

УДК 681. 586. 73

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО КОНТРОЛЮ СТАНЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

Д-р техн. наук А.Б. Бойнік, М.Я. Сільник

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ СТАНЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Д-р техн. наук А.Б. Бойник, М.Я. Сильник

RESEARCH THERMAL CONTROL OF THE STATION DEVICES RAILWAY AUTOMATICS

Doct. of techn. sciences A.B. Boynik, M.Y. Silnyk

Проаналізовано причини відмов пристроїв залізничної автоматики та досліджено способи їх діагностування методом тепловізійного контролю.

Ключові слова: тепловізійний контроль, пристрої залізничної автоматики, відмова, тепловізор, об'єкт контролю, температура, тепловізійне зображення.

Проанализированы причины отказов устройств железнодорожной автоматики и исследованы способы их диагностики методом тепловизионного контроля.

Ключевые слова: тепловизионный контроль, устройства железнодорожной автоматики, отказ, тепловизор, объект контроля, температура, тепловизионное изображение.

The efficiency of devices of railway automation, telemechanics and communications depends on the quality of measurement and application of advanced methods of service.

In this article was made analysis of the main reasons for failures in railway automation devices and was explored ways of diagnosing thermal control method. Therefore, traditional methods of thermal control electrical equipment were based on the need for temporary exclusion of his work. Thermal diagnostics, in contrast to the traditional methods, allows execution element wise and overall assessment of the technical condition of electrical equipment in the course of its work and identify many defects at an early stage of development and identify operational constraints that impede of development of defects.

Results of the study indicate that the use of traditional methods of thermal control devices railway automatic need constant presence of attendants and it cannot be automated. Regular monitoring is possible only when using the automatic way of heating.

Keywords: thermal control, devices of railway automation, refusal, thermal imager, object control, temperature, thermal image.

Вступ. Працездатність пристроїв залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку багато в чому визначається якістю проведення вимірювань та застосування прогресивних методів обслуговування.

Під час експлуатації апаратури за допомогою вимірювань можна виявити

відхилення параметрів апаратури, від установлених норм, виявивши відхилення вживати заходів для нормального функціонування. Ураховуючи те, що пристрої залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку працюють у складних умовах, за яких необхідно

забезпечувати безпеку руху поїздів, вимірювання параметрів розглянутих пристроїв набуває великого значення.

Постановка проблем. За останні роки розвиток економіки та політична ситуація України суттєво змінилися, що вплинуло на кількість перевезень. Зменшення перевезень призвело до зниження доходів Укрзалізниці і як наслідок до зменшення фінансування обслуговування існуючих систем залізничної автоматики й телемеханіки та побудови нових систем. Існуючі капіталовкладення є незначними і не вирішують загальної проблеми експлуатації електрообладнання, що в переважній більшості впроваджувалося в роботу в часи Радянського Союзу.

Повністю зняти з експлуатації електрообладнання, яке відпрацювало свій нормативний термін, неможливо, взявши до уваги, що воно перебуває в задовільному стані і може працювати ще протягом деякого часу. Подальша експлуатація цього обладнання з кожним роком стає все небезпечнішою через старіння елементів, що може призвести до важких наслідків. Тому подальша експлуатація електрообладнання повинна передбачати здійснення його діагностування в процесі роботи.

Для здійснення діагностування електрообладнання застосовуються різні методи та засоби. На практиці немає єдиних підходів для визначення технічного стану того чи іншого виду електрообладнання. У деяких випадках таке діагностування здійснити неможливо.

Мета роботи. Дослідження тепловізійного контролю станційних пристроїв залізничної автоматики та способів його здійснення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На теперішній час існує багато як вітчизняних, так і закордонних робіт [1-3], у яких розглядаються аспекти теорії, побудови і використання різних видів пристроїв контролю нагрівання об'єктів. Відомо, що в багатьох випадках для

визначення технічного стану електрообладнання його необхідно виводити з роботи. Аналіз робіт цієї тематики свідчить, що одним із підходів до діагностування електрообладнання, який особливо інтенсивно розвивається останніми роками, є використання тепловізійних методів визначення технічного стану електрообладнання. Переваги цього типу діагностики очевидні, так як тепловізійним методом можна виявляти дефекти будь-якого електрообладнання дистанційно та без виведення його з роботи.

Основний матеріал. У період з 2008 по 2015 роки у господарствах сигналізації та зв'язку було допущено 40407 відмов пристроїв залізничної автоматики.

У 2008 році кількість відмов пристроїв СЦБ склала 5547, що на 19,2 % менше, ніж у 2007 році. Кількість відмов у 2009 році склала 5177, тобто зменшилась на 6,7 % у порівнянні з 2008 роком. Однак у 2010 році кількість відмов зросла на 16,2 % по відношенню до показників 2009 року. За 2011 рік вдалося зменшити кількість відмов до 4837, тобто на 19,6 %. Кількість відмов за 2012 рік збільшилась на 2,6 % і склала 4963 випадки проти 4837 у порівнянні з 2011 роком. У 2013 році кількість відмов зменшилась на 16,5 %, і склала 4145 випадків проти 4963 випадки за аналогічний період 2012 року. Невтішною статистика стала у 2014 році, у якому було допущено 4890 випадків проти 4145 випадків у 2013 році, тобто зростання показника на 17,9 %. За 2015 рік було знижено показник відмов на 1,2 % і було допущено 4832 відмови віднесених за господарством сигналізації та зв'язку, проти 4890 за 2014 рік [4-11].

Проте аналіз пошкоджень пристроїв СЦБ, які були віднесені за господарствами сигналізації та зв'язку, свідчить, що їх кількість не зменшилась.

У 2008 та 2009 роках кількість відмов пристроїв СЦБ у порівнянні з попередніми роками вдалося зменшити, а в 2010 році

кількість відмов відносно 2009 року зросла на 7,5 %. Найбільша кількість відмов – на Придніпровській залізниці (358).

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. При цьому найбільша кількість відмов – на Придніпровській залізниці (336).

Кількість відмов у 2012 році у порівнянні з 2011 роком збільшилась на 2,4 % і склала 1552 проти 1515. Найбільше відмов допущено на Придніпровській залізниці (342) [8].

Згідно з аналізом у 2013 році кількість відмов знизилася і склала 1467 проти 1552 відмови за аналогічний період 2012 року, тобто зменшилася на 5,4 %. Лідером за кількістю відмов є Придніпровська залізниця – 355 відмов [9].

Тенденцію до зниження кількості відмов, віднесених за господарством сигналізації та зв'язку, вдалося зберегти й у 2014 році на рівні 18,5 %, а саме 1196 відмов проти 1467 за 2013 рік. Найбільша кількість відмов по Укрзалізниці на Одеській залізниці – 281 відмова, найменша ж кількість на Донецькій залізниці – 115 відмов за господарством сигналізації та зв'язку [10].

З невтішними показниками закінчився 2015 рік – кількість відмов збільшилася на 8,6 % і склала 1299 відмов проти 1196 відмов за 2014 рік. Найбільша кількість відмов пристроїв на Одеській залізниці – 297, найгірший показник у Південній залізниці, де кількість відмов збільшилася на 88,7 % і склала 251 проти 133 відмови за 2014 рік [11].

Аналіз відмов пристроїв СЦБ, які віднесені за господарством сигналізації та зв'язку, у 2015 році вказує на те, що основними об'єктами відмов пристроїв СЦБ є [11]:

1) вихід з ладу реле, блоків, трансформаторів, випрямлячів, безконтактної апаратури, пристроїв захисту. Основні причини відмов апаратури – обрив обмоток

та монтажних проводів у приладах, коротке замикання проводів, втрата ємності конденсаторів, які виникали через неякісне виконання робіт при технічному обслуговуванні та ремонті пристроїв, фізичне старіння, вплив грозових та комутаційних перенапруг. Основні типи приладів, які найбільше виходили з ладу, – трансформатори, трансмітери, конденсатори та конденсаторні блоки;

2) несправність у релейних шафах, на стативах, у колійних коробках. Основні причини відмов: несправність штепсельних плат, клем, рознімачів, колодок, монтажу;

3) порушення роботи кабельних ліній. Основні причини відмов кабельних ліній – внутрішній обрив жил у кабелі, обрив жил на клемах, зниження опору ізоляції;

4) порушення роботи рейкових кіл. Основні причини відмов у рейкових колах – обрив або відсутність рейкових з'єднувачів;

5) несправність світлофорів. Основною причиною є перегорання світлофорних ламп унаслідок заводського недоліку – негерметичність колб (виробник ТОВ «Альфа», м. Краматорськ);

б) несправність стрілочних електроприводів, гарнітури, замків Мелентьєва. Основними причинами цих відмов на залізницях є несправність електродвигунів, втрата контакту, несправність монтажу в автоперемикачі.

Основними причинами відмов пристроїв СЦБ (таблиця) у 2015 році є:

1) експлуатаційні – 1011 відмов, або 77,8 % від усіх відмов;

2) відмови з інших причин – 288 відмов, або 22,17 % від усіх відмов.

При цьому з вини обслуговуючого персоналу сталася 601 відмова. Найбільша кількість таких відмов на Придніпровській залізниці – 192 відмови.

У 2015 році середній час усунення відмов пристроїв СЦБ, віднесених за дистанціями сигналізації та зв'язку, залишився на тому ж рівні, що й у 2014 році, і склав 1 год 29 хв. Найбільший середній час усунення відмов на Південній залізниці –

1 год 39 хв, а найменший середній час усунення відмов на Одеській залізниці – 1 год 10 хв, що говорить про необхідність

удосконалення системи ТО пристроїв СЦБ і зв'язку [11].

Таблиця

Співвідношення відмов пристроїв СЦБ за причинами у 2015 році

Причини відмов	Кількість відмов, %
Основні:	
порушення технології виконання робіт при ТО та ремонті пристроїв СЦБ	46,27
вихід з ладу приладів, пристроїв через фізичне старіння	20,25
неякісний ремонт та перевірка приладів у РТД СЦБ	3,85
причина не виявлена	7,08
Інші:	
вплив грозових та комутаційних перенапруг	11,32
конструктивно-заводський недолік	10,16

В офіційних звітах чітко не виділяється кількість відмов з причини теплового перегрівання. Основною причиною теплових відмов є вплив грозових та комутаційних перенапруг, також можна вважати, що відмови, в яких причина не виявлена, також належать до теплових, фізичне старіння, конструкторсько-заводський недолік

приладів може призводити до перегрівання і виходу приладів з ладу. Тобто до теплових причин можна віднести чотири категорії із офіційних звітів.

Співвідношення загальної кількості відмов пристроїв СЦБ до кількості відмов з причини теплового перегрівання наведено на рис. 1 [4-11].

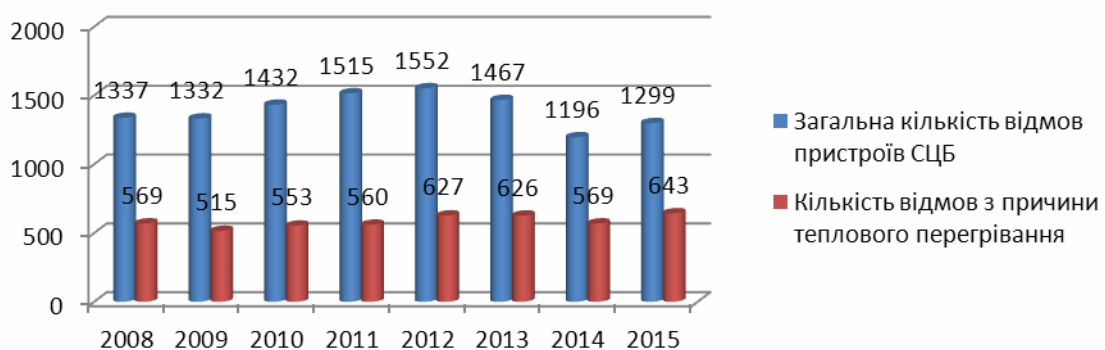


Рис. 1. Співвідношення загальної кількості відмов пристроїв СЦБ до кількості відмов з причини теплового перегрівання за період 2008-2015 років

Основними причинами теплового нагрівання є: збільшення перехідного опору контактів реле і перемикачів, перевищення

амплітуди робочих струмів, зменшення опору ізоляції електричних кіл, зміна параметрів напівпровідникових елементів і т.д.

Для виявлення та недопущення відмов пристроїв залізничної автоматики необхідно застосовувати метод тепловізійного діагностування. Це діагностування станів та властивостей різноманітних об'єктів є найсучаснішим, високоефективним і перспективним напрямком у діагностуванні. Тепловізор – це прилад, який сприймає сигнали в інфрачервоній (ІЧ) області спектра (теплове випромінювання) і перетворює їх у видимі зображення.

Суть методу полягає в його універсальності, яка зумовлена тим фактом, що інформаційним якісним параметром об'єктів дослідження є температура. Температура є невід'ємним показником роботи технічних установок і складних систем, а також характеризує внутрішньо-структурні та теплові процеси в конструкційних матеріалах. Інформація про різноманітні процеси в об'єктах контролю надається через розшифрування розподілу температури.

Тепловізійні системи поділяються на скануючі і нескануючі. Скануючі системи побудовані на одноелементних приймачах

або лінійці з приймачів ІЧ випромінювання з використанням механічно рухомих дзеркал, дзеркальних барабанів, призм, клинів для сканування. Нескануючі тепловізійні системи основані на використанні багатоелементних приймачів випромінювання, так званих “спостерігаючих” матриць, тобто матриць, число елементів яких дає змогу сформувати повноформатний тепловізійний кадр з хорошим просторовим розділенням. У цих тепловізійних системах відсутні механічні вузли сканування. Більшість сучасних тепловізійних приладів побудовано за матричним принципом. Основним гальмом матричних систем була проблема неоднорідності параметрів елементів матриці, тобто сигналів з елементів. Використовуючи останні досягнення науки у технології виробництва матричних приймачів випромінювання не тільки не поступається скануючим, але навіть має кращі характеристики, ніж з механічним скануванням за споживанням енергії. На рис. 2 показана узагальнена функціональна схема тепловізора з фокальною ІЧ матрицею.

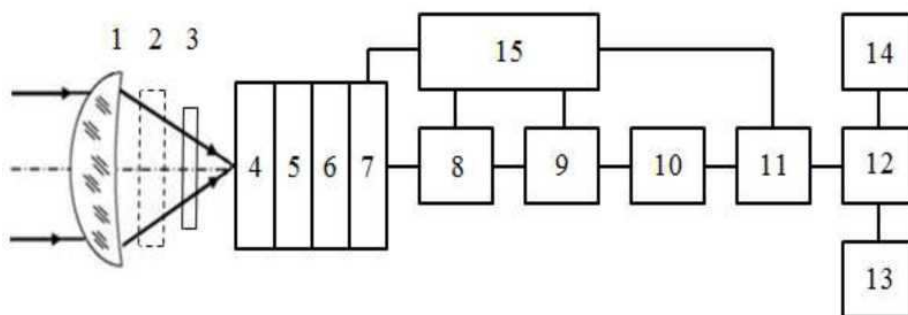


Рис. 2. Функціональна схема тепловізора на “спостерігаючій” матриці

Основні елементи тепловізора: 1 – об'єктів, 2 – чорна заслінка, 3 – фільтр ІЧ випромінювання, 4 – детекторна матриця, 5 – попередні підсилювачі, 6 – інтегратори, 7 – мультиплексор, 8 – аналоговий коректор неоднорідності сигналів елементів матриці, 9 – аналогово-цифровий перетворювач, 10 – цифровий коректор неоднорідності, 11 –

коректор непрацюючих елементів матриці, 12 – формувач зображення, 13 – дисплей, 14 – цифровий вихід, 15 – тактовий генератор.

Принцип роботи тепловізора можна описати таким чином. Випромінювання ІЧ діапазону від об'єктів спостереження та фону, на якому перебувають об'єкти,

проходить через атмосферу і потрапляє в оптичну систему приладу. За допомогою об'єктива 1 налаштовується фокусна відстань для формування зображення на чутливій матриці 4. При цьому промені проходять через інтерференційний фільтр 3. Фотострум кожного чутливого елемента детекторної матриці 4 підсилюється переднім підсилювачем 5 і накопичується протягом кадра в інтеграторі (ємності) 6, який виконує роль низькочастотного фільтра, а потім надходить на мультиплексор 7. Усі ці елементи виготовляють в інтегральному виконанні в одному блоці і розміщують при охолодженні в кріостаті. Далі сигнали обробляються за допомогою комп'ютера. Спочатку сигнали направляються в аналогову схему опрацювання, яка не охолоджується, 8, де здійснюється попередня корекція неоднорідності чутливості, фонового і темного струмів зон матриці. Потім аналогові сигнали

перетворюються в цифрові за допомогою аналогово-цифрового перетворювача 9 і надходять в цифрову схему корекції 10. Після цього в коректорі 11 відбувається заміна сигналів з непрацюючих елементів матриці на інтерпольовані сигнали, утворені із сигналів сусідніх справних елементів, і далі направляються в блок формування вихідного зображення 12. Інформація виводиться на дисплей 13, а також видається в цифровому вигляді на виході 14 [13].

Важливою функцією тепловізорів є моделювання тепловізійних зображень. Аналіз поляризації тепловізійних зображень об'єктів показав, що матеріал, з якого виготовлений досліджуваний об'єкт, впливає на яскравість поляризаційних зображень. Ураховуючи вищесказане, необхідно враховувати вплив оптичних властивостей поверхні досліджуваних об'єктів на значення кута для всіх елементів поляризаційних термограм (рис. 3).

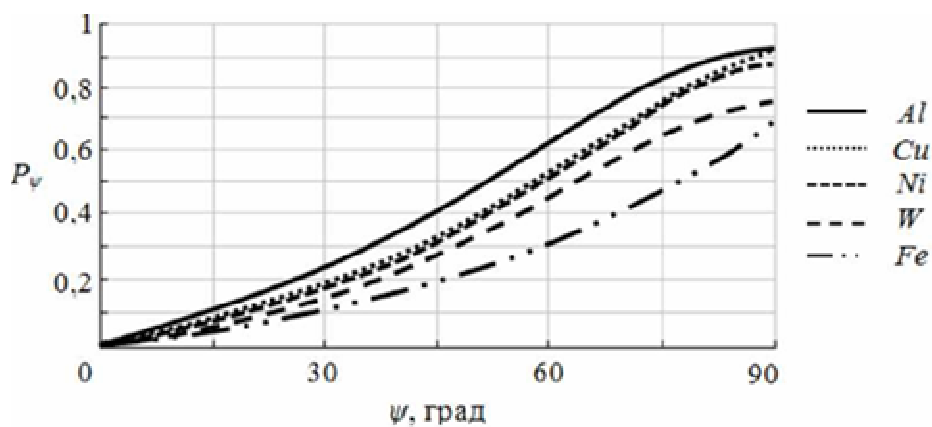


Рис. 3. Залежність ступеня поляризації P_ψ від кута ψ власного випромінювання

При традиційному тепловізійному методі спостереження еліпса і сфери зверху вони дають однакове зображення як по контуру, так і усередині контуру, незважаючи на явне розходження форми цих об'єктів всередині контуру зображення

видимої частини їх поверхні. При оптико-математичному моделюванні ступінь поляризації теплового зображення сфери у сферичних координатах буде визначатися за виразом

$$P'(N, L) = \frac{\sin^2 \theta \times \sin^2 \varphi - \cos^2 \theta}{\sin^2 \theta \times \sin^2 \varphi + \cos^2 \theta} (1 - \sin \theta \times \cos \varphi) \quad (1)$$

де θ, φ – координати кутів положення елемента у сферичній системі координат.

Конус в оптико-математичній моделі поляризаційного тепловізійного зображення визначається виразом

$$P'(N, L) = \left[1 - 1/\sqrt{1+k^2} \right] \cdot \cos \varphi. \quad (2)$$

Актуальною проблемою є вирішення завдання виявлення об'єктів на слабо контрастному фоні. Проблеми виявлення об'єктів виникають з таких причин: потенційно слабкої їхньої контрастності, низького рівня помітності і наявності шумів. Опрацювання картинки проводиться в реальному масштабі часу такими способами: алгоритмами цифрового заглушення шуму, підвищення контрастності, накопичення сигналів, підкреслення меж, сегментації тощо.

Вірогідність правильного виявлення сигналу об'єкта на фоні шумів визначається як [16]

$$F = \int_{u_0}^{\infty} u \cdot I_0(qu) \cdot e^{-(u^2+q^2)/2} du. \quad (3)$$

Згідно з дослідженнями тепловізійного контролю в ручному режимі використання є певні недоліки, характерні для більшості відомих методів контролю, а саме “людський фактор”. Він зменшує об'єктивність, достовірність і продуктивність результатів контролю, а оскільки об'єкти електрообладнання контролюються в комплексі (до декількох сотень об'єктів одночасно), то завдання підвищення даних показників контролю виходить на перше місце.

У зв'язку з цим доцільно використовувати метод автоматизованого процесу теплового контролю електроустаткування. Одним з основних етапів контролю є автоматичне виявлення потенційно небезпечних (перегрітих) ділянок у великому масиві аналізованих об'єктів, їх вибірка, ідентифікація та

класифікація. Для елементів, для яких проводиться діагностування, залежно від їхніх типів, технічних особливостей та режиму роботи визначаються оптимальні порогові значення, тобто межі розмежування на нормальні та аномальні зони.

На наступному етапі відбувається зіставлення передбачуваних дефектів (аномальних зон) з еталонними зразками дефектів шляхом порівняння термограм за контрольними точками або областями з подальшим аналізом за відомими критеріями дефектності.

Окрім автоматичного виявлення дефекту, що розвивається, важливим питанням є передача інформації про ситуацію обслуговуючому персоналу і черговому диспетчеру дистанції з використанням передових мікропроцесорних систем диспетчерського контролю (системи АС-ДК, АПК-ДК). Це питання актуальне тому, що на постах електричної централізації проміжних станцій, які становлять більшу частину станцій України, не має змінного чергування електромеханіків. Тобто більшу частину доби на пості електричної централізації відсутній обслуговуючий персонал, який би міг оперативно усунути небезпеку, і як наслідок уникнути тривалих затримок поїздів.

При використанні автоматизованого контролю виключаються помилки обслуговуючого персоналу, виникає можливість прогнозування станів пристроїв, які контролюються, зменшується періодичність контролю устаткування, а також пожежної безпеки приміщення.

Висновок. Традиційні методи теплового контролю електрообладнання, як правило, ґрунтуються на необхідності тимчасового виведення його з роботи. Тепловізійна діагностика на відміну від традиційних методів дає змогу виконувати поелементну, а також загальну оцінку технічного стану електрообладнання в процесі його роботи, виявляти безліч

дефектів на ранній стадії їх розвитку, а також визначати необхідні експлуатаційні обмеження, що перешкоджають розвитку дефектів.

Результати досліджень свідчать, що при використанні традиційних методів

теплового контролю пристроїв ЗА необхідна постійна присутність обслуговуючого персоналу і неможлива його автоматизація. Постійний контроль стає можливим при використанні автоматизованого способу контролю нагрівання.

Список використаних джерел

1. Mignogna, R. B. Thermographic investigation of high-power ultrasonic heating in materials [Text] / R. B. Mignogna, R. E. Green, J. Duke, E. G. Henneke, K. L. Reifsnider // *Ultrasonics*. – 1981. – V.7, P.159-163.
2. Favro, L. D. Infrared imaging of defects heated by a sonic pulse [Text] / L. D. Favro, X. Han, Z. Ouyang, G. Sun, H. Sui, R. L. Thomas // *Review of Scientific Instruments*. – 2000. – V.71(6). – P. 2418-2419.
3. Nordal, P. E. Photothermal radiometry [Text] / P. E. Nordal, S. O. Kanstad // *Physica Scripta*. – 1979. – 20 – P. 659-662.
4. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2008 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2009. – 63 с.
5. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2009 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2010. – 64 с.
6. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2010 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2011. – 65 с.
7. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2011 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2012. – 62 с.
8. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2012 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2013. – 71 с.
9. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2013 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2014. – 65 с.
10. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2014 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2015. – 69 с.
11. Аналіз експлуатаційної роботи господарств сигналізації та зв'язку за 2015 рік [Текст] / Публічне акціонерне товариство «Укрзалізниця». – К., 2016. – 72 с.
12. Бойник, А.Б. Диагностирование и прогнозирование состояния систем железнодорожной автоматики [Текст] / А.Б. Бойник // *Залізн. трансп. України*. – 2002. – № 4. – С. 2-7.
13. Афонин, А.В. Основы инфракрасной термографии [Текст] / А.В. Афонин, Р.К. Ньюпорт, В.С. Поляков [и др.] // ПЭИПК. – СПб., 2004. – 240 с.
14. Тымкул, О.В. Методика определения объемной формы объектов на основе поляризационной комбинированной термограммы [Текст] / О.В. Тымкул, В.М. Тымкул, О.К. Ушаков // *Оптический журнал*. – 1999. – Т. 66. – № 2. – С. 54-59.

15. Современные методы обработки сигналов [Текст] / В.Б. Выров, Ф.Н. Бузылёв, А.В. Герасимов [и др.] // Нелинейный мир. – 2010. – Т. 8, № 5. – С. 432-435.

16. Мисюк, Ю.П. Підвищення якості зображень тепловізійних засобів візуального спостереження охорони державного кордону [Текст] / Ю.П. Мисюк // Світлотехніка та теплоенергетика: наук.-техн. зб. – К.: НДІ ДПСУ, 2012.

17. Тарасов, В.В. Инфракрасные системы «смотрящего» типа [Текст] / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков. – М.: Логос, 2004. – 444 с.

Бойнік Анатолій Борисович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматичного та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту.

Сільник Максим Ярославович, слухач групи МЗ-АТЗ-АКСУРП-Б-14 навчально-наукового інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: max30122008@rambler.ru.

Boynik A.B., doct. of techn. sciences head of automation and computer telecontrol movement of trains Ukrainian State University of Railway Transport.

Silnyk Maksim Yroslavovuh, listener of research and training institute for training and skills development of Ukrainian state university of railway transport. E-mail: max30122008@rambler.ru.

Принята 25.02.2016 р.