

Чигирик Н.Д., Вихопень І.Р.

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Електричне устаткування електровозів працює в важких умовах, а його несправності призводять до великих матеріальних і часових витрат. За статистикою, більше половини позапланових ремонтів електровозів пов'язані з дефектами електричного устаткування. Діагностика дефектів електричного устаткування є однією з технічно складних операцій, зважаючи на необхідність аналізу великої кількості щільно розташованих контактних груп, панелей, складок, струмоведучих кіл і апаратів.

Метою проведених досліджень є визначення можливості застосування сучасних засобів фіксації термозображень, об'єднаних в програмно-апаратний комплекс, для організації моніторингу технічного стану електроустаткування тягового електрорухомого складу в процесі його поточної експлуатації під діючими навантаженнями.

У програмній частині комплексу використана структура штучної нейронної мережі для аналізу термограм в режимі реального часу роботи устаткування і обробки їх з накопиченої бази даних в процесі створення звіту про технічний стан електроустаткування і регламенту робіт з його фактичного стану.

Основною особливістю запропонованої системи є автоматичне виявлення теплових точок і потенційних місць ушкодження в електротехнічному устаткуванні. Розробка системи моніторингу полягає в організації аналізу працездатності електричних компонентів з використанням комбінації штучного інтелекту (системи штучної нейромережі) і передової техніки обробки зображень.

Оцінка технічного стану електроустаткування робиться з використанням температурних норм, які діляться на норми абсолютної температури і норми відносної температури, причому останні встановлені відносно температури довкілля і температури сусідніх однотипних деталей. Окрім цього, при обстеженні мінімізується вплив зовнішніх випадкових чинників, забезпечуються порівнянні початкові умови експерименту.

Перші результати апробації програмно-апаратного комплексу підтверджують можливість якісної фіксації термокартини зони спостереження з електроустаткуванням, своєчасне розпізнавання розвитку дефекту. Це дає основу до подальшого доопрацювання елементів комплексу.

Ключові слова: тяговий електрорухомий склад, високовольтне устаткування, тепловізійний модуль, термограма, штучна нейронна мережа, моніторинг.

Актуальність дослідження. В сучасних умовах все більшого значення набувають методи оцінки технічного стану устаткування в промисловості і на транспортних об'єктах, що дозволяють з великою вірогідністю розпізнавати початок розвитку дефекту, його характер, що дає можливість поступово перейти до ремонту пошкодженого устаткування і агрегатів по фактичному їх стану.

Електричне устаткування електровозів експлуатується в важких умовах, а його несправності призводять до великих матеріальних і часових витрат. За статистикою, більше половини позапланових ремонтів електровозів пов'язані з дефектами електричного устаткування. Діагностика дефектів електричного устаткування є однією з технічно складних операцій, зважаючи на необхідність аналізу великої кількості щільно розташованих контактних груп, панелей, складок, струмоведучих кіл і апаратів.[1]

Запропонований метод інфрачервоної термографії доки не знаходив широкого застосування в діагностиці тягового рухомого складу внаслідок низької якості приймальних матриць тепловізійної апаратури, що не дозволяло однозначно ідентифікувати саме устаткування і місця дефектів на ньому у термокадрах.

Нині розроблені різні типи облаштувань візуалізації теплового (інфрачервоного) випромінювання з більше просунутими і складними функціями [2,3]. Основні якості термографічної камери, полягають в тому, що вона може захоплювати теплове зображення і вимірювати випромінювальну здатність поверхні в кадрі в різних температурних діапазонах. Кожен піксель термограми має певне значення температури, а контрастність зображення визначається різницею температури поверхні.

Температура і обумовлений цим тепловий стан електричної апаратури є найбільш важливими чинниками надійності будь-якого об'єкту [4]. Відмова апаратури настає, коли температура її конструктивних елементів досягне своїх меж. [5]

Згідно з термографічним дослідженням, проведеним в період 1999-2005 рр. [13], 48% проблем були виявлені в елементах під'єднання провідників і болтових з'єднаннях.

Іншою головною причиною перегрівання електричних компонентів є перевантаження.

Значний об'єм електроустаткування також означає і великий час проведення діагностичних процедур, зменшення якого можливо тільки за рахунок впровадження автоматизації фіксації з подальшою обробкою інформації із застосуванням алгоритмів моніторингу і діагностики у рамках єдиного програмного комплексу.

Отже, розвиток розробок, спрямованих на створення програмно-апаратних автоматизованих систем моніторингу і діагностики електроустаткування, є актуальним науково-технічним завданням, що вимагає свого рішення.

Ця робота представляє результати апробації програмно-апаратного комплексу для моніторингу електроустаткування тягового електрорухомого складу в процесі його експлуатації, під навантаженням з використанням методу теплового контролю.

Аналіз відомих результатів досліджень. За результатами аналізу літературних джерел в Україні можна назвати два значні наукові центри, які розвивають тему температурного контролю.

Перший, це НТЦ "Термоконтроль", який більше 12 років є колективним членом Науково-технічного об'єднання теплової діагностики і неруйнівного контролю при НАН України. [7]

Представниками наукової школи професора В.А. Стороженко є кандидати технічних наук: С.М. Мішків, Р.П. Орел, В.А. Маслова, С.Б. Малік-Заморій.

Колективом досягнуті найбільші наукові досягнення, серед яких:

- розпізнавання типів дефектів в термостійких покриттях і оптимізація їх режимів;
- виявлення параметрів дефекту на основі рішення зворотної задачі нестационарної теплопровідності у неоднорідних структурах, методика використання нової концепції "просторової" теплової передатної функції;
- обґрунтована нова концепція теплової томографії, де основою є уявлення про релаксацийний характер теплових процесів;
- розроблена методика наявної візуалізації результатів аналізу термограм у вигляді пошарових розтинів об'єкту(томограми);
- запропонована і обґрунтована на концепції універсальної методики теплової дефектометрії.

Другий, фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, який традиційно більше 45 років проводить регулярні дослідження і розробки в даних областях контролю [8]. В результаті виконаних робіт створені комплекси методів і засоби для температурного і теплофізичного контролю металургійних процесів, устаткування і матеріалів. У складі комплексів розроблені принципово нові, та модернізовані кращі відомі технології контролю з використанням сучасної елементної бази.

Термометричний комплекс побудований за модульним принципом і призначений для безперервного і періодичного контролю, реєстрації і регулювання температурних режимів технологічних процесів в металургії машинобудування і великої металургії, а також в енергетиці, керамічному, скляному, хімічному і інших виробництвах.

Принципи дії термометричних засобів комплексу ґрунтуються на:

- формуванні світлопроводу і передачі теплового випромінювання, термометричні параметри якого однозначно пов'язані з температурою контрольованого об'єкту;
- безконтактній пірометрії випромінювання контрольованої поверхні.

Найбільш суттєві результати отримані провідними вченими України (Л.Ф. Жуков, ФТИМС НАНУ, Н.Е. Гоц, НУ "Львівська політехніка", Л.А. Назаренко ХНУГХ ім. А.М. Бекетова), Росії (Д.Я. Світло, ОИВТ РАН), Японії (М. Hashimoto, Noritake Co., Ltd.), Німеччини (U. Kienitz, "ErichWeinert" betrieb des kombines), США (L.D. Cassady, Princeton University) і Білорусі (В.Н. Снопко, ОТКЗИФ ім. Б.И. Степанова НАНБ). [9]

Визначення мети та задачі дослідження. Актуальність проблеми впровадження тепловізійного контролю і діагностики локомотивів обумовлена тим, що біля 50% відмов і непланових ремонтів електровозів викликано дефектами електричного устаткування.

Для розробки програмно-апаратного комплексу, що підвищує ефективність моніторингу електроустаткування на борту локомотиву в режимі поточного часу з подальшою обробкою даних з метою організації технічного обслуговування і ремонту по фактичному стану необхідно вирішити питання підвищення достовірності ідентифікації конструкційних елементів електроустаткування в термокадрі і значно підвищити продуктивність тепловізійного методу контролю.

Метою проведених досліджень є визначення можливості застосування сучасних засобів фіксації термозображень, об'єднаних в програмно-апаратний комплекс, для організації моніторингу технічного стану електроустаткування тягового електрорухомого складу в процесі його поточної експлуатації під діючими навантаженнями.

У програмній частині комплексу використана структура штучної нейронної мережі для аналізу термограм в режимі реального часу роботи устаткування і обробки їх з накопиченої бази даних в процесі створення звіту про технічний стан електроустаткування і регламенту робіт з його фактичного стану.

Поставлена мета досягається рішенням наступних основних завдань:

- аналізу основних положень температурного контролю, в частині дослідження температурного тренду, отриманого в процесі моніторингу;
- аналізу досвіду застосування термоконтролю у виявленні дефектів електроустаткування;
- пошуку тепловізійного модулю для розташування його в умовах машинного відділення локомотиву;
- визначення алгоритму обробки, що поступає від тепловізійних модулів, інформації (у вигляді термограм)

Основна частина дослідження. Дослідження [10] показують, що до 75-80% різних дефектів електричного устаткування (і до 30% машинного) можна виявити і діагностувати з використанням методу термоконтролю (ТК).

На основі великого обсягу проведених експериментальних тепловізійних обстежень пропонується система моніторингу технічного стану високовольтного устаткування безпосередньо в процесі його роботи, яка дозволить в масштабі реального часу виявляти і фіксувати виникнення і розвиток осередків явних дефектів.

Основною особливістю пропонованої системи є автоматичне виявлення теплових точок і потенційних місць ушкодження в електротехнічному устаткуванні. Розробка системи моніторингу полягає в організації аналізу працездатності електричних компонентів з використанням комбінації штучного інтелекту (системи штучної нейромережі) і передової техніки обробки зображень.

Оцінка технічного стану електроустаткування робиться з використанням температурних норм, які діляться на норми абсолютної температури і норми відносної температури, причому останні встановлені відносно температури довкілля і температури сусідніх однотипних деталей. Окрім цього, при обстеженні мінімізується вплив зовнішніх випадкових чинників, забезпечуються порівнянні початкові умови експерименту.

У разі відсутності норм для вузла проводилося дослідження температурного тренду, отриманого в процесі моніторингу. Область різкого зростання і проява дефекту відрізняється від області експлуатації у нормальному режимі зміною форми тренду контрольованого параметра. З лінійного тренд стає експоненціальним, зі швидким наростанням параметру в дефектній області.

Це означає, що облік зміни (виникнення) кривизни тренду найточніше локалізує межу двох кластерів. Для визначення межі кластера мінімізується функція

$$J = \sum_{j=1}^k U_j^2 \sum_{i=1}^n (x_i^{(j)} - c_j)^2, \quad (1)$$

де U_j — функція, що підтверджує, що тренд для вибраного кластера є лінійним;

$x_i^{(j)}$ — точка кластера;

c_j — центроїд кластера.

Нехай

$$Q(\alpha, \beta) = 1 - P(\alpha, \beta), \quad (2)$$

де $P(\alpha, \beta) = \frac{\gamma(\alpha, \beta)}{\Gamma(\alpha)} = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int e^{-t} t^{\alpha-1} dt$ — неповна гама-функція, тоді функція U , визначена за

допомогою виразу

$$U_j = Q\left(\frac{N_j - 2}{2}, \frac{\chi_j^2}{2}\right), \quad (3)$$

де N_j — кількість точок у j -му кластері;

χ_j^2 — критерій згоди, що визначає коректність моделі по відношенню до експериментальних даних.

Гіпотеза лінійності розподілу вважається вірною у разі, якщо значення параметра перевищить певний, емпірично заданий поріг.

Значення χ^2 у разі лінійної регресійної моделі визначається у вигляді

$$\chi^2(a, b) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{y_i - a - bx_i}{\sigma_i} \right)^2, \quad (4)$$

де a, b — коефіцієнти лінійного регресійного рівняння;

σ_i — середньоквадратичне відхилення (СКВ) для y_i . У загальному випадку, СКВ обчислюється для усіх y_i .

Результати експериментальної апробації тепловізійного методу показали, що температура деталей і вузлів електроустаткування перевищує абсолютні нормативні показники досить рідко, лише у разі явно виражених дефектів. У більшості випадків несправності і дефекти, що розвиваються, виявляються шляхом зіставлення з температурою аналогічних деталей і вузлів (моніторинг за множиною) або вистежуванням і зіставленням трендів температури одних і тих же деталей (моніторинг у часі).

Моніторинг за множиною справедливо застосовувати для глибокого аналізу виникнення і розвитку дефекту. При цьому для досягнення позитивного результату потрібне застосування автоматичної обробки результатів в умовах попередніх вимірів.

Часто слабка термоконтрастність деталей на термограмах і велика кількість самих деталей не дозволяють з достатньою вірогідністю ідентифікувати деталь на термограмах, що також робить неможливим збереження термохарактеристик контрольованих деталей у базі даних з можливістю їх подальшого аналізу. Щоб усунути відмічений недолік [1,10,11], запропоновано використати синхронну реєстрацію термо-відеозображень і подальший спільний аналіз знімків.

Для цього використовується схема термо-оптичної системи (ТОС), що складається з термокамери і цифрового фотоапарата (відеокамери) з фіксованою базою між ними. При цьому істотною проблемою стає спільне калібрування ТОС і усунення паралакса (спотворень оптики).

Для використання ТОС при періодичних обстеженнях процес обробки інформації, що міститься в термокадрах, має бути автоматизований з використанням програми, що витягає температурні характеристики виділених на відеозображеннях ділянок і що заносить їх у базу даних, з подальшою побудовою трендів зміни температури окремих деталей в полі допустимих абсолютних або відносних температур.

Без цього неможливо вирішити питання про періодичні термообстеження систем і вузлів електроустаткування складних промислових і транспортних систем (що містять, десятки і сотні контрольованих деталей) за обмежений час проведення оглядів при ТО, або виконанні технологічних процесів при виробництві і ремонті, післяремонтних випробуваннях.

У цій роботі пропонується застосування тепловізійного контролю технічного стану електроустаткування тягового електрорухомого складу шляхом відстежування і зіставлення трендів температури одних і тих же деталей (моніторинг у часі).

Сучасні тепловізори з високим рівнем чутливості і роздільною здатністю приймальної матриці дозволяють дистанційно моніторити роботу високовольтного і комутаційного устаткування, наприклад електровоза, даючи загальну теплову картину їх технічного стану безпосередньо під навантаженням в процесі рядової експлуатації.

В даному випадку метод термоконтролю не може претендувати на роль самостійного, «ідеального» методу діагностики, і у разі розпізнавання початку розвитку дефекту (по зростаючій яскравості об'єкту на термограмі) для детального визначення виду і характеру дефекту доцільне застосування інших методів неруйнівного контролю.

З іншого боку ми маємо постійний моніторинг технічного стану високовольтного і комутаційного устаткування в процесі безпосередньої експлуатації, що дає вичерпну інформацію локомотивній бригаді про ситуацію на борту. Крім того, накопичена інформація у вигляді набору термограм, хронологічно записана в пам'яті системи моніторингу, являється:

- джерелом планування робіт по технічному обслуговуванню спостережуваного устаткування в локомотивних депо;
- джерелом формування технічної історії локомотиву;
- базою даних навчальної програми для штучної нейронної мережі, яка проводить аналіз технічного стану устаткування в реальному часі і видає прогноз оптимального терміну проведення технічного обслуговування або ремонту. Причому моніторинг технічного стану устаткування, аналіз і прогноз здійснюється індивідуально для конкретного локомотиву.

Для організації постійного контролю розроблений програмно-апаратний комплекс, що включає:

- ряд тепловізійних модулів (камер), які встановлюються в машинному відділенні, наприклад, електровозу. Розташовуються на відстані від поверхонь, де розташовані об'єкти спостереження, так, щоб кадр вмщував максимальну зону огляду;
- монітор для поточної візуалізації термокартини;
- комп'ютер;
- програмне забезпечення, що дозволяє записувати термограми, обробляти за допомогою штучних нейронних мереж, видавати рекомендації по технічному стану спостережуваного устаткування.

Структурна схема комплексу приведена на рисунку 1.

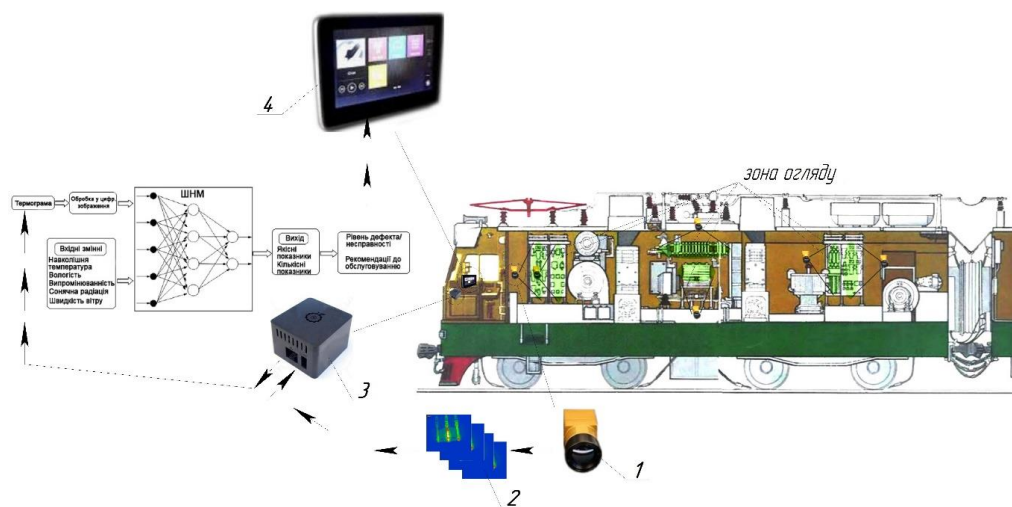


Рисунок 1 – Схема роботи програмно-апаратного комплексу термоконтролю високовольтного обладнання
1 — тепловізійний модуль (камера); 2 — потік термограм; 3 — мінікомп'ютер; 4 — програмне забезпечення з використанням штучних нейронних мереж

В якості теплових камер, встановлених в машинному відділенні електровозу, використаний тепловізійний модуль високого роздільного mIR-1024M14TS (рисунок 2). Це неохолоджуваний тепловізійний модуль діапазону 8-14 мкм високого роздільного (1024x768 пікселів) з розміром пікселя 14 мкм. mIR-1024m14ts дозволяє:

- отримати більший кут огляду при кращій деталізації зображення;
- збільшити ефективність функцій постобробки і відеоаналітики;
- ефективніше використати функцію цифрового збільшення.



Рисунок 2 – Тепловізійний модуль високої роздільної якості mIR-1024M14TS

Апробація системи, що розробляється, проведена в лабораторних умовах з встановленням тепловізійного модуля в повністю функціональному макеті високовольтної камери локомотиву.

Після 30 хвилин роботи камери під навантаженням зроблені ряд термограм, зображення яких поступає в комп'ютер, де проводиться їх попередня обробка з метою поліпшення якості, у тому числі згладжування зображень, усунення шуму, оптимізація колірних меж, усунення шумів (рисунок 3). Після цього програмне забезпечення сегментує зображення, виділяючи гарячі зони на кадрі, міру яскравості яких у вигляді сигналів певного рівня стають входами навченої штучної нейронної мережі.

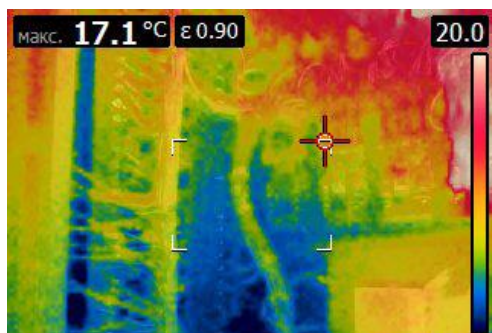


Рисунок 3 – Термограма зони високовольтної камери

Завдання визначення умов відмов по суті є проблемою розпізнавання образів, з якою застосована багатосарова нейронна мережа успішно справляється. При цьому, чим більше інформації (у вигляді термограм з цієї зони спостереження) буде оброблено в процесі навчання нейромережі, тим точніше будуть сформульовані висновки про технічний стан устаткування і дані потрібні рекомендації.

Щоб отримати дійсний рівень температури електроустаткування необхідно врахувати додатково внутрішні і зовнішні чинники. Внутрішні чинники пов'язані з цільовими компонентами, такими як випромінювальна здатність компонента і тепловий градієнт. Зовнішній чинник пов'язаний з чинниками довкілля, такими як швидкість вітру, опади, сонячна радіація і температура довкілля.

Тому усі ці дані, отримані від відповідних датчиків системи, вводяться також в якості вхідних змінних.

В результаті роботи програмного забезпечення на екрані монітора машиніст спостерігає мигання зони з аварійним перегріванням устаткування і застережливий звуковий сигнал.

Для технічного обслуговування усі випадки попередження в дорозі, прогнольні параметри записуються у базу даних, тим самим формуючи паспорт технічного стану локомотиву.

На етапі апробації системи, що розробляється, дефект електроустаткування за яким проводиться спостереження, вводився примусово (введення додаткового навантаження), що привело до підвищення температури, яке і фіксується програмним забезпеченням системи.

Висновки. Пропоноване застосування теплового контролю у вигляді тотального моніторингу електроустаткування дозволяє:

- у режимі поточного часу стежити за технічною ситуацією на борту локомотиву;

- оперативно виявляти дефекти на ранній стадії, аналізувати динаміку їх розвитку за рахунок обробки в системі штучної нейронної мережі (ШНМ);
- надавати інформацію бригаді про міру ризику виникнення критичної аварійної ситуації;
- формувати регламент поточного ремонту електроустаткування локомотиву "по фактичному стану" на підставі накопиченої інформації (термограм);
- безперервно навчати ШНМ, підвищуючи достовірність висновків системи термоконтролю.

Перші результати апробації програмно-апаратного комплексу підтверджують можливість якісної фіксації термокартини зони спостереження з електроустаткуванням, своєчасне розпізнавання розвитку дефекту. Це дає основу до подальшого доопрацювання елементів комплексу.

Література

1. Перельгин, В.Н. Методы и средства совместной обработки термо-оптической информации в задачах диагностики транспортных объектов: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 Иркутск, 2011. 23 с.
2. Mohd Sh. J., Soib T. , Shahid K. Infrared Thermography for Assessing and Monitoring Electrical Components within Concrete Structures. PIERS Proceedings, Marrakesh. MOROCCO 2011. March. Vol. 20-23. P. 786–789.
3. Braunovic M., Myshkin N. K., Konchits V. V. Electrical Contacts Fundamentals. Applications and Technology. CRC Press. 2007.- P. 98–100.
4. Handbook of Nondestructive Evaluation.: Chuck, H.; 1st Edition, McGraw-Hill Professional, 2001. 720 P.
5. A tool for reliability and safety: Predict and prevent equipment failures with thermography. R., Epperly, G. Heberlein, L. Ead . Proceedings of Petroleum and Chemical Industry Conference. 1997. P. 59–68.
6. Titman, D. J. Applications of thermography in non-destructive testing of structures. NDT&E International, 2001. Vol. 34, No. 2, P. 149–154.
7. Тепловые методы неразрушающего контроля материалов и изделий: дефектоскопия, дефектотрия и томография. 13.05.2018 г.: ХНУРЭ. Харьковский национальный университет радиоэлектроники. URL: <https://nure.ua/ru/teplovye-metody-nerazrushajushhego-kontrolja-materialov-i-izdelij-defektoskopija-defektometrija-i-tomografija>.
8. Жуков, Л. Ф. Новые технологии температурного и экспрессного теплофизического контроля для металлургии и металлургии машиностроения. Литье и металлургия. 2006. №3(38). С. 50–56.
9. Корниенко, А. Л. Методы и средства многоцветовой симметрично- волновой термометрии металлических сплавов : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.04/. Киев, 2015. 171 с.
10. Капустин, А.Н. Автоматизация тепловизионного контроля и мониторинга промышленного и транспортного электрооборудования на основе обработки видео- и термоизображений : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01. Иркутск, 2005. 23 с.
11. Лукьянов А. В., Гарифулин В. Ю., Перельгин В. Н., Романовский А. И. Комплекс термодиагностики оборудования электровозов. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleks-termodiagnostiki-oborudovaniya-elektro-vozvov>.

References

1. Perelygin, V.N. Metody i sredstva sovmestnoj obrabotki termo-opticheskoy informacii v zadachah diagnostiki transportnyh ob"ektov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.01 Irkutsk, 2011. 23 p. [In Russian]
2. Mohd Sh. J., Soib T. , Shahid K. Infrared Thermography for Assessing and Monitoring Electrical Components within Concrete Structures. PIERS Proceedings, Marrakesh. MOROCCO 2011. March. Vol. 20-23. P. 786–789.
3. Braunovic M., Myshkin N. K., Konchits V. V. Electrical Contacts Fundamentals. Applications and Technology. CRC Press. 2007.- P. 98–100.
4. Handbook of Nondestructive Evaluation.: Chuck, H.; 1st Edition, McGraw-Hill Professional, 2001. 720 P.
5. A tool for reliability and safety: Predict and prevent equipment failures with thermography. R., Epperly, G. Heberlein, L. Ead . Proceedings of Petroleum and Chemical Industry Conference. 1997. P. 59–68.
6. Titman, D. J. Applications of thermography in non-destructive testing of structures. NDT&E International, 2001. Vol. 34, No. 2, P. 149–154.
7. Teplovye metody nerazrushajushchego kontrolya materialov i izdelii: defektoskopiya, defektometriya i tomografiya. 13.05.2018 g.: HNURE. Har'kovskij nacional'nyj universitet radioelektroniki. URL: <https://nure.ua/ru/teplovye-metody-nerazrushajushhego-kontrolja-materialov-i-izdelij-defektoskopija-defektometrija-i-tomografija>. [In Russian]
8. ZHukov, L. F. Novye tekhnologii temperaturnogo i ekspressnogo teplofizicheskogo kontrolya dlya metallurgii i metallurgii mashinostroeniya. Lit'e i metallurgiya. 2006. Vol.3(38). P. 50–56. [In Russian]
9. Kornienko, A. L. Metody i sredstva mnogocvetovoj simmetrichno-volnovoj termometrii metallicheskikh splavov : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.11.04/. Kiev, 2015. 171 p. [In Russian]

10. Kapustin, A.N. Avtomatizaciya teplovizionnogo kontrolya i monitoringa promyshlennogo i transportnogo elektrooborudovaniya na osnove obrabotki video- i termoizobrazhenij : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.01. Irkutsk, 2005. 23 p. [In Russian]
11. Luk'yanov A. V., Garifulin V. YU., Pereygin V. N., Romanovskij A. I. Kompleks termodiagnostiki oborudovaniya elektrovozov. Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. 2009. Vol.4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleks-termodiagnostiki-oborudovaniya-elektro-vozov>. [In Russian]

The electrical equipment of electric locomotives operates in harsh conditions, and its malfunctions lead to high material and time costs. According to statistics, more than half of unscheduled repairs of electric locomotives are associated with defects in electrical equipment. Diagnostics of defects in electrical equipment is one of the technically difficult operations, given the need to analyze a large number of densely located contact groups, panels, folds, current-carrying circuits and devices.

The purpose of the research is to determine the possibility of using modern means of fixing thermal images, combined into a software and hardware complex for organizing monitoring of the technical condition of electrical equipment of traction electric rolling stock during its current operation under current loads.

In the software part of the complex, the structure of an artificial neural network is used to analyze thermograms in real time of the equipment operation and process them according to the accumulated database in the process of creating a report on the technical condition of electrical equipment and the procedure for work on its actual state.

The main feature of the proposed system is the automatic detection of hot spots and possible locations of damage in electrical equipment. The development of a monitoring system consists in organizing the analysis of the health of electrical components using a combination of artificial intelligence (artificial neural network system) and advanced image processing technology.

Assessment of the technical condition of electrical equipment is done using temperature standards, which are divided into absolute temperature standards and relative temperature standards, the latter being set in relation to the temperature of the environment and adjacent parts of the same type. In addition, during the examination, the influence of external random factors is minimized, and comparable initial conditions of the experiment are provided.

The first results of approbation of the software and hardware complex confirm the possibility of high-quality fixation of the thermal image of the observation area with electrical equipment, timely recognition of the development of a defect. This provides a basis for further refinement of the elements of the complex.

Keywords: *electric traction rolling stock, high-voltage equipment, thermal imaging module, thermogram, artificial neural network, monitoring.*

Чигирик Н. Д. – к.т.н., доцент кафедри Експлуатація та ремонт рухомого складу, Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків.

Вихопень І. Р. – аспірант кафедри Експлуатація та ремонт рухомого складу, Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків.