systems with traction loads (monograph). NTU „HPI”, Kharkov: publishing office of LLC «Center of transport information in Ukraine», 224.
5. Development of Measuring Apparatus for Contact Wire Wear Using Sodium Vapor Lamps. Hiroki Nagasawa, Takahiro Fukutani Shun-ichi Kusumi. (2000) *QR of RTRI*, 41, 3, Sep. 2000.
6. Optical method of an automatic control of an overhead contact lines (2002) *Railways of the world*, 6, 48 -53.
7. Voronin, A.V., Sirotinin, V.I., Fedorov, Y.I., Shevyakov, S.M. (2012) Laser high-speed diagnostic systems for contact wire «IZNOS». «*Science and Transport*», 3, 52-53.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Ф. Харченко, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна

Автор: ПЕРЕВЕРЗЄВ Костянтин Вячеславович
директор представництва у м. Києві
ТОВ "ДАК-ЕНЕРГЕТИКА"
E-mail – k.pereverzev@i.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5618-5871>

IMPROVEMENT OF METHODS AND TOOLS FOR OVERHEAD CONTACT LINES DIAGNOSTICS

K. Pereverzyev

«ДАК-ЕНЕРГЕТИКА» LLC, Ukraine

This paper describes developments of tools and methods in a wear of contact wire aspect, based on optical diagnostic systems and computer vision. In general, such diagnostic systems contribute towards improved service quality, reduced costs and increased security in railways.

The contact wire is an important part of the OCL. It interacts with the pantographs which are mounted on the roof of trains and moving at various speeds. It is subject to abrasion, friction, scraping, corrosion, erosion, vibration, arcing and welding at different degrees of severity depending on the wire and collector strip materials, modes of interaction and the environmental conditions that defines the wear of contact wires.

Measuring systems which automatically detect the degree of wire wear are necessary in order to carry out efficient OCL infrastructure management and condition-based maintenance of contact wire. The problem of wear measurement characterized by some important determining factors like lighting conditions, background scenery and the disparity of reflexives properties of the contact wire. Besides, in order to conduct an efficient inspection, the measures have to be carried out in a changing speed of inspection train. Finally, an important issues for designing and developing measurement systems are the number of wire in measurement range. Systems have to be able to measure not less than four contact wires which are simultaneously in a range of vision and the contact wire geometric parameters such as height and displacement (stagger).

The measuring systems have to acquire, process and store a considerable amount of data in real time. Due to the amount of information to be processed, a high-performance architecture and effective algorithms are needed for real-time monitoring.

The hardware and software modernization of a high-speed laser system for a contact wire parameters measurements are examined. Such modernization is fulfilled mostly by implementing a real-time high-speed compression algorithms and using LED backlighting.

The results of the measurement of the contact wire's wear obtained by a modernized high-speed laser system during an inspection trips on a new modern laboratory-car are given in this article.

Keywords: optical diagnostic systems, LED emitter, overhead contact lines of railways