

М.Л. КОРОТЕНКО, д-р техн. наук, професор,  
О.М. ЗАБОЛОТНИЙ, наук. співроб.,  
Л.О. НЕДУЖА, канд. техн. наук, асистент,  
Н.М. НЕСТЕРЕНКО, наук. співроб.,  
Д.О. ЯГОДА, наук. співроб.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ БАНДАЖІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ВЛ11М З РІЗНИМИ ПРОФІЛЯМИ

Проведені експериментальні дослідження зносу бандажів електровоза в гірських умовах Львівської залізниці. Розглядалися періоди експлуатації електровоза з різними профілями коліс.

Проведены экспериментальные исследования износа бандажей электровоза в горных условиях Львовской дороги. Рассматривались периоды эксплуатации электровоза с различными профилями колес.

The experimental research of the bandage wear has been conducted concerning electric locomotive performance under the mountain conditions of the Lvov railway. The operation periods of an electric locomotive have been considered as for the various wheel profile structures.

Однією з актуальних проблем для залізничного транспорту залишається проблема зносу коліс і рейок. За останні роки Укрзалізницею вжито ряд заходів, що привели до зниження інтенсивності зносу. Так, наприклад, за даними Укрзалізниці середній ресурс Придніпровської залізниці на 1997 рік становив 645 тис. км, а вже на 2002 рік – 784 тис. км по локомотивах ВЛ8. Найгірше становище – на Львівській залізниці, що пов'язано з важкими умовами роботи локомотивів на цій залізниці, де багато ділянок з кривими малих радіусів і великими значеннями підйомів. Тому доцільне вивчення процесу зносу в системі “колесо – рейка” саме на цій залізниці.

У 2003 році співробітниками лабораторії динаміки та міцності рухомого складу Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна разом із співробітниками локомотивного депо Мукачєво Львівської залізниці проведено експериментальні дослідження по зносу бандажів електровозів ВЛ11м. При цьому визначалися не лише показники зносу бандажів, а і витрати електроенергії під час експлуатації, виконана електровозом робота, кількість обточок за життєвий цикл бандажа.

Дослідженням підлягав електровоз ВЛ11м-140, приписаний до локомотивного депо Мукачєво Львівської залізниці. Основною задачею експериментальних досліджень є порівняння зносу бандажів електровоза ВЛ11м-140 при експлуатації його в найбільш важкому режимі -

в режимі штовхача з різними профілями – стандартному та МІНТЕК на ділянці Свалява – Лавочне Львівської залізниці. Дослідна ділянка розташована в гірській місцевості (ухил до 20...28 ‰), де значну частину кривих становлять криві малого радіуса ( $R < 350$  м). Для проїзду через перевальну ділянку Свалява-Лавочне до вантажних і пасажирських поїздів приєднують штовхачі-електровози або допоміжні електровози. Схеми розташування електровозів наведено на рис.1, 2

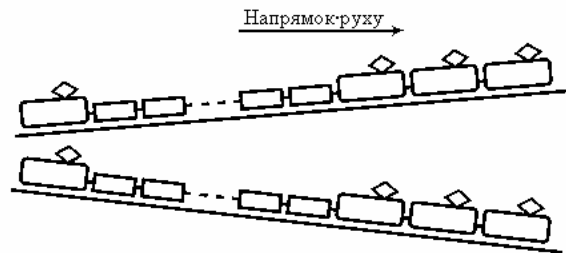


Рис. 1. Розміщення електровозів у вантажному поїзді вагою 3600...4800 т на ділянці з ухилом 20-28 ‰

У першому періоді бандажі дослідного електровоза були обточені за стандартним профілем (ГОСТ 11018-87, кресл. 3) і електровоз експлуатувався в режимі штовхача на вказаних вище ділянках до того часу, коли стала необхідною по зносу гребенів переточка бандажів. Цей період відбувався з 29 січня до 22 квітня 2003 р. Після цього бандажі електровоза були переточені на профіль МІНТЕК і аналогічно проходив другий період експерименту при бандажах з вказаним профілем до наступної обто-

чки по зносу гребеня. Цей період відбувався з 25 квітня до 4 червня 2003 р.

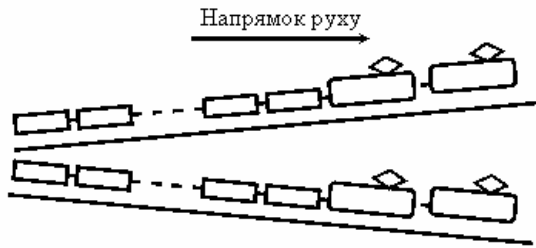


Рис. 2. Розміщення електровозів у пасажирському поїзді на ділянці з ухилом 20...28 %

Експерименти було організовано таким чином.

Результати замірів прокату, товщини гребеня, товщини бандажа заносились до журналу замірів колісних пар електровоза ВЛ11м-140, спеціально заведений на період експериментальних досліджень. Заміри проводились через кожні 48 год при технічному обслуговуванні електровоза.

На рис. 3 показано динаміку зносу гребенів бандажів, відповідно до профілів стандартного і МІНТЕК.

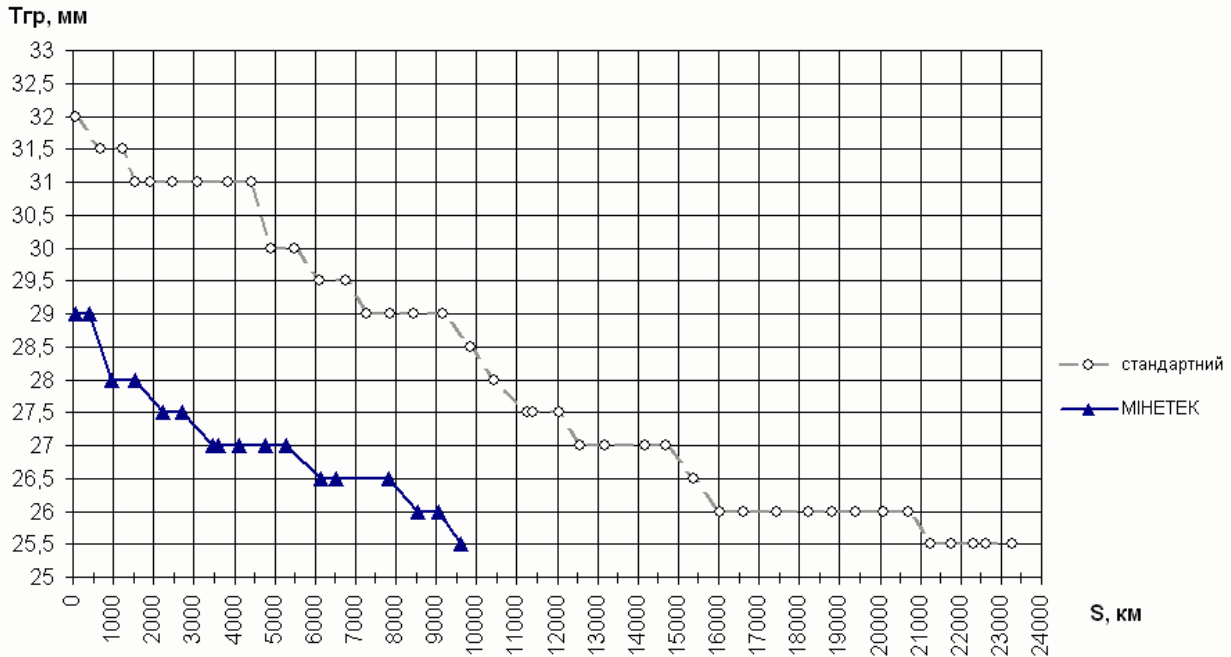


Рис. 3. Графік зміни товщини гребеня в експлуатації, (1 к.п., ліве колесо – ВЛ11м-140, Мукачеве)

Аналіз результатів замірів показує, що товщина гребенів бандажів на початку першого періоду експериментів була в межах 31,5...32,5 мм, а в кінці цього періоду (перед обточуванням) 25,5...29 мм. Для другого періоду відповідні результати становлять 28,5...29 мм на початку і 25,5...27 мм – в кінці.

Значення показників зносу гребенів для стандартного профілю і профілю МІНТЕК наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Показники зносу бандажів з різними профілями**

| Профіль     | Показник зносу на гребені $\Delta_{гр}^*$ , мм за 10000 км |
|-------------|--|
| Стандартний | 2,054  |
| МІНТЕК      | 2,462  |

Таким чином, під час експлуатації електровоза в режимі штовхача на ділянці Сваліява-Лавочне експлуатаційний знос гребенів бандажів, що обточені по стандартному профілю менше на 16%, ніж бандажів на профілі МІНТЕК.

Для порівняння зносів бандажів з різними профілями знайдемо для них ресурс бандажів. Звичайно не вдається одержати нові дані щодо пробігу бандажа за його життєвий цикл. Тому ресурс бандажа одержують шляхом екстраполяції даних, які одержані за деякий обмежений період його роботи.

Звичайно ресурс бандажа R визначають за формулою:

$$R = \frac{T_{ном} - T_{пр}}{\Delta_{Б ср}}, \quad (1)$$

де  $T_{ном}$  та  $T_{пр}$  – відповідно номінальна (повна) і гранично допустима товщини бандажа;  $\Delta_{Б ср}$  – середнє значення зносу (по товщині) бандажа за звітний період (за 10000 км).

Показник технологічного зносу по роках для бандажів з різними профілями

| Профіль                | Стандартний | Стандартний | Стандартний | МІНТЕК | МІНТЕК | МІНТЕК |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|--------|--------|--------|
| Рік                    | 1998        | 1999        | 2000        | 2001   | 2002   | 2003   |
| $\Delta_{\text{б}}^*$  | 3,99        | 6,3         | 6,26        | 3,19   | 3,74   | 3,08   |
| $\Delta_{\text{гр}}^*$ | 202         | 3,45        | 3,31        | 2,19   | 2,23   | 2,07   |
| $\gamma$               | 1,98        | 1,83        | 1,89        | 1,46   | 1,68   | 1,49   |
| $\gamma_{\text{ср}}$   | 1,9         |             |             | 1,56   |        |        |

У даному випадку були відсутні дані про зміну товщини бандажа в кожному періоді експериментів, тому ця величина визначалася, як

$$\Delta_{\text{Б ср}} = \gamma \cdot \Delta_{\text{Гр ср}}, \quad (2)$$

$\Delta_{\text{Б ср}}$  – середній знос гребенів бандажів;  $\gamma$  – показник технологічного зносу бандажів:

$$\gamma = \frac{\Delta_{\text{Б ср}}}{\Delta_{\text{Гр ср}}}.$$

Якщо величина прокату дорівнює нулю, показник  $\gamma$  показує величину зменшення товщини бандажа при відновленні товщини гребеня на 1 мм. Величину  $\gamma$  можна визначити за статистичними даними. У табл. 2 наведені значення показників зносу електровозів ВЛ11м за 1998-2003 рр. У період 1998-2000 рр. бандажі електровозів обточувались по стандартному профілю, а з 2001 р. – по профілю МІНТЕК. Інтенсивність зносу бандажів наведено з урахуванням експлуатаційного зносу (прокат) і технологічного зносу (обточка). В останньому рядку наведені середні значення показника  $\gamma$  для стандартного профілю і профілю МІНТЕК.

За даними таблиць 1 і 2 визначаємо інтенсивність зносу бандажів на показник 10 тис.км.

Для стандартного профілю:

$$\Delta_{\text{Бст}}^* = 2,054 \cdot 1,9 = 3,903 \text{ мм.}$$

Для профілю МІНТЕК:

$$\Delta_{\text{Бм}}^* = 2,462 \cdot 1,56 = 3,841 \text{ мм.}$$

За формулою (1) визначаємо ресурс бандажів з профілем МІНТЕК і стандартним, при  $T_{\text{ном}} = 90$  мм; а  $T_{\text{пр}} = 45$  мм:

$$R_{\text{М}} = 117157 \text{ км; } R_{\text{СТ}} = 115296 \text{ км.}$$

Таким чином, при наявності даних про інтенсивність зносу гребенів за звітний період і статистичних даних про знос бандажів колісних пар, можна визначити прогнозуємий ресурс бандажів. Одержані величини ресурсів для профілей стандартного і МІНТЕК показують перевагу останнього на 1,6 %.

Розглянута методика дозволяє прогнозувати ресурс бандажів колісних пар з різними профілями, враховуючи експлуатаційний і технологічний знос. Однак відкритим залишається питання про затрати, що пов'язані з переточуванням колісних пар.

Доцільно розглянути методику розрахунку ресурсу бандажів, в якій враховувалась би кількість обточок бандажа за його життєвий цикл, тобто за час експлуатації його з повної товщини бандажа до мінімально допустимої.

Вихідні дані: пробіг електровоза від обточки до обточки  $l$ , км; зміна товщини гребеня за цей пробіг  $\Delta_{\text{Гр}}$ , мм; статистичні дані по зносу бандажів (для визначення показника  $\gamma$ ).

Знаючи ці величини, можна прогнозувати втрату товщини бандажа за одну обточку. Згідно з даними експерименту, під час експлуатації електровоза (82 доби) із стандартним профілем бандажів в середньому по електровозу гребені бандажів зносились на  $\Delta_{\text{Гр}} = 4,91$  мм, а при експлуатації бандажів з профілем МІНТЕК (38,5 доби)  $\Delta_{\text{Гр}} = 2,78$  мм. На прикладі експериментальних досліджень зносу бандажів електровоза ВЛ11м-140 визначаємо:

$$\text{для стандартного профілю } \Delta_{\text{Бст}} = 4,91 \cdot 1,9 = 9,33 \text{ мм;}$$

$$\text{для профілю МІНТЕК } \Delta_{\text{Бм}} = 2,78 \cdot 1,56 = 4,34 \text{ мм.}$$

Приймаємо, що за час експлуатації бандажів їх товщина змінюється від повної (номінальної) до мінімально допустимої. Припустимо також, що величина прокату дорівнює нулю, що підтверджується статистичними даними про знос бандажів при експлуатації електровозів на гірських ділянках Львівської залізниці.

За життєвий цикл бандаж можна обточити  $n$  разів:

$$n = \frac{T_{\text{ном}} - T_{\text{пр}}}{\Delta_{\text{Б}}} \quad (3)$$

Для стандартного профілю:  $n = 4,82$ , тобто 4 обточки.

Для профілю МІНЕТЕК:  $n = 10,37$ , тобто 10 обточок.

За життєвий цикл бандажів пробіг електро-воза, тобто ресурс його бандажів складає:

$$R = l \cdot (n + 1), \text{ км.} \quad (4)$$

Визначено прогнозуємі ресурси бандажів з профілем МІНЕТЕК і стандартним

$$R_M = 124000 \text{ км}; \quad R_{CT} = 119000 \text{ км.}$$

Ресурс бандажів з профілем МІНЕТЕК більший на 3,9%, що підтвержує результати розрахунку ресурсу за методикою без урахування кількості обточок.

Перевага методики, яка враховує кількість обточок за життєвий цикл бандажів, в тому, що можна прогнозувати витрати, які пов'язані з обточками колісних пар. Так, наприклад, видно, що витрати пов'язані з переточуванням бандажів на стандартний профіль є в 2,5 рази меншими, ніж для профілю МІНЕТЕК.

Пробіги електровоза, вага поїздів та витрати електроенергії визначались з маршрутних листів. При визначенні виконаної роботи припускалося, що вона в рівній мірі поділяється між всіма електровозами, що ведуть поїзд.

Результати експериментальних досліджень, які пов'язані з виконаною електровозом роботою і витратами електроенергії, наведено в табл. 3.

З аналізу показників, наведених в табл. 3, видно, що кожної доби електровоз ВЛ11м-140 мав майже однаковий пробіг незалежно від того, на який профіль були обточені бандажі його коліс. Різниця становить 2,4 %.

За період експлуатації електровоз із стандартним профілем виконав роботу 15 млн т·км, а експлуатуючись з профілем МІНЕТЕК лише 5,9 млн.т·км. Причому за добу виконувалось роботи більше при експлуатації на стандартному профілі. Різниця становить 16,2 %.

Таблиця 3

| № | Порівняння економічних показників для бандажів з різними профілями<br>Порівнювальні показники | Профіль бандажа |           |
|---|---|-----------------|-----------|
|   |   | Стандартний     | МІНЕТЕК   |
| 1 | Пробіг між обточуваннями, км<br>всього<br>за добу   | 23889           | 11295     |
|   |   | 282             | 289,62    |
| 2 | Витрати електроенергії, кВт·год<br>всього<br>за добу  | 4582            | 1865      |
|   |   | 55,88           | 48,44     |
| 3 | Рекуперація, кВт·год<br>всього<br>за добу   | 1681            | 827       |
|   |   | 20,5            | 21,48     |
| 4 | Кількість діб в експлуатації<br>(від обточування до обточування)                              | 82              | 38,5      |
| 5 | Виконана робота, млн т·км<br>всього<br>за добу  | 15,0            | 5,9       |
|   |   | 0,183           | 0,153     |
| 6 | Питомі витрати електроенергії на одиницю виконаної роботи за добу, кВт·год / млн т·км         | 193             | 176       |
| 7 | Товщина гребенів<br>на початку<br>в кінці   | 31,5 – 32,5     | 28,5 - 29 |
|   |   | 25,5 – 29       | 25,5 – 27 |

За даними, наведеними в табл. 3, визначено питомі витрати електроенергії на одиницю виконаної роботи за добу.

Для стандартного профілю:

$W_{CT} = (55,88 - 20,5) / 0,183 = 193 \text{ кВт·год/млн т·км за добу.}$

Для профілю МІНЕТЕК:

$W_M = (48,4 - 21,5) / 0,153 = 176 \text{ кВт·год / млн т·км за добу.}$

Різниця становить  $\Delta W = 8,8 \%$ , профіль МІНЕТЕК за цим показником більш економічний, ніж стандартний профіль.

Кількість діб в експлуатації (від обточування до обточування) більша при стандартному

профілі (82 проти 38,5), що пояснити можна більшою товщиною гребеня стандартного профілю (див. табл. 3).

### Висновки

1. Наведені результати показують, що при виборі раціонального профілю бандажа істотне значення має не тільки знос поверхонь катання, але й економічні аспекти, пов'язані, зокрема, з витратою електроенергії, витратами на експлуатацію коліс, у тому числі і пов'язані з кількістю обточувань за життєвий цикл бандажа та ін.

2. Проведені експерименти становлять інтерес насамперед тим, що вони відносяться до

найбільш напруженого режиму роботи коліс і рейок, пов'язані з профілем колії, на якому велика кількість кривих малого радіуса і значних підйомів, а також специфікою роботи локомотива в режимі штовхача.

У цих умовах дані експерименту показали, що величини прогнозованого ресурсу близькі для обох профілів з деяким перевищенням для профілю МІНТЕК. По витратах електроенергії на тягу перевагу має профіль МІНТЕК, однак він програє стандартному профілю по витратах на обточування бандажів.

3. Доцільно проведення дослідів за наведеною методикою у більших масштабах.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Рейдемейстер А.Г. Как износ колес сказывается на интенсивности износа гребней, боковом износе рельсов и ходовых качествах грузовых вагонов // Транспорт. – 1999. – № 4.

2. Данович В.Д., Рейдемейстер А.Г. О влиянии формы профиля поверхности катания колеса на динамические показатели вагонов, износ колес и боковой износ рельсов // Транспорт. – 1999. – № 4