РУХОМИЙ СКЛАД ТА СПЕЦІАЛЬНА ТЕХНІКА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ. ЛОКОМОТИВИ

УДК 629.4.027 **DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.147.2014.74502**

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ КОЛІСНИХ ПАР ЛОКОМОТИВІВ В УМОВАХ ДЕПО

Канд. техн. наук П.О. Харламов,
О.С. Люлін

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ В УСЛОВИЯХ ДЕПО

Канд. техн. наук П.А. Харламов,
О.С. Люлин

INCREASE THE RESOURCES OF THE WHEELS OF THE LOCOMOTIVES IN THE DEPOT CONDITIONS

As. doct. of techn. sciences P. Kharlamov,
O. Lyulin

Ресурс бандажів колісних пар є одним з визначальних факторів величини міжремонтних пробігів - не збільшивши ресурс бандажів, неможливо продовжити міжремонтний період між поточними ремонтами ТР-3, що стримує збільшення пробігів між ремонтами у всій системі технічного обслуговування й поточного ремонту локомотивів.

Ключові слова: *локомотив, електровоз, колісна пара, бандаж, наноматеріали, ресурс, довговічність.*

Ресурс бандажей колесных пар является одним из определяющих факторов величины межремонтных пробегов – не увеличив ресурс бандажей, невозможно продлить межремонтный период между текущими ремонтами ТР-3, что сдерживает увеличение пробегов между ремонтами во всей системе технического обслуживания и текущего ремонта локомотивов.

Ключевые слова: *локомотив, электровоз, колесная пара, бандаж, наноматериалы, ресурс, долговечность.*

Increase the resources of the wheels is designated as one of the priority tasks. Since the intensity of wear of rails and wheels of locomotives depends on many factors, solve this problem comprehensively. Applying regenerative braking, skew Coles, the condition of the rubber elements of silent-blocks, created technical means operative to control the state of the running parts of the rolling stock and track. Studies to evaluate the effectiveness of lubricatio zone of contact of the wheel with the rail, affect the amount of hardness wear of wheels and rails, the difference of the diameters of the tires.

Keywords*: locomotive, train, wheel pair, tread, nanomaterial, lifetime, endurance.*

Вступ. Бандажі колісних пар є одним із найвідповідальніших елементів механічної частини локомотивів. Величина ресурсу бандажів визначає періодичність технічного обслуговування ТЕ-4 (обточування бандажів з метою відновлення конфігурації їхнього профілю), ремонту ТР-3, СР і КР для заміни повністю зношених бандажів колісних пар.

За оцінкою експертів, на початку 1980-х рр. строк служби бандажів колісних пар локомотивів становив 6-7 років, а в 90-ті рр. XX століття він скоротився вже до 2-3 років. Відмови через зношування коліс займають «провідне місце» серед інших технічних відмов в експлуатації локомотивів.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Проблемою зношування колісних пар прямо або побічно займалися багато вчених і практиків в Україні й за кордоном. На основі натурних спостережень робилися висновки про вплив тих або інших факторів на інтенсивність зношування, на основі теоретичних розробок будувалися моделі.

Статистичний аналіз причин зношування бандажів колісних пар показує, що основна частка зношувань поверхні бандажа припадає на гребінь бандажів колісних пар. Тому більшість обточувань роблять по зношуванню гребеня, причини інших обточувань розподіляються приблизно в рівному співвідношенні.

Інтенсивність зношування гребеня прямо впливає на довговічність бандажів колісних пар. Від довговічності бандажів залежить строк служби всієї колісної пари локомотива, тому що при граничному зношуванні бандажів необхідно робити викочування колісно-моторного блока, що призводить до зростання собівартості перевезень і зниження конкурентоспроможності залізничного транспорту.

Ресурс бандажів колісних пар є одним з визначальних факторів величини міжремонтних пробігів – не збільшивши ресурс бандажів, неможливо продовжити міжремонтний період між поточними ремонтами ТР-3, що стримує збільшення пробігів між ремонтами у всій системі технічного обслуговування й поточного ремонту локомотивів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У прийнятих Укрзалізницею стратегічних напрямках науково-технічного розвитку залізничного транспорту до 2030 р. підвищення довговічності бандажів локомотивів займає одне із головних місць – на першому етапі встановлений ресурс бандажів не менше 600 тис. км, а на другому етапі – не менше 1 млн км. Підвищення ресурсу колісних пар позначено як одне із пріоритетних завдань [2]. Оскільки інтенсивність зношування рейок і колісних пар локомотивів залежить від багатьох факторів, зазначену проблему вирішують комплексно [3]. Зокрема проведено дослідження з оцінки ефективності лубрикації зони контакту колеса з рейкою [4], впливу на величину зношування твердості коліс і рейок [5], різниці діаметрів бандажів [6], застосування рекуперативного гальмування, перекосу колісних пар, стану гумових елементів сайлент-блоків, створено технічні засоби оперативного контролю стану ходових частин рухомого состава й колії [7-9]. Однак ухвалені рішення для поліпшення умов взаємодії в системі «колесо-рейка» (застосування гребене- і рейксозмащування [10], підбір профілів кочення бандажа, зміцнення гребенів бандажів колісних пар [11], застосування своєчасного розвороту локомотива, контроль якості проведення ремонту колісних пар, підбір за жорсткістю повідців буксових вузлів, підбір діаметрів колісних пар та ін.) виявилися недостатніми, оскільки зношування продовжують залишатися на неприпустимо високому рівні [12]. У зв'язку із цим необхідні нові рішення, спрямовані на забезпечення стійкої взаємодії розглянутої системи в перспективних умовах і таких, що змінилися.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою є збільшення довговічності бандажів колісних пар локомотивів в умовах депо. Відповідно до поставленої мети сформульовано такі завдання:

- виконати аналіз причин зношування бандажів колісних пар і способів, що істотно підвищують довговічність бандажів локомотивів;
- розробити математичну модель багатофакторного аналізу підвищення довговічності бандажів колісних пар.

Основна частина дослідження. Ступінь впливу способів, спрямованих на зниження зношування бандажів колісних пар, можна представити у вигляді функції багатьох змінних:

$$R = (f, e, h, l, b, d, o, t, k, r, c, j, g, w), \quad (1)$$

де f – обточування бандажів по найкращому профілю поверхні кочення бандажів колісних пар; e – застосування сучасного технологічного встаткування в ремонтному процесі; h – зміцнення гребенів бандажів; l – застосування лубрикації; b – застосування триботехнічного складу НІОД; d – наплавлення гребенів бандажів; o – обточування зі збереженням залишкового прокату; t – збільшення початкової товщини бандажів; k – кліматичні умови; r – підтримка в експлуатації нормованих параметрів верхньої будови колії; c – своєчасна заміна гумометалевих елементів; j – розворот

локомотива; g – підбір діаметрів колісних пар; w – підбір повідців за жорсткістю.

Якщо з якихось причин ця функція одержує досить малі випадкові збільшення f_Δ, e_Δ, h_Δ, l_Δ, b_Δ, d_Δ, o_Δ, t_Δ, k_Δ, r_Δ, c_Δ, j_Δ, g_Δ, w_Δ, то її нове значення можна представити у вигляді ряду Тейлора:

$$
\begin{aligned}
R = F\left(\begin{matrix} f+f_\Delta, e+e_\Delta, h+h_\Delta, l+l_\Delta, b+b_\Delta, d+d_\Delta, \\ o+o_\Delta, t+t_\Delta, k+k_\Delta, r+r_\Delta, c+c_\Delta, j+j_\Delta, g+g_\Delta, w+w_\Delta \end{matrix}\right) = \\
= F\left(f, e, h, l, b, d, o, t, k, r, c, j, g, w\right) + \frac{\partial F}{\partial f}\cdot f_\Delta + \frac{\partial F}{\partial e}\cdot e_\Delta + \\
+ \frac{\partial F}{\partial h}\cdot h_\Delta + \frac{\partial F}{\partial l}\cdot l_\Delta + \frac{\partial F}{\partial b}\cdot b_\Delta + \frac{\partial F}{\partial d}\cdot d_\Delta + \frac{\partial F}{\partial o}\cdot o_\Delta + \frac{\partial F}{\partial t}\cdot t_\Delta + \\
+ \frac{\partial F}{\partial k}\cdot k_\Delta + \frac{\partial F}{\partial r}\cdot r_\Delta + \frac{\partial F}{\partial c}\cdot c_\Delta + \frac{\partial F}{\partial j}\cdot j_\Delta + \frac{\partial F}{\partial g}\cdot g_\Delta + \frac{\partial F}{\partial w}\cdot w_\Delta + \\
+ \frac{1}{1\cdot 2}\cdot\left[\begin{matrix} \frac{\partial^2 F}{\partial f^2}\cdot f_\Delta^2 + \quad \ldots \quad + \frac{\partial^2 F}{\partial w^2}\cdot w_\Delta^2 + \\ + 2\cdot\frac{\partial^2 F}{\partial f\cdot\partial e}\cdot f_\Delta\cdot e_\Delta + \ldots + 2\cdot\frac{\partial^2 F}{\partial w\cdot\partial g}\cdot w_\Delta\cdot g_\Delta \end{matrix}\right] + \ldots .
\end{aligned}
\tag{2}
$$

Обмежуючись першим ступенем малих збільшень змінних, одержуємо такий вираз:

$$
\begin{aligned}
R = F\left(\begin{matrix} f+f_\Delta, e+e_\Delta, h+h_\Delta, l+l_\Delta, b+b_\Delta, d+d_\Delta, o+o_\Delta, \\ t+t_\Delta, k+k_\Delta, r+r_\Delta, c+c_\Delta, j+j_\Delta, g+g_\Delta, w+w_\Delta \end{matrix}\right) = \\
= F\left(f, e, h, l, b, d, o, t, k, r, c, j, g, w\right) + \frac{\partial F}{\partial f}\cdot f_\Delta + \frac{\partial F}{\partial e}\cdot e_\Delta + \\
+ \frac{\partial F}{\partial h}\cdot h_\Delta + \frac{\partial F}{\partial l}\cdot l_\Delta + \frac{\partial F}{\partial b}\cdot b_\Delta + \frac{\partial F}{\partial d}\cdot d_\Delta + \frac{\partial F}{\partial o}\cdot o_\Delta + \frac{\partial F}{\partial t}\cdot t_\Delta + \\
+ \frac{\partial F}{\partial k}\cdot k_\Delta + \frac{\partial F}{\partial r}\cdot r_\Delta + \frac{\partial F}{\partial c}\cdot c_\Delta + \frac{\partial F}{\partial j}\cdot j_\Delta + \frac{\partial F}{\partial g}\cdot g_\Delta + \frac{\partial F}{\partial w}\cdot w_\Delta .
\end{aligned}
\tag{3}
$$

Таким чином, можна в комплексі прогнозувати ефект від впровадження в умовах депо розглянутих основних способів, спрямованих на підвищення довговічності бандажів колісних пар.

Вибір основних способів можна зробити за такими критеріями: 1) потреба в застосуванні; 2) наявність розроблених технологій; 3) технічна можливість локомотивних депо. Зіставлення основних способів із критеріями вибору наведено в табл. 1.

Результати наведеного аналізу показують, що використання практично всіх способів затребуване й функціонально можливо в локомотивні депо. Визначення впливу різних випадкових факторів на процес зношування бандажів шляхом аналізу вимірів при оглядах (ТЕ) і ремонтах (ТР) електровозів, тобто через певний проміжок часу (пробігу), завдання, здійсненне за допомогою методів математичної статистики й теорії ймовірностей. Статистична обробка дозволяє розрахувати залежність значень контрольованих параметрів бандажів від пробігу та її екстраполяція в область більших значень пробігів і дає можливість побудови прогнозної моделі.

Таблиця 1

Зіставлення способів підвищення довговічності бандажів в умовах депо із критеріями вибору

Досліджуваний спосіб	Критерій		
	1	2	3
Обточування по найкращому профілю поверхні кочення бандажів колісних пар	+	+	+
Застосування сучасного технологічного встаткування в ремонтному процесі	+	+	–
Зміцнення гребенів бандажів	+	+	+
Застосування лубрикації	+	–	+
Застосування триботехнічного складу НІОД	+	+	+
Наплавлення гребенів бандажів	+	+	+
Обточування зі збереженням залишкового прокату	+	–	+
Збільшення початкової товщини бандажа	+	+	+
Кліматичні умови	+	–	–
Підтримка в експлуатації нормованих параметрів верхньої будови колії	+	+	–
Своєчасна заміна гумометалевих елементів	+	+	+
Розворот електровоза	–	–	–
Підбір діаметрів колісних пар	+	–	+
Підбір повідців за жорсткістю	+	–	+

Якщо встановити математичну форму розподілу, що відповідає спостереженням, і на основі останніх обчислити найкращу з можливих оцінок для необхідних параметрів, то значення, що залишилися, можна відкинути від подальших розрахунків. Так, для одержання достовірних результатів при обробці вибірки потрібні: вибір математичної форми генеральної сукупності; визначення способу обчислення, придатного для оцінки контрольованого параметра й виведення точної математичної форми розподілу.

Вихідна інформація для визначення дієвості кожного зі способів, спрямованих на підвищення довговічності бандажів, отримана із залежностей «зношування-пробіг», де кожному певному пробігу відповідає певне значення зношування. Для спрощення розрахунків і одержання більшої кількості інформації для вивчення варто об'єднати значення із близьким пробігом в одну вибіркову сукупність. Ігнорувати різницю пробігу нам дозволяють похибка вимірювального інструмента, а також інертність зношування, тобто мале відхилення значення зношування при невеликій зміні пробігу. Принцип формування вибіркових сукупностей наведений у табл. 2.

Таблиця 2

Формування вибіркових сукупностей для проведення розрахунку

Значення пробігу в конкретній точці виміру	Значення пробігу для конкретної вибіркової сукупності	Значення зношування, відповідне конкретній точці виміру
$L_{1.1}$	L_1	$\Delta_{1.1}$
$L_{1.2}$		$\Delta_{1.2}$
…		…
$L_{1.i}$		$\Delta_{1.i}$
$L_{2.1}$	L_2	$\Delta_{2.1}$
$L_{2.2}$		$\Delta_{2.2}$
…		…
$L_{2.i}$		$\Delta_{2.i}$
…	…	…
$L_{n.i}$	L_n	$\Delta_{n.i}$

На підставі зібраної статистичної інформації зі зношування бандажів колісних пар можна побудувати залежності математичного очікування й середньоквадратичного відхилення контрольованого параметра від пробігу. Отримані залежності екстраполюються в область більших значень пробігів, залежно від виду теоретичного розподілу розраховується ймовірність безвідмовної роботи.

Визначивши вид теоретичного розподілу в кожній групі, можна одержати рівняння кривої, що обмежує область значень однієї вибіркової сукупності, а отже, і обчислити ймовірність відмови при пробігах, близьких до «критичних».

$$P(L) = \int_{X_{\text{доп}}}^{X_{\text{ном.}}} f(x)dx, \qquad (4)$$

де $X_{\text{доп.}}$, $X_{\text{ном.}}$ – значення, що допускаються, і номінальне значення контрольованого параметра об'єкта дослідження; $f(x)$ – значення функції розподілу випадкової величини в конкретному діапазоні вибіркової сукупності.

Стосовно визначення ймовірності безвідмовної роботи бандажів колісних пар при нормальному типі розподілу рівняння (4) буде мати такий вигляд:

$$P(L) = \frac{1}{\sigma_x(L)\cdot\sqrt{2\pi}} \int_{X_{\text{доп.}}}^{M_x(L)+3\sigma_x(L)} e^{-\frac{[X-M_x(L)]^2}{2\sigma_x^2(L)}}, \qquad (5)$$

де σ_x – середньоквадратичне відхилення контрольованого параметра; M_x – математичне очікування контрольованого параметра; $X_{\text{доп.}}$ – значення контрольованого параметра, що допускається; L – пробіг, що відповідає моменту виміру; P – імовірність безвідмовної роботи.

Якщо робити відновлення зношеного бандажа, його заміну при наробітку (пробігу), що не перевищує 90%-го ресурсу (P = 0,1), то ймовірність відмови бандажа в міжремонтному періоді не перевищить 10 %, а відхилення міжремонтного пробігу від установленої величини також виявиться в межах ±10 %, тобто відповідає відносній похибці застосовуваного в локомотивному депо вимірювального інструмента. Тому доцільно обмежити міжремонтні пробіги 90%-м ресурсом. На підставі виконаних розрахунків будуються залежності $P(L)$, і за ними визначається γ %-й ресурс колісних пар, тобто такий пробіг, якому відповідає ймовірність безвідмовної роботи або ймовірність відмови $P = 1 - \gamma$.

Одержати залежність значень контрольованих параметрів колісних пар від пробігу при застосуванні наплавлення важко, однак, щоб одержати орієнтовні значення, можна скористатися «ідеальним випадком»: інтенсивність зношування – величина постійна й обточування бандажів колісних пар здійснюється тільки по граничному зношуванню гребеня через однакові значення пробігів (90%-ий ресурс до обточування). Використовуючи ці допущення, можна розрахувати технологічне зношування (або економію бандажної сталі при кожному обточуванні), а отже, і ресурс бандажів колісних пар при використанні наплавлення. Величина економії матеріалу бандажа, мм, визначається як

$$\Delta^{\text{напл.}} = \Delta_{\text{ТО}-4} - 2, \qquad (6)$$

де $\Delta_{\text{ТЕ-4}}$ – середня товщина бандажа, що знімається при проведенні технічного обслуговування ТЕ-4; 2 – величина витрати бандажа при обточуванні після наплавлення.

Тоді математичне очікування зношування бандажа при використанні наплавлення можна визначити як

$$M_x(L)_i^{\text{напл.}} = M_x(L)_i - \Delta^{\text{напл.}}, \qquad (7)$$

де $M_x(L)_i$ – значення математичного очікування зношування гребеня на період запланованого обточування.

Узагальнення результатів дослідження показує ефективність застосування кожного із шести обраних способів. Для кінцевого етапу моделювання визначено значення первісної функції багатьох змінних:

$$R = F\left(f + f_{\Delta},\ h + h_{\Delta},\ c + c_{\Delta},\ t + t_{\Delta},\ d + d_{\Delta},\ b + b_{\Delta}\right) = \\ = F\left(f, h, c, t, d, b\right) + f_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial f} + h_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial h} + \\ c_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial c} + t_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial t} + d_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial d} + b_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial b}. \quad (8)$$

У цьому випадку вплив кожного доданка на систему в цілому можна визначити за допомогою функції повних диференціалів. Визначити ступінь впливу кожного способу можна виходячи з умови

$$R = F\ (f, h, c, t, d, b) = 1. \quad (9)$$

При поданні виразу (9) у процентному співвідношенні одержуємо рівень впливу кожного способів. Результати розрахунку зведені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення часток похідних кожного елемента функції $R = F(x)$

Спосіб	Застосовуваний спосіб	Значення похідної функції / 10-5, мм/км	Значення похідної функції, %	Прогнозо-ваний ресурс, тис. км
1	Обточування бандажів по профілю ГОСТ 11018	5,991	13,36	678
2	Зміцнення гребенів бандажів	7,080	17,44	668
3	Застосування триботехнічного складу	7,821	17,45	660
4	Наплавлення гребенів	7,821	17,45	638
5	Збільшення початкової товщини бандажа	7,821	17,45	650
6	Своєчасна заміна гумометалевих елементів	8,298	18,51	688

Найбільшу роль у підвищенні довговічності бандажів відіграють застосування обточування колісних пар по профілю ГОСТ 11018; своєчасна заміна гумометалевих елементів; наплавлення гребенів; застосування триботехнічного складу; зміцнення гребенів; збільшення початкової товщини бандажів колісних пар. Середня довговічність бандажа при застосуванні запропонованих способів в умовах депо становить:

$$L_{\text{ср.}} = k_{\text{эф.}} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{L_{\text{исх.}(i)}}{n} + \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{L_i - L_{\text{исх.}(i)}}{n} \right] \right), \quad (10)$$

де $L_{\text{исх.}(i)}$ – значення ресурсу бандажа до впровадження і-*го* способу; L_i – значення ресурсу при застосуванні і-*го* способу; $k_{\text{эф.}}$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність ефективності способів, спрямованих на підвищення довговічності бандажів колісних пар, $k_{\text{эф.}} = 0{,}9$.

Згідно з виразом (10) середня довговічність бандажа при застосуванні запропонованих способів в умовах депо становить 597,3 тис. км [13,14].

Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток у даному напрямку:

1. На основі розробленої математичної моделі багатофакторного аналізу, використовуючи методи теорії імовірності й математичної статистики, а також критерії відбору, обрано найбільш ефективні способи, спрямовані на підвищення довговічності бандажів колісних пар локомотивів. Установлено частковий розподіл значущості способів підвищення довговічності бандажів.

2. Зроблено ранжирування способів підвищення довговічності бандажів за їхньою ефективністю. Установлено довговічність бандажів колісних пар локомотивів при використанні розглянутих способів в умовах депо.

Список використаних джерел

1. Горский, А.В. Анализ износа бандажем [Текст] / А.В. Горский, А.П. Буйносов // Железнодорожный транспорт. – 1991. – № 1. – С. 46-47.
2. Буйносов, А.П. Результаты применения нанопористового антифрикционного покрытия на повышение ресурса колесных пар промышленных электровозов [Текст] / А.П. Буйносов, И.М. Пышный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 155-158.
3. Буйносов, А.П. Снизить интенсивность износа гребней [Текст] / А.П. Буйносов // Локомотив. – 1995. – № 6. – С. 31-32.
4. Буйносов, А.П. Обеспечение эффективного смазывания бандажей локомотивов [Текст] / А.П. Буйносов, С.А. Дибров // Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 11. – С. 60-61.
5. Буйносов, А.П. Оценка применяемых материалов бандажей колесных пар и рельсов [Текст] / А.П. Буйносов // Тяжелое машиностроение. – 2000. – № 11. – С. 16-20.
6. Горский, А.В. Экономичная обточка [Текст] / А.В. Горский, А.П. Буйносов, В.С. Наговицын, В.С. Клинский // Локомотив. – 1992. – № 4. – С. 26-27.
7. Буйносов, А.П. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов в результате изменения технологии их обточки [Текст] / А.П. Буйносов // Автоматизация и современные технологи. – 1992. – № 8. – С. 23-25.
8. Буйносов, А.П. Влияние условий эксплуатации на износ бандажем [Текст] / А.П. Буйносов // Локомотив. – 1995. - № 1. – С. 33-34.
9. Hartmann H., Schunke H. Mehrzwecklokomotive baureihe 145 der Deutschen Bahn. Elektrische Bahnen, 1997, vol. 95, issue 11, pp. 287–296.
10. Müller R. Veränderung von Radlaufflachenim Betriebseinsatz und deren Auswirkungen auf das Fahrzeugverhalten. Annalen, 1998, no. 11, ss. 7–9.
11. Pefiffer H., Solf W. Fortentwicklung des Fristensystems fur fdie Instandhaltung elektrischer Triebfahrzeuge in den Wertatten des Betriebsmaschinendienstes des Dentschen Bundesbahn. Elektrische Bahnen, 1978, № 7, pp. 179—186.
12. Буйносов, А.П. Методика прогнозирования ресурса бандажей колесных пар локомотивов [Текст] / А.П. Буйносов, В.А. Тихонов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологи. – 2012. – № 5. – С. 136-144.
13. Худояров, Д.Л. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 [Текст] / Д.Л. Худояров, А.П. Буйносов // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 9 – С. 47–48.
14. Худояров, Д.Л. Влияние упрочнения на ресурс бандажей колесных пар [Текст] / Д.Л. Худояров, А.П. Буйносов // Транспорт Урала. – 2010. – № 1 (24). – С. 63–68.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

Харламов Павло Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.
Люлін Олександр Сергійович, магістр кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.

Kharlamov Pavlo Oleksandrovich cand. science, associate professor of department of maintenance and repair of rolling stock Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99.
Lyulin Oleksandr Sergeevich, master degree of department of maintenance and repair of rolling stock Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99.