

**Є.В. Шаповалов, В.О. Коляда, Д.Д. Топчев, Н.Ф. Луценко, А.М. Мангольд**

Інститут електровзарювання ім. Є.О. Патона НАН України, вул. Боженка, 11, Київ-150, 03680, Україна,  
тел.: +38 (044) 200-47-79, факс: +38 (044) 528-04-86, office@paton.kiev.ua

## **РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОЛІСНИХ ПАР ЗАЛІЗНИЧНИХ ВАГОНІВ**



Розроблено апаратно-програмний комплекс технічних засобів системи дистанційного контролю геометричних параметрів колісних пар залізничних вагонів. Система призначена для безконтактного сканування профілів робочих поверхонь коліс та автоматичного оцінювання технічного стану колісних пар під час руху потягів. Впровадження отриманих науково-технічних результатів у вагонне господарство залізниць дозволить суттєво покращити якісні і кількісні показники контролю параметрів зношеності вагонних коліс та надасть змогу підвищити безпеку руху за рахунок своєчасного виявлення небезпечних дефектів колісних пар.

*Ключові слова:* колісні пари, залізничні вагони, дистанційний контроль, геометричні параметри, лазерно-триангуляційний сенсор, сенсорні блоки.

Проблеми безпеки руху, максимального використання наявних ресурсів та мінімізації експлуатаційних витрат вимагають якнайшвидшого впровадження в залізничне господарство систем активного контролю і діагностики технічного стану рухомого складу. За рахунок використання сучасних технічних засобів можуть вирішуватися важливі завдання, пов'язані з підвищенням якості контролю, розширенням переліку контрольованих параметрів, застосуванням автоматизованої обробки даних, скороченням частки ручної праці та зниженням експлуатаційних витрат на контроль. Колісні пари є одними з головних і відповідальних частин рухомого складу залізничного транспорту. Вони несуть на собі масу вагону, направляють його рух по рейковій колії та амортизують усі удари від нерівностей колій,

жорстко впливаючи таким чином на верхню будову залізниці. При цьому виникають пружні і пластичні деформації коліс, тобто відбувається зношення їхніх поверхонь тертя [1]. Експлуатація пошкоджених колісних пар призводить до надмірного зношення елементів рейкових колій та може бути причиною виникнення аварійних ситуацій. Для перевірки технічного стану і своєчасного вилучення із експлуатації колісних пар, які загрожують безпеці руху поїздів, а також для контролю за якістю відремонтованих колісних пар у вітчизняному вагонному господарстві використовується методика обстеження, що базується на візуальному огляді та вимірюванні окремих параметрів за допомогою ручних вимірювальних інструментів [2]. Тобто обстеження колісних пар може здійснюватися лише на зупинках, а результати такого вимірювального контролю в значній мірі залежать від людського чинника. Останнім часом в залізничних господарствах багатьох

країн багато уваги приділяється вирішенню задачі оперативного контролю геометричних параметрів поверхні кочення колісних пар вагонів безпосередньо під час руху потягів за допомогою безконтактних систем [3–4]. Впровадження таких систем дозволяє суттєво підвищити якість та повторюваність результатів контролю за рахунок автоматизації процесів отримання і обробки вимірювальної інформації та надає можливість оперативно виявляти колісні пари, які мають недопустиму зношеність. Тому розробка вітчизняного обладнання, призначеного для рішення задачі дистанційного контролю технічного стану колісних пар, є важливою і актуальною задачею.

#### **СТРУКТУРА АПАРАТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КОРТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОЛІСНИХ ПАР**

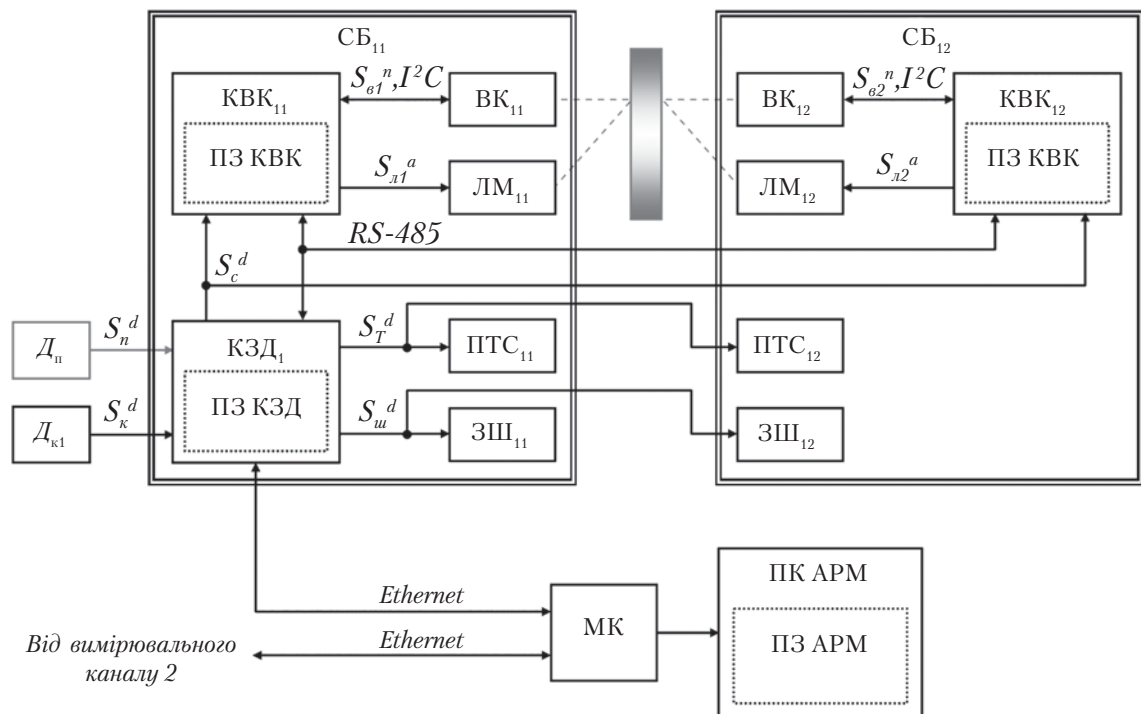
Зовнішня поверхня (поверхня кочення) вагонних коліс має спеціальний профіль, що складається з гребеня, основної та бокової поверхонь, а також торцевої фаски. Для нормального функціонування колісних пар геометричні параметри робочої частини коліс повинні відповідати встановленим нормам. Також жорстко нормується відстань між внутрішніми гранями коліс. Для отримання початкових даних про рельєф поверхні кочення коліс найбільш доцільно застосовувати двовимірні оптичні сенсори, що працюють за принципом лазерної тріангуляції [5]. Лазерний промінь, розгорнутий в площину, освітлює поверхню об'єкта вимірювання та формує на ній світловий слід. Світловий слід, що повторює рельєф об'єкта, реєструється відеокамерою у вигляді двовимірного цифрового зображення. У результаті обробки сформованих зображень виконується розпізнавання профілю контрольованого об'єкта та визначаються необхідні геометричні параметри.

Повний профіль робочої частини вагонного колеса неможливо отримати з однієї точки спостереження, тому для реалізації кожного з вимірювальних каналів (для лівого та правого

колес) необхідно застосовувати по два сенсорні блоки з лазерно-тріангуляційними сенсорами. До структури будь-якого двовимірного лазерно-тріангуляційного сенсора входить:

- ✦ відеокамера, що включає в себе об'єктив, світлофільтр і матрицю фотоприймача;
- ✦ контролер відеокамери, призначений для отримання цифрових зображень, їх попередньої обробки і передачі результатів назовні;
- ✦ напівпровідниковий лазерний модуль, оснащений спеціальною оптикою для розгортання лазерного променя в світлову площину.

Момент часу реєстрації профілів повинен бути синхронізований з появою колеса в робочій зоні сенсорів за допомогою додаткового швидкодіючого датчика наближення колеса. Для отримання повного профілю робочої частини колеса від сенсорів вимірювального каналу та його передачі до автоматизованого робочого місця оператора доцільно застосовувати проміжний контролер (контролер збору даних), встановлений в одному з сенсорних блоків. Сенсорні блоки повинні працювати цілодобово в широкому діапазоні температур (–40...+55 °С). Електронні компоненти в промисловому виконанні підтримують роботу в даних умовах, але температурний діапазон напівпровідникових лазерів значно вужчий, особливо зі сторони низьких температур (–10...+40 °С). Тому кожен сенсорний блок обов'язково повинен бути обладнаний підсистемою внутрішньої температурної стабілізації. Підвищення температури всередині сенсорного блока може бути реалізовано за допомогою нагрівального елемента, а зниження — за допомогою примусового повітряного охолодження. Також доцільно застосовувати вихідний повітряний потік для обдування вихідних вікон-ілюмінаторів, що дозволить запобігати їх запотіванню та забрудненню. Найкращим рішенням проблеми захисту вікон-ілюмінаторів від механічних пошкоджень під час простою системи є механізовані захисні шторки, що закриваються/відкриваються по зовнішньому сигналу від датчика наближення потяга, встановленого на деякій від-



**Рис. 1.** Структурна схема вимірювального каналу системи дистанційного контролю геометричних параметрів колісних пар вагонів:  $D_n$  – датчик наближення потяга;  $D_{k1}$  – датчик наближення колеса;  $СБ_{11}$ ,  $СБ_{12}$  – сенсорні блоки вимірювального каналу 1;  $КВК_{11}$ ,  $КВК_{12}$  – контролери відеокамер;  $КЗД_1$  – контролер збору даних;  $ВК_{11}$ ,  $ВК_{12}$  – відеокамери;  $ЛМ_{11}$ ,  $ЛМ_{12}$  – лазерні модулі;  $ПТС_{11}$ ,  $ПТС_{12}$  – підсистеми температурної стабілізації;  $ЗШ_{11}$ ,  $ЗШ_{12}$  – захисні шторки;  $МК$  – мережевий комутатор Ethernet;  $ПК АРМ$  – комп’ютер автоматизованого робочого місця оператора;  $ПЗ$  – програмне забезпечення

стані від позиції контролю. Всі мікропроцесорні контролери та промисловий комп’ютер автоматизованого робочого місця повинні мати спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ). Структура апаратних та програмних засобів, необхідних для реалізації одного вимірювального каналу, наведена на рис. 1.

Згідно із запропонованою структурною схемою для реалізації взаємодії між контролерами відеокамер ( $КВК_{11}$ ,  $КВК_{12}$ ) та відеокамерами ( $ВК_{11}$ ,  $ВК_{12}$ ) необхідно два інтерфейси: паралельний інтерфейс ( $S_{s1}^n$ ,  $S_{s2}^n$ ) та послідовний інтерфейс типу  $I^2C$  (послідовна шина даних для зв’язку інтегральних схем) Паралельний інтерфейс застосовується для обслуговування каналу передачі даних (цифрових зображень), а інтерфейс  $I^2C$  – для налаштування режиму робо-

ти відеокамер (формат кадру, час експозиції, рівень лінійного підсилення сигналу і т. п.). Контролери відеокамер оснащуються аналоговими виходами для формування сигналів  $S_{s1}^a$  і  $S_{s2}^a$  для управління яскравістю випромінювання лазерних модулів  $ЛМ_{11}$  і  $ЛМ_{12}$  відповідно.

Контролер збору даних  $КЗД_1$  оснащений двома дискретними входами, трьома дискретними виходами та послідовним інтерфейсом типу RS-485. Дискретні входи  $S_n^d$  та  $S_k^d$  призначені для отримання імпульсних сигналів від датчиків наближення потяга  $D_n$  та наближення колеса  $D_{k1}$  відповідно. Вихідний дискретний сигнал  $S_c^d$  являє собою сигнал синхронізації, що транслюється до відеокамер через одну з ліній паралельного інтерфейсу. Вихідні дискретні сигнали  $S_T^d$  та  $S_u^d$  призначені для управління

підсистемами стабілізації температури всередині сенсорних блоків (ПТС<sub>11</sub>, ПТС<sub>12</sub>) та механізмами захисних шторок (ЗШ<sub>11</sub>, ЗШ<sub>12</sub>). На послідовний інтерфейс RS-485 покладається завдання обміну командами/даними між контролерами відеокамер та контролером збору даних. За допомогою мережевого інтерфейсу Ethernet реалізується взаємодія між контролером збору даних та комп'ютером віддаленого автоматизованого робочого місця оператора (ПК АРМ). Оскільки до складу системи входять два незалежних вимірювальних канали, то для їх підключення до комп'ютера необхідно застосовувати мережений комутатор (МК).

Нами запропоновано такий алгоритм роботи вимірювальних каналів системи контролю геометричних параметрів колісних пар. При підключенні електроживлення контролери відеокамер повинні автоматично передавати раніше задані параметри режиму роботи до матриць фотоприймачів через інтерфейси  $I^2C$  (початкова параметризація). У режимі очікування лазерні модулі повинні бути вимкнені для економії їх ресурсу — на аналогових виходах  $S_{л1}^a$  і  $S_{л2}^a$  встановлюються нульові значення напруги. Також у режимі очікування повинні бути закриті вікна ілюмінатори — на дискретному виході контролера збору даних  $S_{ш}^d$  встановлюється логічний «0». Підсистеми температурної стабілізації повинні працювати безперервно від моменту ввімкнення електроживлення. При цьому нагрівальний елемент вмикається лише у випадку необхідності за показами датчика температури, вбудованого в контролер збору даних (дискретний сигнал  $S_T^d$ ). За сигналом від датчика наближення потяга  $D_{п}$  система переводиться в основний режим роботи. При цьому відкриваються захисні шторки та вмикаються лазерні модулі. При надходженні кожного з сигналів  $S_{к1}^d$  від датчика наближення колеса  $D_{к1}$  контролером збору даних КЗД<sub>1</sub> формується імпульс синхронізації  $S_c^d$ , який одночасно передається контролерам відеокамер КВК<sub>11</sub> і КВК<sub>12</sub>. У свою чергу, контролери відеокамер формують сигнали запиту кадрів від матриць фотоприймачів

відеокамер ВК<sub>11</sub>, ВК<sub>12</sub>. Після робочого такту відеокамер отримані цифрові зображення надходять до контролерів відеокамер, де виконується їх попередня обробка, в результаті якої визначаються сегменти двовимірної профілю робочої частини колеса. Сегменти профілю через послідовний інтерфейс RS-485 передаються контролеру збору даних, де з них формується повний профіль робочої частини колеса. Потім повний профіль через мережевий інтерфейс Ethernet надходить до комп'ютера автоматизованого робочого місця оператора (ПК АРМ), де виконується його остаточна обробка, аналіз та збереження. Два останні повні профілі, отримані від різних каналів, застосовуються для визначення відстані між внутрішніми гранями коліс.

Якщо з моменту надходження останнього сигналу  $S_{к1}^d$  пройшов деякий час, то система знову переводиться в режим очікування: вимикаються лазерні модулі та закриваються захисні шторки. Із запропонованого алгоритму роботи вимірювальних каналів випливає, що контролери збору даних та контролери відеокамер повинні функціонувати в масштабі жорсткого реального часу, тоді як для комп'ютера автоматизованого робочого місця реальний час не є критичним і він може працювати під управлінням операційної системи загального призначення.

#### АЛГОРИТМІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ

Основне призначення контролера відеокамери — отримання цифрових зображень від матриці фотоприймача та їх обробка для розпізнавання профілю світлового сліду, що повторює рельєф поверхні об'єкта контролю. На цифрових зображеннях світловий слід, що відповідає робочій частині вагонного колеса, являє собою групу пікселів з дещо вищою яскравістю по відношенню до основного фону (рис. 2).

Для виявлення нитковидних об'єктів, до яких відноситься світловий слід, найбільш доцільно застосовувати одномірний, узгоджено вибіркового фільтр (УВФ) та аналізувати його відгуки [6]. Вихідним сигналом одномірного

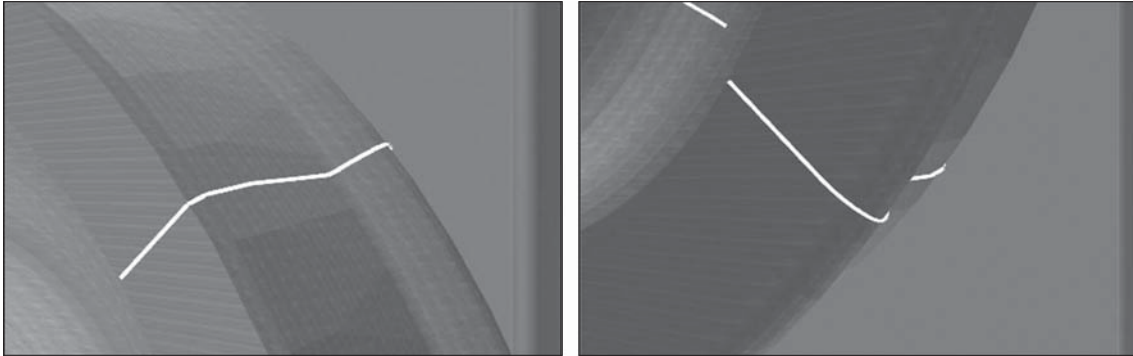


Рис. 2. Зображення світлового сліду на робочій частині вагонного колеса, отримані за допомогою сенсорних блоків

УВФ є результат дискретної згортки значень яскравості пікселів, що відповідають колонці зображення, з імпульсною функцією:

$$y(i) = \sum_{n=-b/2}^{b/2} x(i+n) \cdot h(n), \quad (1)$$

де  $y$  – результат згортки;  $x$  – яскравість пікселя зображення;  $b$  – база фільтра;  $i$  – номер рядка зображення,  $h$  – імпульсна функція УВФ. Максимальні значення відгуків УВФ досягаються у тому випадку, коли імпульсна функція  $h(n)$  узгоджена з характеристиками корисного сигналу.

Для прийняття рішень про належність точки до профілю світлового сліду необхідно порівнювати відгуки УВФ з деякими граничними значеннями. У даному випадку амплітуда максимальних відгуків фільтра  $y_{\max}(j)$  для різних ділянок зображення може суттєво відрізнятися ( $j$  – номер колонки зображення). Це пов'язано з обмеженою глибиною різкості об'єктива відеокамери та зі значним діапазоном щодо віддаленості елементів колеса відносно спостерігача (відеокамери). Також може суттєво відрізнятися відбивна здатність різних поверхонь колеса. Тому застосування постійного граничного значення для обробки всього зображення може призводити до втрат корисного сигналу. Запропоновано застосовувати функцію граничних значень  $g(j)$ , що залежить від статистичних характеристик, отриманих

при обробці як попереднього, так і поточного зображення. Для прийняття рішення про належність точки  $(i_{\max}, j)$ , що відповідає максимальному відгуку фільтра  $y_{\max}(j)$ , до профілю світлового сліду застосовується таке вирішальне правило:

$$(i_{\max}, j) \in c, y_{\max}(j) > g(j), \quad (2)$$

де  $g(j) = \sigma_{\text{image}} \cdot k_1 - \sigma_j \cdot k_2$ ;  $\sigma_{\text{image}}$  – оцінка дисперсії (середньоквадратичне відхилення) відгуків УВФ, отримана для всього попереднього зображення;  $\sigma_j$  – оцінка дисперсії відгуків УВФ для колонки поточного зображення;  $c$  – масив точок контуру;  $k_1, k_2$  – експериментальні коефіцієнти, що визначаються при попередньому налаштуванні сенсорного блока. Оцінки математичного забезпечення у вирішальному правилі (2) не застосовуються, оскільки середнє значення відгуків УВФ завжди є близьким до нуля. Функція  $g(j)$  дозволяє зменшувати граничні значення для колонок зображень з більшим значенням дисперсії відгуків, що потенційно можуть містити світловий слід, і, таким чином, надає можливість знижувати втрати корисного сигналу (рис. 3). Результатом обробки пари зображень, отриманих від сполучених сенсорних блоків, є профілі світлового сліду  $c_{11}$  та  $c_{12}$ , задані в екранних координатах (рис. 4).

Для визначення геометричних параметрів робочої частини вагонного колеса необхідно виконати перетворення екранних координат

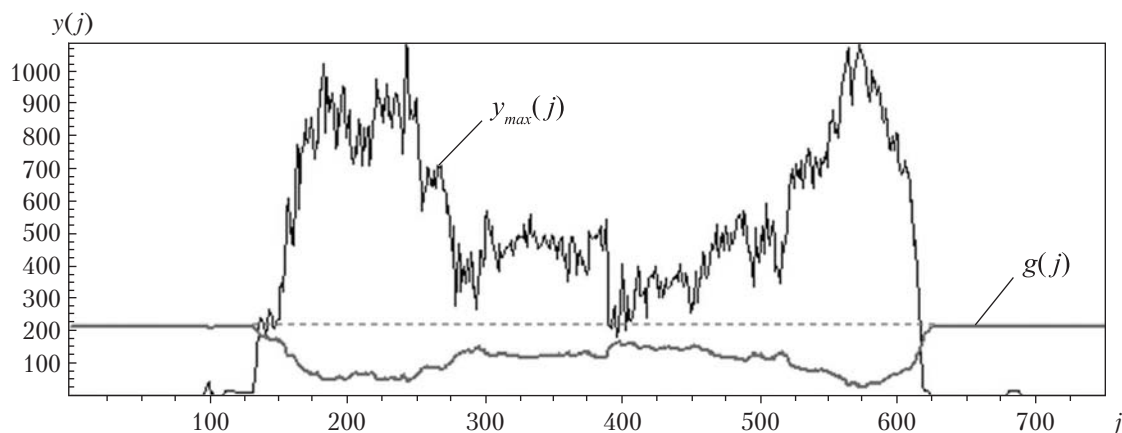


Рис. 3. Формування функції граничних значень  $g(j)$  для прийняття рішень про належність точки до контуру світлового сліду

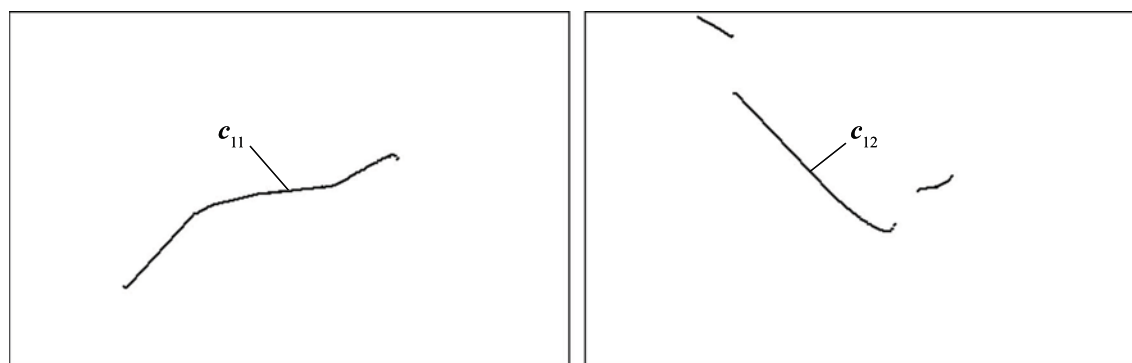


Рис. 4. Результат розпізнавання профілів світлового сліду на зображеннях, отриманих від сполучених сенсорних блоків

точок знайдених профілів в метричні одиниці опорної системи координат сенсорних блоків. Для реалізації такого перетворення запропоновано застосувати математичну модель оптичної системи, що складається з двох перетворень: *прямого* — від об'єкта до його зображення та *зворотного* — від зображення до об'єкта:

$$(x_e, y_e) = P(x, y, z, A, \theta), \quad (3)$$

$$(x, y, z) = P^{-1}(x_e, y_e, A, \theta), \quad (4)$$

де  $(x_e, y_e)$  — екранні координати точки;  $(x, y, z)$  — просторові координати точки в опорній метричній системі координат;  $A$  — матриця просторового положення відеокамери відносно опорної системи координат;  $\theta$  — горизонталь-

ний кут зору об'єктива відеокамери [7]. У даному випадку основний інтерес являє зворотне перетворення (4). Матриця залежить від кутів повороту відеокамери  $\alpha$ ,  $\beta$  і  $\gamma$  навколо осей  $OX$ ,  $OY$  і  $OZ$  відповідно та вектора переносу відеокамери  $[\Delta x, \Delta y, \Delta z]^T$ . У свою чергу, кут  $\theta$  залежить від фокусної відстані об'єктива  $f$  та ефективної ширини матриці фотоприймача  $w_m$ :

$$\theta = \arctg\left(\frac{w_m}{2 \cdot f}\right). \quad (5)$$

Значення параметрів  $w_m$  та  $f$  залежать від характеристик відеокамери. Номінальні значення параметрів  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  також можна вважати відомими, оскільки вони залежать від вибраної оптичної схеми сенсорного блока.

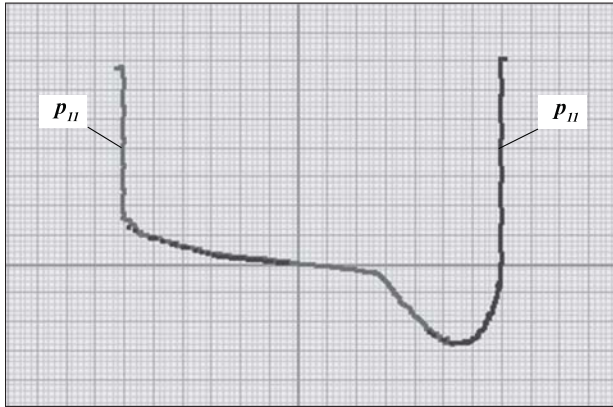


Рис. 5. Загальний метричний профіль, що описує робочу частину колеса

За необхідності ідентифікація дійсних значень параметрів, що можуть відрізнитися від номінальних через похибки виготовлення та складання сенсорних блоків, виконується за допомогою процедур калібрування відеокамер [8].

Для виконання перетворення (4) необхідно ввести додаткові умови, оскільки екранні координати точки на зображенні самі по собі не містять інформації про віддаленість об'єкта. Робоча область лазерно-триангуляційного сенсора обмежена площиною, що співпадає з площиною випромінювання лазерного модуля, тобто одна з координат об'єкта завжди дорівнює нулю. Отже, можна ввести припущення, що вісь  $OZ$  опорної системи координат перпендикулярна площині лазерного випромінювання, тобто  $z = 0$ . Звідси метричні координати точки будуть мати двомірні координати  $(x, y)$ , що відповідають екранним координатам  $(x_e, y_e)$ . Згідно із вибраною оптичною схемою математичні моделі сенсорних блоків ( $СБ_{11}$ ,  $СБ_{12}$ ) мають такі номінальні значення параметрів:  $\alpha_{11} = \alpha_{12} = 40^\circ$ ;  $\beta_{11} = -35^\circ$ ,  $\beta_{12} = 35^\circ$ ;  $\Delta x_{11} = 0$  мм;  $\Delta x_{12} = 40$  мм;  $\gamma_{11} = \gamma_{12} = 28$  мм $^\circ$ ;  $\Delta z_{11} = \Delta z_{12} = 334,5^\circ$  мм. Номінальні значення власних параметрів відеокамер однакові:  $f = 8$  мм;  $w_m = 4,51$  мм. За формулою (5) горизонтальні кути зору об'єктів мають такі номінальні значення:  $\theta_{11} = \theta_{12} = 31,5^\circ$ , тобто матриці просторових положень відеокамер  $A_{11}$ ,  $A_{12}$  для сенсорних блоків  $СБ_{11}$  та  $СБ_{12}$  можна вважати відомими.

Виконавши перетворення для кожної з точок контурів  $c_{11}$  і  $c_{12}$  із застосуванням матриць та значень кутів  $A_{11}$ ,  $\theta_{11}$  і  $A_{12}$ ,  $\theta_{12}$  відповідно отримаємо дві частини метричного профілю  $p_{11}$  і  $p_{12}$  робочої частини колеса, об'єднані в одній опорній системі координат. За умови відповідності математичної моделі дійсним параметрам сенсорного блока профілі  $p_{11}$  і  $p_{12}$  будуть формувати загальний метричний профіль робочої частини вагонного колеса (рис. 5).

Після отримання загального метричного профілю бандажа колеса необхідно виконати його обробку для визначення значень контрольованих параметрів, а саме: величини рівномірного прокату (висоти гребеня), товщини гребеня, ширини та товщини обода колеса. Також необхідно виконати перевірку на наявність/відсутність вертикального підрізу гребеня висотою більше 18 мм. Загальний профіль містить два лінійних сегмента, орієнтація яких близька до вертикальної. Для розпізнавання лінійних сегментів на зображеннях запропоновано використовувати метод Хафа [9], що полягає у ітеративному переборі кутівих і лінійних параметрів рівняння прямої та визначенні таких параметрів, при яких найбільша кількість точок належить прямій. Для оптимізації швидкодії алгоритму доцільно виконувати обертання зображення навколо фіксованої точки (наприклад, навколо центра зображення, що дозволяє застосовувати перебір лише по одному кутівому параметру). Відстань між знайденими вертикальними лініями приймається як значення ширини обода  $s_o$  (рис. 6, а). Висота гребеня  $h_z$  визначається як різниця ординат точок  $p_z$  та  $p_n$ , де  $p_z$  — точка з мінімальною ординатою;  $p_n$  — точка перетину профілю з горизонтальною прямою, проведеною від точки  $p_k$ , що відповідає середньому кругу кочення та знаходиться на відстані 70 мм від внутрішньої грані колеса. Різниця ординат точок  $p_o$  і  $p_n$  приймається як шукана товщина обода колеса  $h_o$ , де точка  $p_o$  — точка з максимальною ординатою. Для визначення товщини гребеня  $s_z$  також необхідно знайти дві характерні точки. Для цього потрібно провести горизон-

тальну пряму, що знаходиться на 10 мм нижче від точки  $p_k$ , та знайти дві точки перетину з кривою профілю  $p_{n1}$  і  $p_{n2}$  (рис. 6, б). Наявність дефекту типу «підріз гребеня» контролюється шляхом імітації встановлення на гребінь колеса спеціального шаблона, що застосовується для визначення даного дефекту.

У відповідності до запропонованих алгоритмів обробки зображень та масивів дискретних точок розроблено відповідне програмне забезпечення для мікропроцесорних контролерів системи у середовищі програмування Visual DSP. Проведено оптимізацію швидкодії алгоритмів, що дозволило виконувати обробку всіх кадрів, які надходять від матриці фотоприймача зі швидкістю 60 кадр/с, у масштабі реального часу. На математичне забезпечення автоматизованого робочого місця оператора покладаються такі функції:

- ✦ обмін командами і даними з контролерами збору даних сенсорних блоків;
- ✦ збереження, перегляд і аналіз отриманих результатів вимірювань; управління виконавчими механізмами сенсорних блоків;
- ✦ моніторинг стану обладнання та формування звітних документів.

Для виконання всіх необхідних функцій розроблено комп'ютерне програмне забезпечення «АРМ» (рис. 7). У верхній області головного діалогового вікна передбачено дві графічні панелі, призначені для відображення отриманих профілів робочих поверхонь лівого та правого коліс колісної пари. Середня область призначена для перегляду та редагування числової та символічної інформації. Панелі «Потяг» та «Вагон» містять поля для індикації та редагування даних про потяг і кожен із його вагонів відповідно. Результати вимірювання геометричних параметрів колісних пар виводяться в табличному вигляді. Нижня область діалогового вікна призначена для реалізації функцій управління режимом роботи системи («Очікування» чи «Контроль»), перегляду та паспортизації результатів контролю, налаштування системи та візуалізації моніторингу стану обладнання.

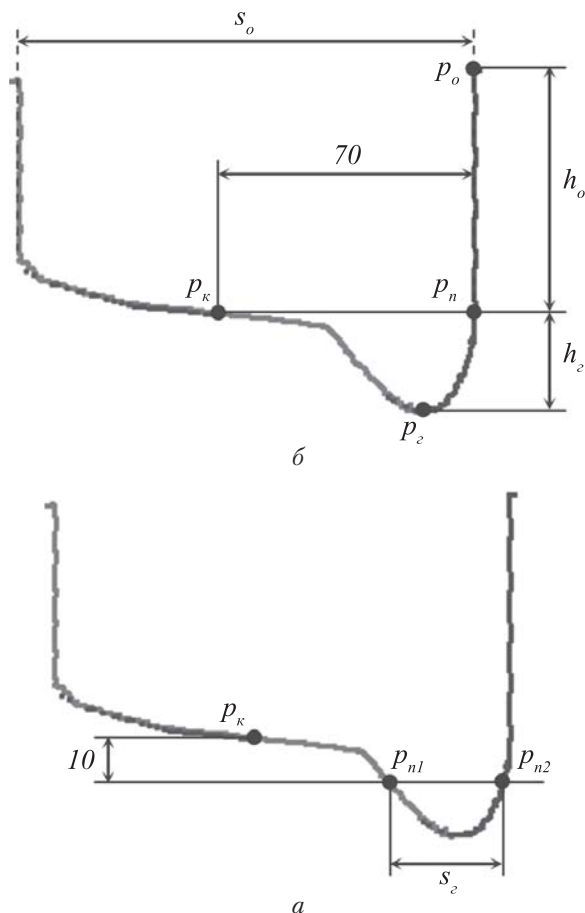


Рис. 6. Визначення геометричних параметрів вагонного колеса: а — ширини  $s_o$ , товщини  $h_o$  боба і висоти гребеня  $h_r$ ; б — товщини гребеня  $s_r$

Передбачено формування звітних документів у вигляді відомостей контролю та їх виведення на друк чи збереження в файл.

#### АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ

Для реалізації мікропроцесорних засобів сенсорних блоків застосовано спеціалізовані контролери виробництва Інституту електрозварювання (ІЕЗ) ім. Є.О. Патона CamContol548 і DAQ532. Контролер відеокамери CamContol548 характеризується значною обчислювальною потужністю при відносно невеликих габаритах. Обчислювальне ядро контролера побудовано на основі цифрового сигнального процесора, призначеного для обробки поточкових даних, до



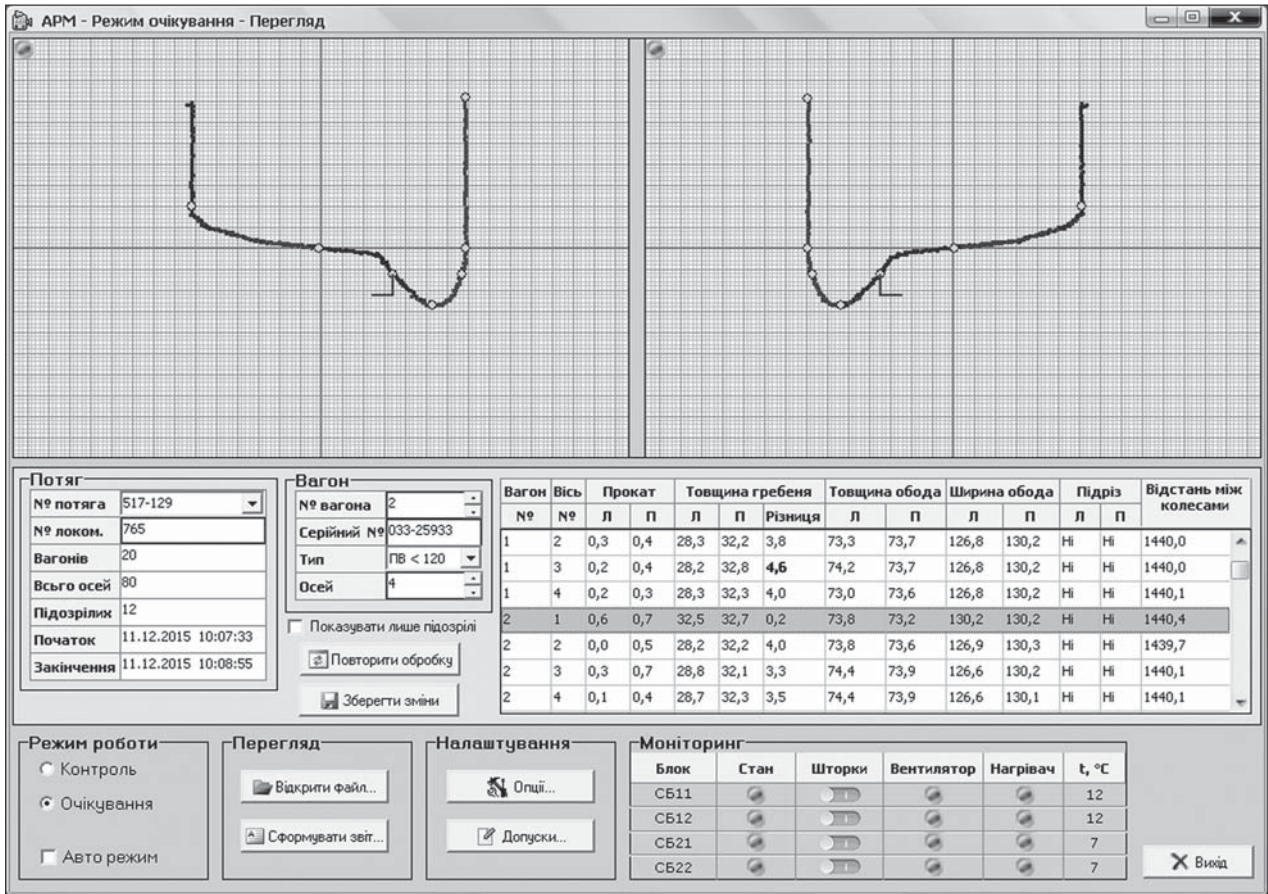


Рис. 7. Головне діалогове вікно математичного забезпечення «АРМ»

яких відносяться послідовності відеокадрів. Для підключення відеокамер передбачено 12-розрядний паралельний інтерфейс. Взаємодія із зовнішніми пристроями реалізовано за допомогою високошвидкісного послідовного інтерфейсу RS-422/485. Також передбачено окремий диференційний інтерфейс для сигналу синхронізації на основі апаратного драйвера RS-422.

До складу контролера збору даних DAQ532, що призначений для одночасної роботи з двома контролерами відеокамер, входять три окремих процесори. Центральний процесор являє собою цифровий сигнальний процесор, а два інших — це допоміжні спеціалізовані процесори для обробки даних з плаваючою комою. На центральний процесор покладаються функції загального управління роботою конт-

ролера, а на допоміжні — паралельна обробка потоків даних у масштабі реального часу.

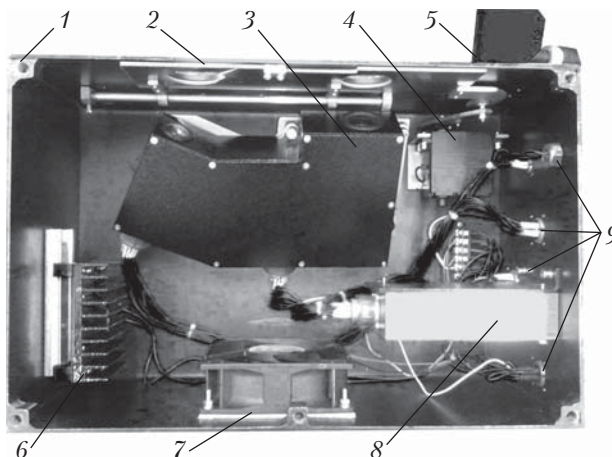
Для взаємодії з контролерами відеокамер передбачено два окремих послідовних інтерфейси RS-422/485, для передачі даних автоматизованому робочому місцю оператора — мережевий інтерфейс Fast Ethernet (до 100 МБіт/с). Також передбачено два диференційні виходи для синхронізації відеокамер. Додатково контролер оснащено дискретними входами/виходами для управління підсистемами температурної стабілізації і механізмами захисних шторок, що входять до складу сенсорних блоків.

За відеокамери сенсорного блока вибрано відповідні модулі виробництва ІЕЗ ім. О.Є. Патона. Модулі відеокамер можуть комплектуватися різними матрицями фотоприймача в за-

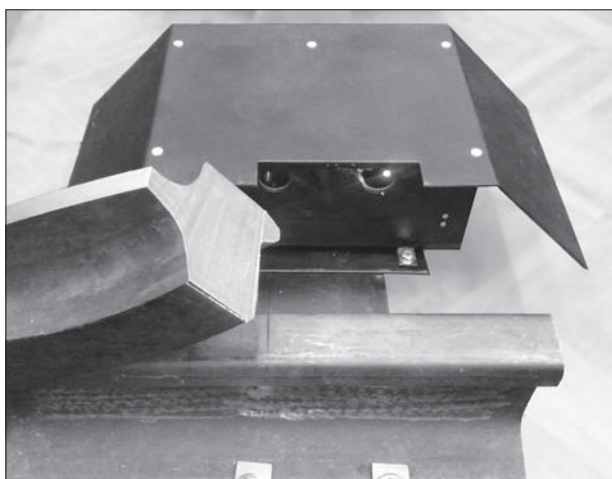
лежності від технічних вимог, що ставляться до сенсорних блоків. Для даного випадку вибрано монохромну матрицю з роздільною здатністю, що відповідає стандарту WVGA (752×480 пікселів). У матриці реалізовано технологію глобального затвора при частоті оновлення кадрів 60 Гц. Між об'єктивом та матрицею фотоприймача передбачено фіксацію інтерференційного світлофільтра, довжина центральної хвилі пропускання якого повинна бути узгоджена з довжиною хвилі випромінювання лазерного модуля. Вибрано та доопрацьовано стандартні лазерні модулі від зарубіжного виробника. Лазерні модулі зазвичай мають лінзу, що здатна фокусувати лазерний промінь в точку на деякій відстані. Для розгортання лазерного променя в площину конструкцію модулів було доповнено спеціальною циліндричною лінзою. Модулі відеокамер та лазерів зібрано в циліндричних корпусах, що надає додаткову ступінь рухливості для їх юстування за рахунок можливості повороту навколо повздовжньої осі.

Як датчики наближення вибрано швидкодіючий фотоелектричний датчик, принцип роботи якого базується на перекритті об'єктом його робочої зони. Робоча зона вибраної моделі знаходиться у діапазоні 30–175 мм, максимальний час реакції – 330 мкс. При розробці корпусних елементів сенсорних блоків застосовано схему подвійних корпусів, за якої лазерно-триангуляційні сенсори збираються у власних герметичних корпусах, а інше обладнання встановлюється всередині корпусів більшого розміру, що безпосередньо контактують з навколишнім середовищем (рис. 8). Необхідна орієнтація сенсорів забезпечується за допомогою кутових кронштейнів.

Реалізовано механізми відкривання/закривання зовнішніх вікон-ілюмінаторів сенсорних блоків із застосуванням захисної шторки з електромеханічним приводом. Для підігрівання повітря всередині корпусів передбачено електричні нагрівачі, оснащені радіаторами. Формування повітряного потоку для примусового обдування вихідних вікон-ілюмінаторів



**Рис. 8.** Сенсорний блок у зборі (без верхньої захисної панелі): 1 – основний корпус; 2 – захисна шторка з механізмом відкривання/закривання; 3 – лазерно-триангуляційний сенсор; 4 – електропривід механізму захисної шторки; 5 – датчик наближення колеса; 6 – нагрівач; 7 – вентилятор з пилоvim фільтром; 8 – блок релейний; 9 – роз'єми



**Рис. 9.** Тестовий стенд для налаштування сенсорних блоків

реалізовано за допомогою вентиляторів з пиловими фільтрами. Для безпосереднього управління виконавчими механізмами сенсорних блоків застосовуються релейні блоки, зібрані у власних герметичних корпусах. На передній панелі сенсорних блоків, що встановлюються між рейками залізничної колії, розміщуються кронштейни для фіксації датчиків наближення колії. Також розроблено і виготовлено консоль,

призначену для встановлення сенсорних блоків на колію, а також елементів кріплення консолі до рейок, що забезпечують електричну ізоляцію між рейковими нитками.

Для попереднього налаштування та тестування виконавчих механізмів і контрольновимірювального обладнання системи застосувались зразки (сектори) вагонних коліс з різним рівнем зношеності (рис. 9).

У результаті експериментальних досліджень отримано, що розроблена сенсорна система здатна автоматично реєструвати повні профілі робочої частини коліс та визначати геометричні параметри колісних пар вагонів з похибкою, яка не перевищує  $\pm 0,5$  мм, безпосередньо під час руху потягів з швидкістю до 60 км/год. Програмне забезпечення системи дозволяє виконувати всі необхідні функції, пов'язані з візуалізацією, реєстрацією, паспортизацією та автоматизованим аналізом результатів контролю технічного стану колісних пар.

### ВИСНОВКИ

Розроблена система дистанційного контролю геометричних параметрів колісних пар залізничних вагонів являє собою складний апаратно-програмний комплекс, для реалізації якого застосовано сучасні мікропроцесорні засоби реєстрації та обробки цифрових сигналів. Впровадження запропонованих науково-технічних рішень у вагонне господарство вітчизняних залізниць дозволить:

- ✦ суттєво підвищити якісні та кількісні показники контролю геометричних параметрів колісних пар;
- ✦ автоматизувати процеси отримання та обробки вимірювальної інформації про стан поверхні кочення залізничних коліс;
- ✦ перейти від планових ремонтно-відновлювальних робіт, пов'язаних з утриманням колісних пар рухомого складу, до ремонту по фактичному стану;
- ✦ підвищити безпеку руху на залізницях за рахунок своєчасного виявлення значних дефектів колісних пар вагонів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Буряк С.Ю. Диагностирование состояния поверхности катания колеса подвижного состава железных дорог. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2013. Вип. 1. С. 22–29.
2. Інструкція з огляду, обстеження, ремонту та формування вагонних колісних пар [Текст]: ЦВ-ЦЛ-0062. затв. «Укрзалізниця» 01.04.05. вид. офіц. Київ: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2006. 102 с.
3. WheelView (S/F/D/I). Accurate, Rugged, Reliable, Automatic Wheel Profile Measurement System, 2014 p. URL: [http://www.beenavision.com/products\\_wheelview.html#](http://www.beenavision.com/products_wheelview.html#). Artificial Vision Wheelset Parameter Equipment (EVA), 2015 p. URL: <http://web.talgoamerica.com/eva-system>.
4. Демкин В.Н., Степанов В.А. Лазерные методы и средства контроля геометрических размеров изделий. Измерительная техника. 2008. № 2. С. 32–35.
5. Фурман Я.А., Кривецкий А.В., Передреп А.К., Роженов А.А., Хафизов Р.Г., Егошина И.Л., Леухин А.Н. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов. Под ред. Я.А. Фурмана. 2-е изд., испр. Москва: Физмат лит., 2003. 592 с.
6. Киселевский Ф.Н., Коляда В.А. Калибровка триангуляционных оптических сенсоров. Автомат. сварка. 2005. № 5. С. 57–59.
7. Zhang Z. A Flexible New Technique for Camera Calibration. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. Nov. 2000. V 22. No. 11. P. 1330–1335.
8. Duda R.O. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. Published in the Comm. ACM, January 1972. N-Y. V 15. No. 1. P. 11–15.

Стаття надійшла до редакції 31.10.16

### REFERENCES

1. Buryak S.Yu. Diagnostirovaniye sostoyaniya poverkhnosti kataniya koleasa podvizhnogo sostava zheleznykh dorog. Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznchnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana (Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport). 2013. 1: 22–29 [in Russian].
2. Instrukciya z oglyadu, obstezhennya, remontu ta formuvannya vagonnih kolisnih par CV-CL-0062. zatv. «Ukrzaliznitsya» 01.04.05. Kyiv: TOV «NVP Poligrafservis», 2006 [in Ukrainian].
3. WheelView (S/F/D/I). Accurate, Rugged, Reliable, Automatic Wheel Profile Measurement System. Available at: [http://www.beenavision.com/products\\_wheelview.html#](http://www.beenavision.com/products_wheelview.html#).
4. Artificial Vision Wheelset Parameter Equipment (EVA). Available at: <http://web.talgoamerica.com/eva-system>.

5. Demkin V.N., Stepanov V.A. Lazernye metody i sredstva kontrolya geometricheskikh razmerov izdelij. Izmeritel'naya tekhnika (Measurement Techniques). 2008. 2: 32–35 [in Russian].
6. Furman Ya.A. Kreveckij A.V. Peredreev A.K. Rozhentsov A.A. Khafizov R.G. Egoshina I.L. Leukhin A.N. Vvedenie v konturnyj analiz; prilozheniya k obrabotke izobrazhenij i signalov. Moscow: FIZMAT LIT, 2003 [in Russian].
7. Kiselevskij F.N., Kolyada V.A. Kalibrovka triangulyacionnykh opticheskikh sensorov. Avtomat. svarka (The Paton Welding Journal). 2005. 5: 57–59 [in Russian].
8. Zhang Z. A Flexible New Technique for Camera Calibration. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2000. 11(22): 1330–1335.
9. Duda R.O., Hart E.H. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. Comm. ACM, 1972. 15(1): 11–15.

Recieved 31.10.16

*Shapovalov, Ye.V., Koliada, V.O.,*

*Topchev, D.D., Lutsenko, N.F., and Mangold, A.M.*

Paton Electric Welding Institute, the NAS of Ukraine,  
11, Bozhenko St., Kyiv-150, 03680, Ukraine,  
tel.: +38 (044) 200-47-79, fax: +38 (044) 528-04-86,  
office@paton.kiev.ua

DEVELOPMENT OF HARDWARE AND SOFTWARE  
FOR THE SYSTEM OF REMOTE CONTROL  
OF GEOMETRICAL PARAMETERS  
OF RAILCAR WHEELSETS

A hardware-software complex for the system of remote control of geometrical parameters of railcar wheelsets has been developed. The system is designed for non-contact scanning of wheel working surface profiles and automatic evaluation of wheelset technical condition during the train movement. The application of results to the railways carriage

facilities will significantly improve the qualitative and quantitative control of wear parameters and will raise traffic safety due to timely detection of wheelset dangerous defects.

*Keywords:* wheelsets, railcars, remote inspection, geometric parameters, laser triangulation sensor, and sensor units.

*Е.В. Шаповалов, В.А. Коляда,*

*Д.Д. Топчев, Н.Ф. Луценко, А.Н. Мангольд*

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины,  
ул. Боженко, 11, Киев-150, 03680, Украина,  
тел.: +38 (044) 200-47-79, факс: +38 (044) 528-04-86,  
office@paton.kiev.ua

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО  
И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ  
ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ  
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ  
ПАР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ

Разработан аппаратно-программный комплекс технических средств системы дистанционного контроля геометрических параметров колесных пар железнодорожных вагонов. Система предназначена для бесконтактного сканирования профилей рабочих поверхностей колес и автоматической оценки технического состояния колесных пар во время движения поездов. Внедрение полученных научно-технических результатов в вагонное хозяйство железных дорог позволит существенно улучшить качественные и количественные показатели контроля параметров износа вагонных колес и даст возможность повысить безопасность движения за счет своевременного обнаружения опасных дефектов колесных пар.

*Ключевые слова:* колесные пары, железнодорожные вагоны, дистанционный контроль, геометрические параметры, лазерно-триангуляционный сенсор, сенсорные блоки.