

УДК 656.256: 681.32

*Д-р техн. наук А.Б. Бойнік,  
В.Ю. Олійник*

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИБОРІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

**Вступ.** Пристрої залізничної автоматики та телемеханіки, що використовуються для управління рухом поїздів, є важливим технічним засобом залізниці. Вони призначені для управління стрілками та сигналами на станціях та перегонах і від їх безвідмовної роботи багато у чому залежить процес перевезень.

Значна увага, що приділяється проблемі безвідмовності пристроїв автоматики та телемеханіки, зумовлена рядом причин. По-перше, автоматизація процесу перевезень та використання електричної централізації, автоблокування та інших систем залізничної автоматики і телемеханіки в значній мірі збільшили залежність роботи залізниці від надійності окремих пристроїв. По-друге, різко збільшилась «вартість відмови», тобто збитки, зумовлені відмовами у роботі технічних засобів, особливо на ділянках з інтенсивним рухом поїздів. При цьому вирішального значення набувають питання попередження відмов пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) [1].

**Постановка проблеми.** Зараз в Україні існують лише ручні способи перевірки нагріву елементів в електроустановках. Періодичні перевірки нагріву елементів виконуються за допомогою свічок. Експлуатаційний комплект складається з п'яти свічок з

температурою плавлення 50, 80, 100, 130 та 160°C. Суть способу полягає у тому, що закріпленою на ізолюючу штангу свічкою торкаються окремих елементів контакту. При температурі нагріву досліджуваної частини контакту, рівній температурі плавлення матеріалу свічки, її кінець починає плавитись. Але зазначений спосіб не вирішує проблему перевірки нагріву елементів, які знаходяться у корпусі реле чи блоків.

Для забезпечення контролю за нагрівом елементів доцільно застосовувати спосіб тепловізійного діагностування.

**Метою роботи** є дослідження способів інфрачервоного (ІЧ) діагностування пристроїв залізничної автоматики.

**Аналіз порушень роботи пристроїв СЦБ.** Проведений головним управлінням автоматики, телемеханіки та зв'язку аналіз відмов пристроїв сигналізації, централізації та блокування протягом п'яти років показує, що кількість відмов не має тенденції до зменшення. Так, в 2008 році у порівнянні з 2007 кількість відмов зменшилася з 6866 до 5547, тобто на 19,2 %, а кількість відмов у 2009 році склала 5177, що на 6,7 % менше, ніж в 2008. Проте у 2010 році кількість відмов зросла на 16,2 % по відношенню до 2009. За попередній рік вдалося зменшити кількість відмов до 4837, тобто на 19,6 %.

Однак загальне зменшення кількості відмов пристроїв СЦБ не призвело до зменшення пошкоджень, які були віднесені за господарством сигналізації та зв'язку. Якщо у 2008 та 2009 роках вдалося зменшити їх кількість у порівнянні з попередніми роками, то в 2010 році кількість відмов відносно 2009 року зросла

на 7,5 %. Протягом 2011 року кількість пошкоджень з вини господарства сигналізації та зв'язку зросла в порівнянні з 2010 роком на 5,8 % та склала 1515 відмов [2]. Динаміка кількості відмов пристроїв СЦБ за період з 2007 по 2011 наведена на рис. 1.

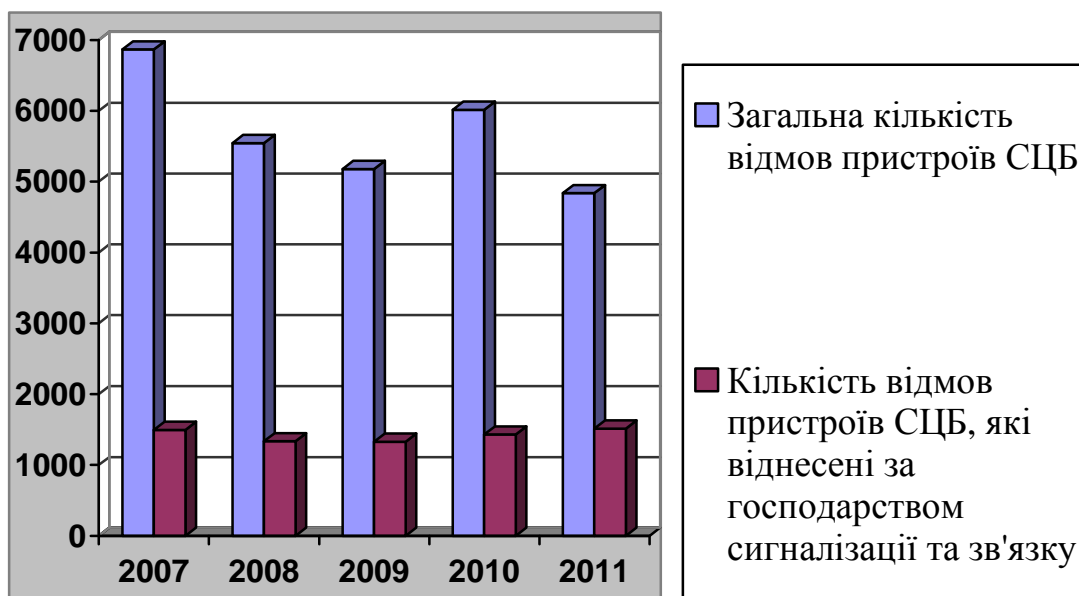


Рис. 1. Динаміка кількості відмов пристроїв СЦБ за період 2007–2011 років

Аналіз відмов пристроїв СЦБ за останній рік, віднесених за господарством сигналізації та зв'язку, показує, що основними об'єктами відмов пристроїв СЦБ є:

- вихід з ладу реле, блоків, трансформаторів, випрямлячів, безконтактної апаратури, пристроїв захисту – 423 відмови, або 27,9 %. Основні причини відмов апаратури – обрив обмоток та монтажних проводів у приладах, вихід з ладу напівпровідникових елементів;

- несправність в релейних шафах, на стативах, в колійних коробках – 270 відмов, або 17,8 %. Основні причини відмов – несправність штепсельних плат, клем, різнімачів, монтажу;

- порушення роботи рейкових кіл – 231 відмова, або 15,2 %. Основні причини відмов у рейкових колах – обрив

дросельних перемичок, обрив або відсутність стрілочних з'єднувачів, а також закорочування рейкового кола;

- порушення роботи кабельних ліній – 220 відмов або 14,5 %. Основні причини відмов кабельних ліній – внутрішній обрив жил, неякісне паяння, пошкодження кабелів при виконанні робіт, зниження опору ізоляції;

- несправність стрілочних електроприводів, стрілочної гарнітури – 111 відмов, або 7,3 %.

Основними причинами відмов пристроїв СЦБ є:

- порушення технології виконання робіт (недотримання вимог технологічних карт та керівництв з експлуатації) при технічному обслуговуванні та ремонті пристроїв СЦБ;

- вихід з ладу приладів, пристроїв через фізичне старіння;
- неякісний ремонт та перевірка приладів у РТД СЦБ;
- вплив грозових та комутаційних перенапруг;
- конструктивно-заводський недолік.

**Причини виникнення теплових пошкоджень елементів.** Особливу увагу слід приділити відмовам реле, блоків, трансформаторів, тобто апаратури, яка знаходиться або у релейних шафах чи колійних коробках, або на стативах у релейному приміщенні, виходам з ладу яких передують підвищення температури. Так, наприклад, при протіканні через контактні з'єднання струму внаслідок перехідного опору на контактному з'єднанні падає напруга, потужність та виділяється енергія, яка викликає нагрів контактів. Надмірне нагрівання контактів призводить до їх окислення, а окисні плівки більшості металів не проводять струм та різко

збільшують перехідний опір (рис. 2). На ділянці a-b перехідний опір зростає внаслідок все більш інтенсивного виникнення окисної плівки. На ділянці b-c опір падає внаслідок порушення міцності матеріалу та його пом'якшення, що призводить до збільшення площі дотику. На ділянці c-d опір знову починає зростати внаслідок різкого збільшення питомого опору матеріалу. Це зростання буде продовжуватись до повного розплавлення матеріалу.

Особливо значні підвищення температури контактів можуть мати місце при проходженні через них струму короткого замикання. Гранично допустима температура при струмах короткого замикання для контактів з міді становить 200-300 °С, а для алюмінієвих – 150-200 °С. У випадках перевищення граничної допустимої температури механічна міцність матеріалу контактів різко зменшується.

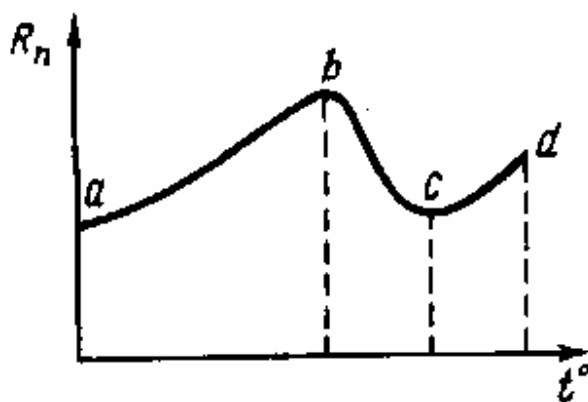


Рис. 2. Залежність перехідного опору від температури

Надмірне збільшення струму в колі або зростання опору може призвести в подальшому до підвищення температури контакту та підвідних проводів, що може викликати пожежу.

**Дослідження способів інфрачервоного діагностування пристроїв залізничної автоматики.** Для попередження відмов, пов'язаних з перегрівом елементів, підгорянням

контактів, збільшенням перехідного опору контактів реле, які призводять до теплових пошкоджень елементів, слід використовувати метод тепловізійного діагностування.

Використання тепловізійного діагностування дає змогу отримати таку інформацію про об'єкт дослідження, яку отримати іншим способом було б неможливо або настільки технічно складно, що втрачалася б

економічна доцільність роботи. За допомогою методу можливе обстеження великої кількості об'єктів у найкоротші терміни без виведення їх із експлуатації. Це такі об'єкти: трансформатори напруги, силові трансформатори, вимикачі, струмоведучі частини, контакти та контактні з'єднання, обмежувачі перенапруги, розрядники, трансформатори струму, запобіжники, конденсатори, електродвигуни. Даний метод дозволяє виявити дефекти на ранній стадії розвитку, що дає змогу оперативно відреагувати та

усунути пошкодження на початковому етапі.

Суть методу тепловізійного діагностування, який являє собою тепловий контроль, полягає у можливості фіксації температурних змін, що відбуваються у об'єктах діагностування. В основі методу лежить використання тепловізора.

Тепловізор – прилад, що приймає сигнали в інфрачервоній області спектра (теплове випромінювання) і перетворює їх у видимі зображення. Функціональна схема тепловізора зображена на рис. 3.

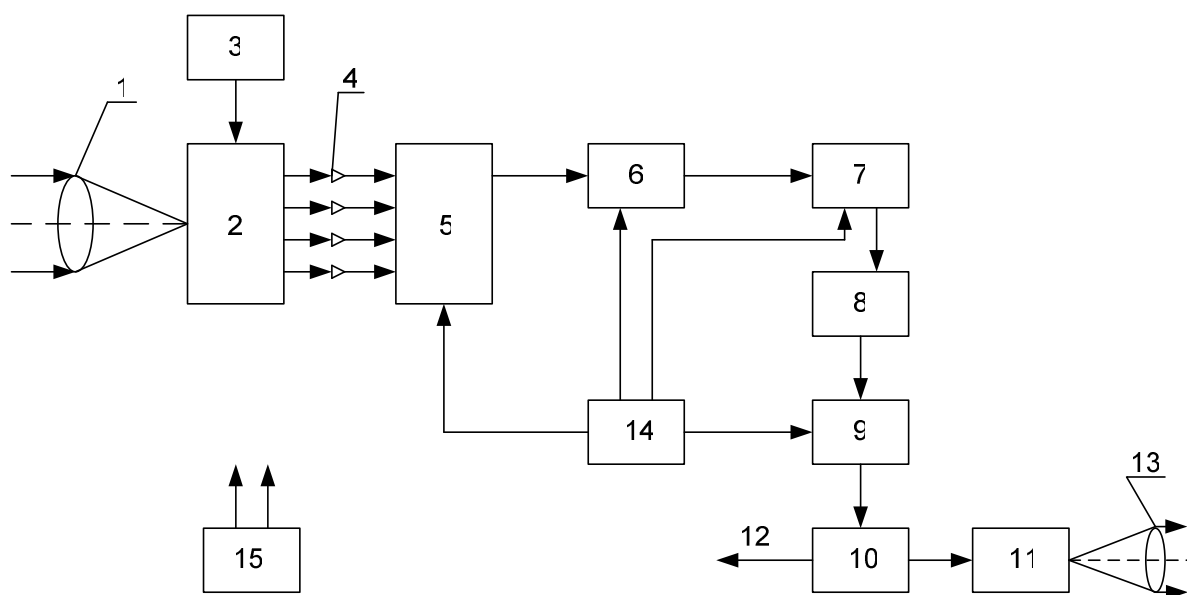


Рис. 3. Функціональна схема тепловізора

Основними елементами тепловізійного пристрою є: 1 – ІЧ-об'єкти, 2 – матриця ІЧ-фотоприймачів, 3 – блок охолодження або термостабілізації матриці, 4 – предпідсилювачі, 5 – мультиплексор, 6 – аналоговий коректор неоднорідності сигналів, 7 – аналого-цифровий перетворювач, 8 – цифровий коректор неоднорідності сигналів, 9 – коректор непрацюючих елементарних фотоприймачів матриці, 10 – блок формування зображення з мікропроцесорною обробкою відеосигналу, 11 – цифровий вихід для підключення до персонального комп'ютера, 12 – ТВ-монітор, 13 – окулярна система, 14 – тактовий

генератор, 15 – первинне джерело живлення (акумуляторна батарея). Наявність блока охолодження і окулярної системи необов'язкова і залежить від типу приладу. Неоднорідності сигналів елементарних фотоприймачів матриці попередньо корегуються в аналоговій формі, перетворюються в цифрову і корегуються з використанням даних, отриманих в процесі калібрування. Далі сигнали виправляються (можливо віднімання непрацюючих елементів матриці з їх заповненням) і направляються в блок формування зображення. На його виході інформація видається або як

відеосигнал, що направляється в ТВ-монітор, або в цифровій формі для передачі в персональний комп'ютер [3]. Для глибокого (криогенного) охолодження матриці ( $T = 75-80 \text{ K}$ ) використовується газова холодильна машина, що працює по замкнутому циклу Спліт-Стірлінга. Для неглибокого охолодження ( $T = 150-250 \text{ K}$ )

або термостабілізації роботи неохолоджуваної матриці використовується система термоелектричного охолодження.

Сучасні фокально-площинні матриці ІЧ-фотоприймачів можуть бути виконані на основі різних матеріалів. Основні параметри фокально-площинних матриць ІЧ-фотоприймачів наведені в таблиці.

Таблиця

Основні параметри фокально-площинних ІЧ-матриць для тепловізійних пристроїв

Країна, фірма	Тип матриці	Робоча область спектра, мкм	Число пікселей	Розмір пікселя, мкм	Робоча температура, К	Температурна чутливість, мК
1	2	3	4	5	6	7
США, Raytheon	QWIP	8~12	256x256	28x28	70	15
Франція, LIR	KPT	3~5	640x480	23x23	77	14
США, Hughes	PtSi	3~5	256x256	30x30	40	
США, SBRC	InSb	3~5	256x256	30x30	50	
Японія, Mitsubishi Electric Co	Ge:Si/Si (бар'єр Шотки)	8~12	512x512	34x34	43	80
РФ, ЦНИИ "Электрон"	PbS	1,5~4	128x128	60x60	80	20
Франція, LIR	МБ	8~14	256x64	47x47	300	50

В теорії та практиці проектування тепловізійних оптико-електронних систем важливу роль відіграє моделювання тепловізійних зображень. Яскравість тепловізійних зображень залежить як від розподілу температури по поверхні об'єкта, що спостерігається, так і від коефіцієнта випромінювання та орієнтації елементів його поверхні, які спостерігаються, його форми. Крім того, якість тепловізійного зображення залежить від передаточних

характеристик оптичної системи і всіх ланок тепловізора.

В основу теорії моделювання тепловізійних зображень закладений процес формування відеосигналів пропорційно потоку теплового випромінювання об'єкта для всього тепловізійного кадру, в якому міститься  $L$  рядків і  $N$  елементів у рядку. Величина відеосигналу  $U(N, L)$  елемента розкладання кадру описується виразом [3]:

$$U(N, L) = (1/\pi) \cdot \varepsilon(\psi) \cdot \omega \cdot \cos\psi(N, L) \cdot dS(N, L) \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\lambda} \cdot W(\lambda, T, y, z) \cdot \tau_0(\lambda) \cdot \tau_a(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (1)$$

де  $\omega$  – передній апертурний кут оптичної системи тепловізора;

$\psi$  – кут між нормаллю до елемента  $dS(N, L)$  поверхні об'єкта і напрямком спостереження;

$W(\lambda, T, y, z)$  – спектральна світність елемента  $dS$  ( $N, L$ ) поверхні об'єкта, що має абсолютну температуру  $T$ ;

$\epsilon(\psi)$  – індикатриса спектрального коефіцієнта випромінювання поверхні об'єкта;

$S_\lambda$  – абсолютна спектральна чутливість приймача випромінювання тепловізора;

$\lambda_1, \lambda_2$  – межі спектральної чутливості приймача випромінювання;

$\tau_o(\lambda), \tau_a(\lambda)$  – спектральний коефіцієнт пропускання оптичної системи і шару атмосфери;

$y, z$  – координати елемента  $dS$  ( $N, L$ ) поверхні об'єкта в просторі предметів.

Для аналізу впливу на якість зображення передаточних характеристик оптичної системи тепловізора, приймача випромінювання, електронного блока обробки інформації та відеоконтрольного пристрою використовується розподіл освітленості  $E(y', z')$ , що визначається за формулою [3]

$$E(y', z') = \tau_o \cdot \omega' \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} L(v, \mu) \cdot h_o(v, \mu) \cdot h_n(v, \mu) \cdot h_s(v, \mu) \cdot h_b(v, \mu) \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot (v \cdot y' + \mu \cdot z')} \cdot dv \cdot d\mu, \quad (2)$$

де  $\omega'$  – задній апертурний кут оптичної системи тепловізора з інтегральним коефіцієнтом пропускання  $\tau$ ;

$h_o(v, \mu), h_n(v, \mu), h_s(v, \mu), h_b(v, \mu)$  – модуль передавальної характеристики відповідно оптичної системи, приймача випромінювання, електронного блока обробки інформації та відеоконтрольного пристрою;

$y', z'$  – координати елемента  $dS$  поверхні об'єкта в просторі зображень;

$L(v, \mu)$  – просторово-частотний спектр яскравості поверхні об'єкта;

$(v, \mu)$  – просторові частоти, приведені до площини зображень.

Використання тепловізорів можливе як у ручному режимі, так і в автоматичному. Ручний спосіб застосування передбачає періодичний контроль обслуговуючим персоналом температурних характеристик об'єктів контролю за допомогою переносного тепловізора. Недоліком даного способу є людський фактор та достатньо велика періодичність контролю.

Автоматичний спосіб передбачає діагностування контрольованих об'єктів

без участі обслуговуючого персоналу. Тепловізор закріплений на технічній установці та переміщається в площині паралельно відносно контрольованих об'єктів з установленою періодичністю. Інформація передається на мікропроцесор, який обробляє отримані дані. Мікропроцесор зв'язаний з пульт-табло чергового по станції (ДСП) та може під'єднуватися до автоматизованого робочого місця (АРМ) електромеханіка. Таким чином, зменшується періодичність контролю, а також виключається помилка при здійснюванні вимірювання обслуговуючим персоналом.

**Висновок.** Використання новітніх технологій у сфері діагностування на залізничному транспорті підвищує ефективність роботи обслуговуючого персоналу та показники безвідмовної роботи пристроїв автоматки. Застосування тепловізійного діагностування вирішує проблему попередження теплових пошкоджень елементів та забезпечує захист від можливості виникнення пожежі в електроустановках.

*Список літератури*

1. Перникис, Б.Д. Предупреждение и устранение неисправностей в устройствах СЦБ [Текст] / Б.Д. Перникис, Р.Ш. Ягудин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1994. – 254 с.
2. Звіт “Про порушення роботи пристроїв СЦБ за період 2007 — 2011 рр.” [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2011.
3. Колобродов, В.Г. Тепловізійні системи (фізичні основи, методи проектування і контролю, застосування) [Текст]: підручник / В.Г. Колобродов, Н. Шустер. – К., 1999. – 340 с.

**Ключові слова:** тепловізор, технічне діагностування, спосіб інфрачервоного діагностування.

*Анотації*

Проведено аналіз відмов пристроїв залізничної автоматики та дослідження способів їх попередження методом інфрачервоного діагностування.

Проведен анализ отказов устройств железнодорожной автоматики и исследование способов их предотвращения методом инфракрасной диагностики.

The analysis of failures of devices of railway automation and research ways to prevent them using infrared diagnostics.