

УДК 629.421.1

Выбор остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11

А.П. Буйносов*

*Уральский государственный университет путей сообщения
Россия 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66*

Received 03.06.2011, received in revised form 10.06.2011, accepted 17.06.2011

В статье изложены результаты экспериментальных исследований выбора остаточного проката бандажей исходя из критерия максимального ресурса колесных пар электровозов. Изменена технология обточки колесных пар, при этом оставлен прокат 0,5 мм. Прогнозируемый ресурс бандажей увеличен на 32 % и позволяет эксплуатировать электровозы ВЛ11 в локомотивном депо Свердловск-сортировочный до ремонта КР-1 и не производить замену бандажей колесных пар на ТР-3.

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, износ, контролируемые параметры, обточка, остаточный прокат, ресурс.

Введение

На сети железных дорог имеет место повышенный износ колес, бандажей и рельсов. Интенсивность износа колес и рельсов возросла в середине 1970-х гг. и достигла наибольших размеров к началу 1990-х. В этот период на железнодорожном транспорте существенно изменились условия эксплуатации. Завершилась перешивка колеи с 1524 мм на прямых участках на 1520 мм, изменились также нормы уширения колеи в кривых [1]. На главных путях были уложены объемно-закаленные рельсы тяжелых типов повышенной твердости, а твердость колесной стали практически не изменилась. Был завершён переход на подшипники качения вместо подшипников скольжения, требующих постоянной смазки в буксах. Произошло увеличение статической нагрузки на ось, а также увеличение массы и длины поезда. Начали внедряться композиционные тормозные колодки вместо чугунных. В больших масштабах деревянные шпалы заменялись на железобетонные, при этом повысилась жесткость пути. Произошло ухудшение состояния пути и подвижного состава [2].

Если раньше барьерными местами были горные перевальные участки с затяжными подъемами и спусками, то в настоящее время износ рельсов и колесных пар стал распространенным явлением по всей сети, в том числе и на равнинной части [3].

Для решения задачи снижения интенсивности износа гребней колесных пар подвижного состава и рельсов необходимы новые научные исследования и решения. И в первую очередь

© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: byinosov@mail.ru

разработка комплекса мероприятий, позволяющих исходя из конкретных условий эксплуатации определить и устранить причины износа колес и рельсов [4].

Установить долю влияния каждой причины износа нельзя, так как преобладающее значение той или иной в их сумме изменяется во времени их участия. Только постоянное наблюдение, анализ технического состояния локомотивов и пути может установить причины и уменьшить их влияние на износ [5].

Анализ опубликованных работ показывает, что однозначной зависимости между износом и твердостью колес и рельсов не существует, так как при различных условиях трения существенно изменится механизм истирания и, соответственно, интенсивность износа [6].

Тем не менее можно утверждать, что с повышением твердости увеличивается сопротивление материала пластической деформации, снижается образование возможных участков схватывания и, следовательно, повышается износостойкость бандажей колесных пар [7].

Методика исследования

При установлении оптимальных свойств сопряженных деталей «бандаж–рельс» решение задач сводится к нахождению методов, которые обеспечивают минимальную остаточную деформацию, не нарушая нормального режима работы бандажа, и исключают возникновение усталостных разрушений [4, 8].

По результатам исследований таким методом является частичная обточка бандажей, при которой профиль поверхности катания бандажа полностью не восстанавливают, а оставляют некоторый (остаточный) прокат, обеспечивающий наименьший износ и, соответственно, максимальный ресурс до смены бандажей [9].

Для определения оптимальной величины остаточного проката в локомотивном депо Свердловск-сортировочный велись наблюдения за 54 электровозами ВЛ11, которые были разделены по сериям на четыре группы: группа 1 – девять электровозов, колесные пары которых обтачивали с полным восстановлением профиля (без остаточного проката); группа 2 – восемь электровозов с восстановлением профиля при остаточном прокате 0,5 мм; группа 3 – пять электровозов с прокатом 1 мм; группа 4 – пять электровозов с прокатом после обточки 2 мм. Все бандажи обтачивали по новому профилю (рис. 2 в ГОСТ 11018–2000).

Зависимости величины проката и изменение толщины бандажей от пробега определяли с помощью методов регрессионного анализа, который позволил выявить основные закономерности износа.

Для аппроксимации эмпирических зависимостей аналитическими функциями нужно выбрать соответствующий вид зависимости. В общем плане аналитическую зависимость можно представить некоторой нелинейной функцией $y = f(a_1, a_2, \dots, a_s, l_i)$ одного аргумента l_i , в выражение которой входит S параметров $a_1, a_2, \dots, a_s, l_i$. С помощью этой функции необходимо аппроксимировать эмпирическую регрессию, которая задана в виде N точек (l_i, y_i) при $i = 1, 2, \dots, N$, где под y следует понимать один из параметров рассматриваемого закона распределения. Параметры функции y находят методом наименьших квадратов, условие которого записывается в виде

$$Z(a_1, a_2, \dots, a_s) = \sum_{i=1}^n [f(a_1, a_2, \dots, a_s, l_i) - l_i]^2 \Rightarrow \min, \quad (1)$$

или

$$\sum_{i=1}^n [Y_i - f(L_i)]^2 \Rightarrow \min, \quad (2)$$

где $f(L_i)$ – выбранная аппроксимирующая функция; Y_i и L_i – полученная совокупность экспериментальных данных.

Здесь:

$$y_i = \begin{cases} m_{yi} & \text{– при аппроксимации зависимости } m_y^*(L); \\ \sigma_{yi} & \text{– при аппроксимации зависимости } \sigma_y^*(L). \end{cases}$$

Зависимости $M_y(L)$ и $\sigma_y(L)$ ищем в виде

$$Y = A + BL, \quad (4)$$

где Y – значение контролируемого параметра (прокат, толщина бандажей); A – величина остаточного проката, толщина бандажа на начало рассмотрения; B – интенсивность нарастания проката, уменьшение толщины бандажей; L – пробег.

Коэффициент линейной функции найдем по методу наименьших квадратов:

$$B = \frac{R_{yl} \sigma_y}{\sigma_l}, \quad (5)$$

где R_{yl} – коэффициент корреляции между случайными величинами Y и L ; σ_y и σ_l – среднеквадратические отклонения величин Y и L .

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}; \quad (6)$$

$$\sigma_l = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}, \quad (7)$$

где \bar{L} – среднее значение пробега L ; \bar{Y} – среднее значение величины Y .

Среднее значение пробега находим по формуле

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i. \quad (8)$$

Среднее значение величины Y находим по формуле

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i. \quad (9)$$

Свободный член уравнения

$$A = \bar{Y} - B \bar{L}. \quad (10)$$

Значения коэффициентов корреляции между зависимостями от пробега среднего значения проката и толщины бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 с разным остаточным прокатом представлены в табл. 1. Из нее видно, что значения всех коэффициентов корреляции близки к

Таблица 1. Коэффициенты уравнений регрессии проката и толщины бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 с различным остаточным прокатом

Контролируемый параметр	Величина остаточного проката	Зависимость	Объем выборки, N	Коэффициенты уравнения регрессии $Y = A + BL$		Коэффициент корреляции, r_{yL}	Остаточная дисперсия, S_0^2 , мм ²
				A , мм	B , мм/10 ⁴ км		
Прокат	0	$M_y(L)$	946	0,008	0,471	0,945	0,027
		$\sigma_y(L)$		0,331	0,091	0,913	0,022
	0,5	$M_y(L)$	640	0,503	0,443	0,993	0,013
		$\sigma_y(L)$		0,314	0,060	0,897	0,045
	1,0	$M_y(L)$	400	1,117	0,480	0,923	0,066
		$\sigma_y(L)$		0,120	0,010	0,890	0,112
	2,0	$M_y(L)$	400	1,818	0,492	0,894	0,097
		$\sigma_y(L)$		0,311	0,043	0,926	0,003
Толщина бандажа	0	$M_y(L)$	946	86,253	-0,677	-0,991	0,295
		$\sigma_y(L)$		0,468	0,066	0,968	0,018
	0,5	$M_y(L)$	640	86,591	-0,451	-0,985	0,453
		$\sigma_y(L)$		0,802	0,065	0,920	0,218
	1,0	$M_y(L)$	400	86,882	-0,488	-0,964	0,115
		$\sigma_y(L)$		0,846	0,070	0,885	0,192
	2,0	$M_y(L)$	400	86,709	-0,490	-0,954	0,984
		$\sigma_y(L)$		0,698	0,105	0,776	1,150

единице (0,886–0,990), а остаточные дисперсии, характеризующие разброс эмпирических точек около линейной регрессии, на порядок меньше дисперсий соответствующих контролируемых параметров.

Полученные угловые коэффициенты уравнений и свободные члены регрессии контролируемых параметров при разных величинах остаточного проката отличны друг от друга. Важно было понять: отклонение уравнений регрессии друг от друга только случайно или же существенно? Ответ на поставленный вопрос получен при использовании методов теории статистических гипотез. Сравнение проходило в три этапа: проверка гипотезы о равенстве остаточных дисперсий уравнений регрессии контролируемого параметра; проверка гипотезы о равенстве интенсивностей износа бандажей колесных пар; проверка гипотезы о равенстве начальных значений контролируемого параметра.

Только в случае, когда не могла быть отвергнута ни одна из проверяемых гипотез, утверждалось, что нет различий между износом бандажей, имеющих разную величину остаточного проката. Очередной этап проверки начинался в том случае, если не отвергается предшествующая гипотеза [2].

В противном случае сравнение методов анализа информации прекращалось и считалось, что износ бандажей с различной величиной остаточного проката в статистическом смысле не эквивалентен между собой. Таким образом, только когда не отвергалась ни одна из проверяе-

мых гипотез, утверждалось, что бандажи колесных пар изнашиваются одинаково у электровозов ВЛ11, приписанных к депо Свердловск-сортировочный [10].

Гипотеза о равенстве остаточных дисперсий $H_0^{(1)}$ проверялась по критерию Фишера (F -критерию) по формуле

$$\hat{F} = \frac{S_{0_1}^2}{S_{0_2}^2}, \quad (11)$$

где $S_{0_1}^2$ – большая из двух дисперсий уравнений регрессий с различным остаточным прокатом; \hat{F} – реализация выборочной функции с $m_1 = n_1 - 1$ и $m_2 = n_2 - 1$ степенями свободы (n – число исходных размеров).

При $\hat{F} < F_{\alpha, m_1, m_2}$ различие остаточных дисперсий $S_{0_1}^2$ и $S_{0_2}^2$ можно считать случайным, т. е. гипотеза принимается. Так как гипотеза $H_0^{(1)}$ в отдельных случаях не отвергнута, была проверена гипотеза о существенности отличия угловых коэффициентов линейных регрессий $H_0^{(2)}$: $B = B_1 = B_2$. Эта гипотеза проверялась с помощью t -критерия Стьюдента по [11]:

$$t_B = \frac{B_1 - B_2}{S_b \sqrt{\frac{1}{(n_1 - 1) \cdot D_{1_1}} + \frac{1}{(n_2 - 1) \cdot D_{1_2}}}}, \quad (12)$$

где

$$S_b = \sqrt{\frac{(n_1 - 2) \cdot S_{0_1}^2 + (n_2 - 2) \cdot S_{0_2}^2}{n_1 + n_2 - 4}}. \quad (13)$$

Здесь B – расчетное значение углового коэффициента линейной регрессии; n – объем выборки значения числовой характеристики контролируемого параметра; S_0^2 – остаточная дисперсия эмпирических точек относительно линии регрессии; D_i – эмпирическая дисперсия пробега.

Расчетное значение t -критерия сравнивали с табличным $t_{\alpha, m}$ при уровне значимости $\alpha = 0,01$ и $m = n_1 + n_2 - 4$ степеням свободы [12]. Если $|t_{\alpha}| \geq t_{\alpha, m}$, то гипотезу $H_0^{(2)}$ отвергали, при $|t_{\alpha}| < t_{\alpha, m}$ – принимали. Опровержение гипотезы $H_0^{(2)}$ свидетельствует, что линии регрессии не параллельны и что их наклоны существенно различны, т. е. интенсивности износа бандажей локомотивов в сравниваемых вариантах различаются.

На основании проверки гипотез о равенстве остаточных дисперсий, угловых коэффициентов уравнений регрессии контролируемых параметров (проката и толщины бандажа) с различными значениями остаточного проката можно сделать вывод: износ бандажей в статистическом смысле не эквивалентен между собой. Числовые характеристики законов распределения контролируемых параметров существенно изменяются с увеличением пробега локомотивов, бандажи колесных пар которых имеют различные значения остаточного проката.

Следовательно, величина остаточного проката сильно влияет на интенсивность износа бандажей колесных пар. Первоначальный интенсивный износ полосы катания полностью обточенного бандажа (отсутствие остаточного проката) можно объяснить воздействием твердой поверхности рельса на неупрочненный бандаж, так как в начальный момент эксплуатации твердость поверхности рельса на 35–40 % превышает твердость бандажа [13].

При остаточном прокате 0,5 мм интенсивность нарастания проката (коэффициент B) уменьшается и наступает его стабилизация. В этом случае наблюдаются минимальная остаточная деформация, упрочнение поверхности катания бандажа, увеличивается сопротивление материала пластической деформации. При увеличении остаточного проката до 2 мм интенсивность нарастания проката увеличивается до $0,492 \text{ мм}/10^4 \text{ км}$ пробега. Это объясняется влиянием большой остаточной деформации, которая ведет к отслаиванию металла с поверхности катания, проскальзыванию колеса по рельсу.

На основании полученных зависимостей $M_y(L)$ и $\sigma_y(L)$ можно спрогнозировать процесс изнашивания и определить ресурс бандажей колесных пар [2].

Для прогнозирования процесса изнашивания и определения ресурса бандажей колесных пар с различным остаточным прокатом полученные зависимости экстраполировались в область больших значений пробега; предполагалось, что характер этих зависимостей не изменяется, т. е. изнашивание бандажей остается в пределах нормальной эксплуатации (рис. 1 и 2).

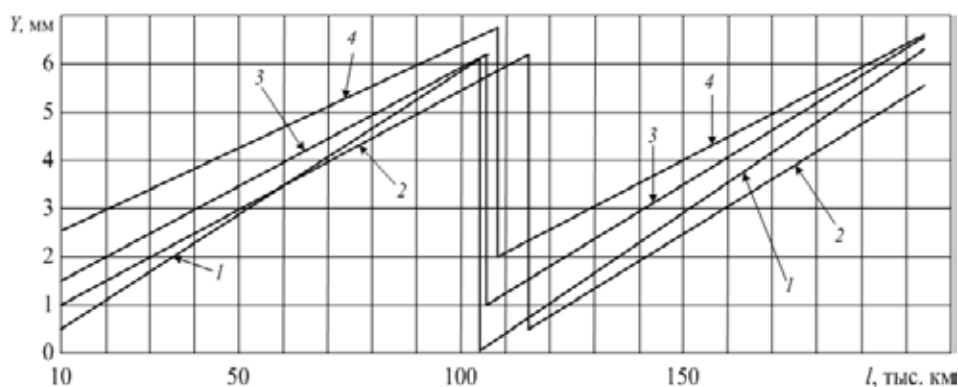


Рис. 1. Зависимости среднего значения проката бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 от пробега: 1, 2, 3, 4 – зависимости для соответствующих групп электровозов с остаточным прокатом 0, 0,5, 1,0, 2,0 мм соответственно

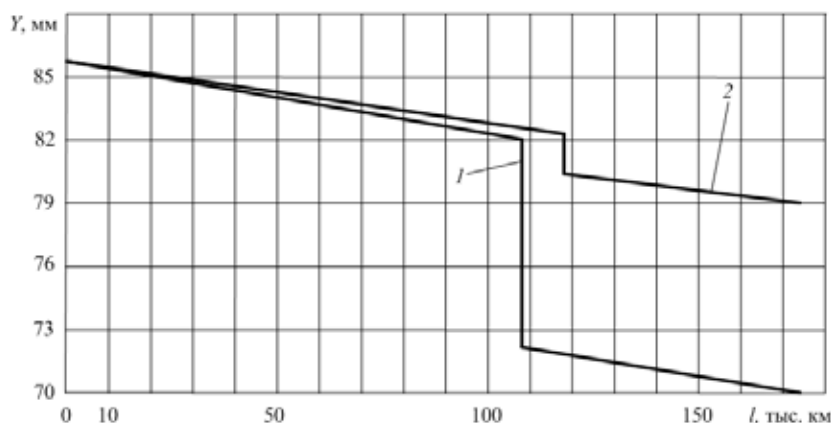


Рис. 2. Уменьшение толщины бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 при обточке без остаточного проката 1 и с остаточным прокатом 2

Результаты исследования

Результаты расчетов по прогнозированию ресурса бандажей сводим в табл. 2, определяем зависимости от величины остаточного проката ресурса бандажей до смены для электровозов ВЛ11 (рис. 3).

Как видно из табл. 2, прогнозируемый ресурс до смены бандажей при остаточном прокате 0,5 мм максимальный и равен 762 тыс. км, т. е. увеличен на 32 %. Количество обточек существенно возрастает: с пяти (полностью восстановленный профиль) до шести–семи (остаточный прокат 0,5 мм).

Поэтому целесообразно изменить технологию обточки бандажей колесных пар, оставляя при этом прокат 0,5 мм. Прокат 0,5 мм достигается такой глубиной резания, при которой на поверхности катания остается полоса (площадка) накатанного металла шириной до 20 мм. Через нее передаются как вертикальные, так и горизонтальные нагрузки.

Площадка отличается тем, что она имеет большие размеры и расположена под углом примерно 35–40° к оси (площадка контакта на гребне расположена под углом 65°). Скольжение при таком контакте значительно уменьшается. Меньше становятся и удельные давления, а следовательно, и износ. При таких условиях обточки технологический износ минимальный и ресурс бандажа до списания определяется только его естественным износом. Изменение технологии обточки бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 позволит эксплуатировать электровозы в локомотивном депо Свердловск-сортировочный до ремонта КР-1 и не производить замену бандажей колесных пар на ТР-3.

Таблица 2. Ресурс бандажей электровозов ВЛ11 с различным остаточным прокатом

Величина остаточного проката	90 %-ный ресурс бандажей, тыс. км	
	обточка по предельному прокату	смена по минимальной толщине
0	115	578
0,5	124	762
1,0	119	639
2,0	105	516

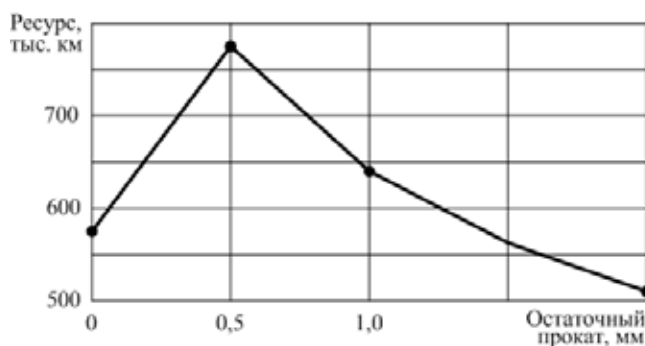


Рис. 3. Зависимость ресурса бандажей до смены от величины остаточного проката для электровозов ВЛ11

Величина остаточного проката 0,5 мм, установленная для электровозов локомотивного депо Свердловск-сортировочный, в других условиях может отличаться, однако аналогичные исследования позволят установить оптимальную величину остаточного проката для локомотивов любых серий, эксплуатируемых на разных железных дорогах.

Список литературы

- [1] Горский А.В. // Железнодорожный транспорт. 1991. № 1. С. 34–35.
- [2] Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
- [3] Буйносов А.П. // Транспорт Урала. 2011. № 1(28). С. 64–69.
- [4] Буйносов А.П. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2011. 44 с.
- [5] Буйносов А.П. // Путь и путевое хозяйство. 1999. № 5. С. 22–25.
- [6] Буйносов А.П., Худояров Д.Л. // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 63–68.
- [7] Буйносов А.П. // Локомотив. 2004. № 10. С. 25–26.
- [8] Буйносов А.П. // Железнодорожный транспорт. 1994. № 10. С. 39–41.
- [9] Буйносов А.П. // Локомотив. 1991. № 7. С. 35–36.
- [10] Буйносов А.П., Клинский В.С. // Железнодорожный транспорт. 1992. № 5. С. 45–46.
- [11] Буйносов А.П. // Транспорт Урала. 2009. № 4 (23). С. 53–54.
- [12] Буйносов А.П., Дибров С.А. // Железнодорожный транспорт. 1995. № 6. С. 39.
- [13] Медведев Н.Ф., Буйносов А.П. // Локомотив. 1989. № 6. С. 38–40.

Choice of Residual Hire of Bandages when Turning Wheelpairs of Electric Locomotives VL11

Alexander P. Buinsov

*Urals State University of Railway Transport (USURT),
66 Kolmogorov Str., Yekaterinburg, 620034 Russia*

In article results of experimental researches of a choice residual hire of bandages proceeding from criterion of the maximum resource before change of wheel pairs electric locomotives are stated. The technology of turning of wheel pairs is changed, leaving thus hire of 0,5 mm, thus predicted resource before change of bandages is increased by 32 % and allows to maintain electric locomotives VL11 in locomotive depot Sverdlovsk-sorting before repair KR-1 and not to make replacement of bandages of wheel pairs on TR-3.

Keywords: the Electric locomotive, wheel pair, a bandage, deterioration, controllable parametres, turning, residual hire, a resource.
