

УДК 625.282: 625.032.07

ВИЗНАЧЕННЯ ПОРУШЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ ПРОФІЛЮ БАНДАЖА КОЛІСНИХ ПАР ЛОКОМОТИВІВ

Д-р техн. наук О.Б. Бабанін, аспір. В.І. Бульба

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАРУШЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ПРОФИЛЯ БАНДАЖА КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ

Д-р техн. наук А.Б. Бабанин, аспир. В.И. Бульба

DEFINITION OF INFRINGEMENT OF GEOMETRY OF A STRUCTURE OF A BANDAGE OF WHEEL PAIRS LOCOMOTIVES

Doct. of techn. sciences A. Babanin, postgraduate V. Bulba

У статті представлені особливості визначення геометричних перекручувань параметрів профілю бандажа колісних пар локомотивів. Представлено метод, що дозволяє визначати зношування елементів бандажа не точковим способом, а за допомогою розрахунку різниці геометричних перерізів залежно від часу їхньої роботи. Для виділення цих перерізів пропонується апроксимація поліномами нелінійні геометричні ділянки, площі яких надалі підсумуються й рівняються між собою. Збільшення різниці порівняння залежно від ступеня зношування поверхні круга катання дозволяє оцінювати технічний стан колісних пар і, як наслідок, прогнозувати обточувань бандажа при проведенні технічних обслуговувань і ремонтів.

***Ключові слова:** апроксимація, колісна пара, бандаж, профіль, рівняння, параметр, обточування, експлуатація, ремонт*

В статье представлены особенности определения геометрических искажений параметров профиля бандажа колесных пар локомотивов. Представлен метод, позволяющий определять износ элементов бандажа не точечным способом, а при помощи расчета разности геометрических сечений в зависимости от времени их работы. Для выделения этих сечений предлагается аппроксимация полиномами нелинейные

геометрические участки, площади которых в дальнейшем суммируются и сравниваются между собой. Увеличение разницы сравнения в зависимости от степени износа поверхности круга катания позволяет оценивать техническое состояние колесных пар и, как следствие, прогнозировать обточек бандажа при проведении технических обслуживаний и ремонтов.

Ключевые слова: аппроксимация, колесная пара, бандаж, профиль, уравнение, параметр, обточка, эксплуатация, ремонт

In clause features of definition of geometrical distortions of parameters of a structure of a bandage of wheel pairs locomotives are presented. The method is presented, allowing to determine deterioration of elements of a bandage not in the dot way, and by means of calculation of a difference of geometrical sections depending on time of their work. With this purpose the structure of a bandage is broken into some sites. Researches for a new bandage and a bandage which has deterioration on a circle of driving in these sites are carried out. For definition of these sections their approximation by sedate polynoms is offered. By means of integration the areas of nonlinear geometrical sites which in the further are summarized and compared among themselves are determined. The difference of the areas on each site is determined. The increase in a difference of comparison depending on a degree of deterioration of a surface of a circle of driving allows to estimate a technical condition of wheel pairs and as consequence, to predict quantity of turnings of a bandage at carrying out of maintenance service and repairs.

Keywords: approximation, wheel pair, bandage, structure, the equation, parameter, turning, operation, repair.

Постановка проблеми в загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Колісна пара локомотива є однією з самих відповідальних елементів його механічної частини. Від технічного стану і надійності коліс колісних пар, у першу чергу, суттєво залежить безпека руху рейкового транспорту. При цьому величину експлуатаційного життєвого циклу коліс тягового рухомого складу визначає знос поверхні кочення, на основі якого призначається періодичність технічного обслуговування та поточного ремонту, в процесі якого здійснюється обточка бандажів для відновлення його профілю. Тому важливою задачею, на основі зростання величини зносу елементів колісних пар, є рішення - коли ці обточки виконувати або прогнозувати хоча б термін їх проведення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час існує велика кількість публікацій, які пов'язані зі зносом елементів бандажів колісних пар. Якщо розділити їх на групи, то до самої значної можна віднести дослідження із проблеми колесо-рейка [1,2,3]. Як правило в ній розглядаються причини підвищеного зносу й відшуковуються фактори, які їх породжують. До другої групи належать роботи із практичного усунення підвищеного зносу колісних пар [6,7]. На даному етапі необхідно виділити істотну роботу - монографію [10], у якій справедливо вказується, що допускові параметри, встановлені нормативною документацією

[5], а саме мінімально припустимі значення товщини й параметра крутості гребеня істотно впливають на пробіги колісних пар між їхніми обточками, на кількість цих обточок, а також на експлуатаційний знос бандажів. У зв'язку із цим особливу актуальність приймають питання, які безпосередньо пов'язані з точним визначенням величини зносу елементів бандажів колісних пар в експлуатації.

Мета дослідження. Метою дійсної роботи є викладення методу розрахунку геометричних перекручувань поверхні кочення бандажів колісних пар у міру збільшення їхнього пробігу в експлуатації.

Виклад основного матеріалу. Під зносом бандажів колісних пар рухомого складу прийнято вважати зміну його профілю під впливом сил, які виникають між колесом і рейкою під час руху. Величина цього зношення, згідно нормативних документів [5] оцінюється в практиці зменшенням висоти гребеня і його крутості, збільшенням виробітку по колу кочення, що називається прокатом, а також зменшенням товщини бандажа внаслідок його періодичних обточувань.

Особливе значення для підвищення рівня надійності колісних пар має ресурс їхньої роботи і його прогнозування. Оцінка цих значень дає можливість визначити раціональні міжремонтні пробіги й знизити витрати на обслуговування локомотивів.

Виходячи з цього, у даній роботі запропонований метод, що дозволяє визначити розвиток зносу елементів бандажа

колісної пари. Розглянемо його на прикладі розвитку прокату по колу кочення колісної пари.

Як відомо [5] основні геометричні розміри профілю бандажа вимірюють на практиці за допомогою спеціальних точкових шаблонів, на підставі показань яких встановлюють відповідність їхнім нормативним значенням. У той же час це не дозволяє встановити картину зміни всієї геометрії профілю бандажа й тим більше її зміни.

Поява сучасних електронних приладів для виміру параметрів профілю бандажа відкриває нові можливості експрес аналізу й розрахунку їхніх геометричних характеристик, які раніше були просто недоступні. Внаслідок появи в теперішній час лазерного профілометра ІКП-5 (ІКП-5R), з'явилася можливість не тільки візуально, але й за допомогою застосування математичного апарату за дуже короткий час оцінювати характер кривої профілю бандажа. Основу профілометра складає лазерний сканер який сканує поверхню бандажа в поперечному напрямку й відразу видає геометричну картину (криву) безпосередньо на екран монітора (рис. 1).

Однак, при всіх позитивних якостях профілометра ІКП-5, необхідно відзначити

його істотний недолік – відсутність програмного аналізу геометричного характеру, який обумовлює криву профілю бандажа. Профілометр свої значення обумовлює тільки у встановлених точках без урахування того як поводить крива на інших ділянках. Так на рис. 1б показана точка **A** з одним значенням зносу (прокату), тоді як у перерізі **B** він буде вже зовсім іншим. Це обставина у випадках несиметричного зносу як по горизонталі, так і по вертикалі може значно переколювати результат й приводити до небажаних наслідків.

В відповідності із цим (одержавши криву профілю бандажа колісної пари, що перевіряється,) пропонується оцінювати не точковий вимір параметрів, а виконувати розрахунок по площі її зношування.

Розглянемо даний метод на наступному ідеалізованому прикладі. На рис. 2 показаний переріз профілю бандажа колісної пари в координатах **X-Z**. При цьому координата **X** умовно прив'язана до основи бандажа колісної пари, а координата **Z** до висоти її елементів. Знос поверхні бандажа виділений областю *abcdc'b'a*. Ставиться завдання - визначити площу цієї області.

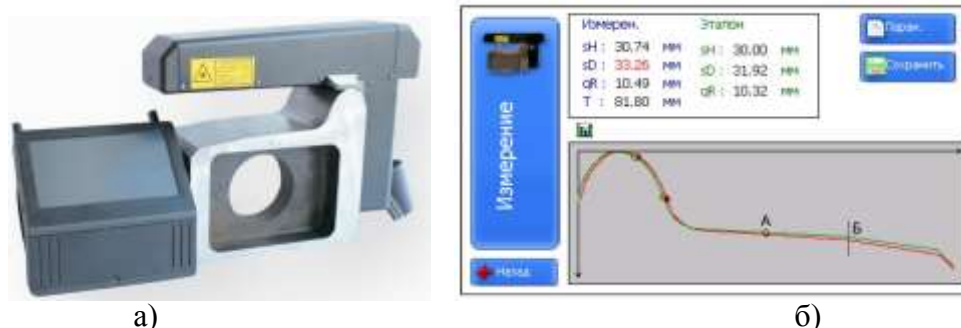


Рис. 1 Загальний вид лазерного профілометра ІКП-5 (а) і його мобільний монітор після проведення вимірів (б): sH - висота гребеня; sD - товщина гребеня; qK - крутість гребеня; T - товщина бандажа

Умовно (по осі **X**) розділимо виділену зону на три ділянки **I**, **II** й **III**, у яких будемо відшукувати їхню площу (*abb'a*, *bcc'b'* і *cdc'*).

Спочатку виконуємо розрахунки для кривої, що не має зносу: ділянка **I** (крива *a-*

b), ділянка **II** (крива *b-c*) і ділянка **III** (крива *c-d*). Далі для ділянки **I** (крива *a-b*) складаємо таблицю координат точок по осі **X** (величина зношування) і по осі **Z** (товщина бандажа). Всі значення зводимо в табл. 1.

Таблиця 1

Координати точок ділянки зношування <i>a-b</i> (X_i)	X_{i1}	X_{i2}	X_{in}
Координати точок величини товщини бандажа, Z_i	Z_{i1}	Z_{i2}	Z_{in}

Рухомий склад залізниць

Такі ж таблиці складаємо для ділянок II й III. На підставі даних таблиць виконуємо їхню апроксимацію поліномами 5-й ступеня, установивши як незалежну змінну X .

Складаємо рівняння ділянок I, II й III для незношеної кривої профілю бандажа. Для кривої $a-b$ рівняння буде мати вигляд

$$Z_{a-b}^I = A_{10} + A_{11}x_1 + A_{12}x_1^2 + A_{13}x_1^3 + A_{14}x_1^4 + A_{15}x_1^5, \quad (1)$$

Для кривих $b-c$ і $c-d$ рівняння складуть

$$Z_{b-c}^{II} = A_{20} + A_{21}x_2 + A_{22}x_2^2 + A_{23}x_2^3 + A_{24}x_2^4 + A_{25}x_2^5, \quad (2)$$

$$Z_{c-d}^{III} = A_{30} + A_{31}x_3 + A_{32}x_3^2 + A_{33}x_3^3 + A_{34}x_3^4 + A_{35}x_3^5. \quad (3)$$

Складаємо рівняння для ділянок I, II й III вже для зношеної кривій профілю бандажа.

Для кривої $a-b'$ рівняння буде мати вигляд

$$Z_{a-b'}^I = A'_{10} + A'_{11}x'_1 + A'_{12}x'^2_1 + A'_{13}x'^3_1 + A'_{14}x'^4_1 + A'_{15}x'^5_1, \quad (4)$$

Для кривих $b'-c'$ і $c'-d'$ рівняння складуть

$$Z_{b'-c'}^{II} = A'_{20} + A'_{21}x'_2 + A'_{22}x'^2_2 + A'_{23}x'^3_2 + A'_{24}x'^4_2 + A'_{25}x'^5_2, \quad (5)$$

$$Z_{c'-d'}^{III} = A'_{30} + A'_{31}x'_3 + A'_{32}x'^2_3 + A'_{33}x'^3_3 + A'_{34}x'^4_3 + A'_{35}x'^5_3. \quad (6)$$

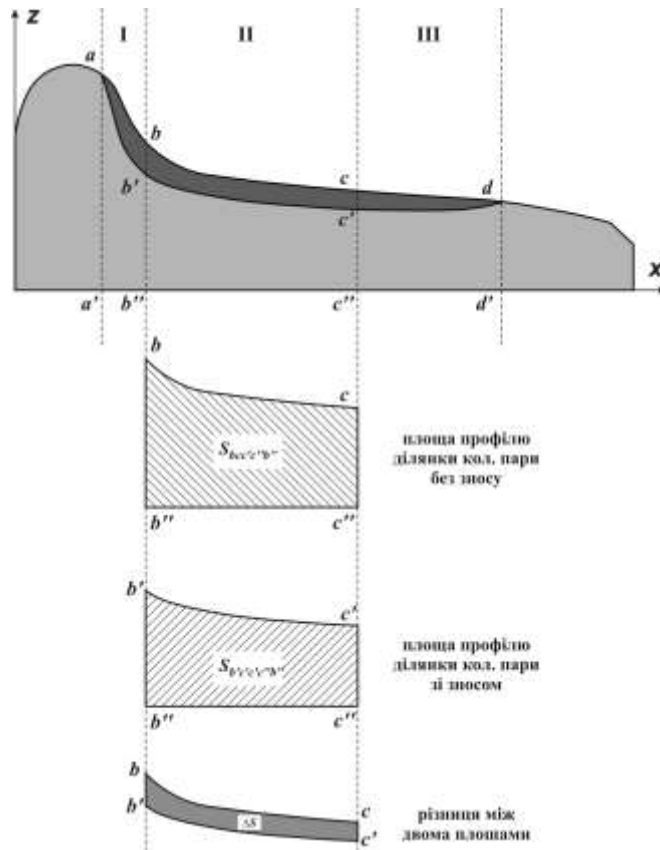


Рис. 2 Визначення площ ділянок профілю бандажа

На підставі отриманих рівнянь ділянок I, II й III із кривими, де відсутній шляхом інтегрування визначаємо площі знос.

Для ділянки I площа $abb''a'$ складе

$$S_{abb''a'} = \int_a^b Z_{a-b}^I dx = \int_a^b (A_{10} + A_{11}x_1 + A_{12}x_1^2 + A_{13}x_1^3 + A_{14}x_1^4 + A_{15}x_1^5) dx. \quad (7)$$

Для ділянок II й III площі $bcc''b''$ і $ccd''c''$ складуть

$$S_{bcc''b''} = \int_b^c Z_{b-c}^{II} dx = \int_b^c (A_{20} + A_{21}x_2 + A_{22}x_2^2 + A_{23}x_2^3 + A_{24}x_2^4 + A_{25}x_2^5) dx, \quad (8)$$

$$S_{cdd''c''} = \int_c^d Z_{c-d}^{III} dx = \int_c^d (A_{30} + A_{31}x_3 + A_{32}x_3^2 + A_{33}x_3^3 + A_{34}x_3^4 + A_{35}x_3^5) dx. \quad (9)$$

Сумарна площа зони бандажа без зносу $add'a'$ складе

$$S_1 = S_{abb'a'} + S_{bcc''b''} + S_{cdd''c''}. \quad (10)$$

За таким же принципом можна визначити площі в ділянках I, II й III із зносними кривими.

$$S_{ab'b'a'} = \int_a^{b'} Z_{a-b'}^I dx = \int_a^{b'} (A'_{10} + A'_{11}x_1 + A'_{12}x_1^2 + A'_{13}x_1^3 + A'_{14}x_1^4 + A'_{15}x_1^5) dx. \quad (11)$$

$$S_{b'c'c''b''} = \int_{b'}^{c'} Z_{b'-c'}^{II} dx = \int_{b'}^{c'} (A'_{20} + A'_{21}x'_2 + A'_{22}x'^2_2 + A'_{23}x'^3_2 + A'_{24}x'^4_2 + A'_{25}x'^5_2) dx, \quad (12)$$

$$S_{c'dd''c''} = \int_{c'}^d Z_{c'-d}^{III} dx = \int_{c'}^d (A'_{30} + A'_{31}x'_3 + A'_{32}x'^2_3 + A'_{33}x'^3_3 + A'_{34}x'^4_3 + A'_{35}x'^5_3) dx. \quad (13)$$

Сумарна площа зношеної зони профілю бандажа складе

$$S_2 = S_{ab'b'a'} + S_{b'c'c''b''} + S_{c'dd''c''}. \quad (14)$$

Далі знаходимо площу зносу ΔS , що визначиться як різниця між S_1 і S_2 , тобто

$$\Delta S = S_1 - S_2. \quad (15)$$

На підставі запропонованого методу було виконане моделювання прокату бандажів колісних пар електропоїздів Z із кроком 0,01 мм і отримане тарувальне рівняння

$$Z_{np} = 0,075 + 0,0075 \Delta S. \quad (16)$$

Це рівняння дозволяє, виходячи із площі зносу профілю бандажа колісної пари, визначати величину його прокату, а у випадку прив'язки до величини пробігу складати основу для прогнозування її терміну служби до обточки. За даним методом можна також оцінювати знос колісної пари по таких параметрах як висота гребеня, його кругість та товщина бандажу.

За наведеним методом на ПЕОМ складена спеціальна програма і на цей час виконуються розрахунки, а також накопичується масив даних по зносу колісних пар електропоїздів у

моторвагонному депо Харків Південної заліз.

Висновки з дослідження й перспективи, подальшого розвитку в даному напрямку.

1. Виконано аналіз використання технічних засобів і методів для визначення основних параметрів бандажів колісних пар локомотивів. Встановлено, що найбільш прийнятливим для подальшої автоматизації розрахунків є сучасний лазерний профіломір ІКП-5. У той же час відзначається, як недолік, неможливість у цьому приладі виконання аналізу вимірюваних кривих профілю бандажа й проведення безпосередньо з його допомогою розрахунку параметрів зносу.

2. Запропоновано метод, що дозволяє розраховувати величину зносу поверхонь бандажа колісної пари. Він заснований на виділенні призначуваних характерних зон зі зносом профілю бандажа й визначенні в них (у поперечному перерізі) різницю площ зношеної й незношеної ділянок. Це дає можливість більш якісно оцінювати геометричні перекручування поверхні бандажа й слугувати основою для проведення раціонального обточування даної колісної пари при її обслуговуванні й ремонті.

Список використаних джерел

1. Андреев, А.И. Износ рельсов и колес подвижного состава [текст] / А.И.Андреев, К.Л.Комаров, Н.И.Карпущенко // Железнодорожный транспорт. – 1997. - №10. – С.31-36.

Рухомий склад залізниць

2. Блохин, Е.П. К проблеме износа колес и рельсов [текст] / Е.П.Блохин, А.Н.Пшинько, А.Д.Лашко // Залізничний транспорт України. – 2001. - №1. – С.2-6.
3. Голубенко, А.Л. Закономерности профилеобразования поверхностей катания колес тепловозов 2ТЭ116 в процессе эксплуатации [текст] / А.Л.Голубенко, Д.М.Диденко, В.П.Ткаченко, С.Ю.Сапронова // Вісник СУНУ. – 2007. - №8(114). – Ч.2. – С.221-226.
4. Исаев, И.П. Факторный анализ процессов изнашивания бандажей колесных пар электровозов [текст] / И.П.Исаев, А.В.Горский, А.А.Воробьев // Вестник ВНИИЖТ. – 1080. - №4. – С.12-16.
5. Інструкція з формуванню, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України. ВНД 32.0.07.001-2001. [текст]. – Київ, 2011.
6. Комаров, К.Л. Износ рельсов и колес подвижного состава [текст] / К.Л.Комаров, Н.И.Карпущенко. – Новосибирск.: СГАПС, 1997.
7. Маслиев, В.Г. К проблеме увеличения ресурса бандажей колес локомотивов [текст] / В.Г.Маслиев // Залізничний транспорт України. – 2001. - №6. – С.12-14.
8. Петров, В.Г. Как продлить срок службы бандажей колесных пар [текст] / В.Г.Петров // Электрическая и тепловозная тяга. – 1971. - №9. – С.4-7.
9. Правила технічної експлуатації залізниць України [текст]. – Київ, 2003.
10. Сапронова, С.Ю. Оптимізація профілів бандажів коліс локомотивів [текст] / С.Ю.Сапронова. – Луганськ, СУНУ, 2011.
11. Ткаченко, В.П. Розрахунок та прогнозування шляхового фрикційного опору руху рейкових екіпажів [текст]: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07 / Ткаченко Віктор Петрович. – Луганськ, 1999.

Бабанін Олександр Б., д-р техн. наук, професор, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел. (093) 663-21-15.

Бульба Вадим І., аспірант, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел. (093) 295-08-79.

Babanin Aleksandr B., doct. of techn. sciences, professor, Ukrainian state academy of a railway transportation. Tel.: (093) 663-21-15

Bulba Vadim I., the graduate, Ukrainian state academy of a railway transportation. Tel.: (093) 295-08-79.