

УДК 629.421.1

## Наноматериал увеличивает ресурс бандажей колесных пар электроподвижного состава

**А.П. Буйносов, Н.Г. Фетисова**

*Ресурс бандажей колесных пар — один из главных факторов определения периода межремонтных пробегов электровозов и электропоездов. Однако в научной литературе не представлено эффективных методов, с помощью которых можно повысить долговечность бандажей. В статье представлены результаты стендовых испытаний и экспериментальных исследований применения наноматериала для повышения ресурса бандажей колесных пар электровозов и электропоездов, приведен минералогический состав мелкодисперсной многокомпонентной сухой смеси (наноматериала), предназначенной для изменения свойств рабочих поверхностей, в частности, снижения коэффициента трения, в процессе направленной ионной диффузии (давшему название составу НИОД) под воздействием контактных нагрузок. Выполнен сравнительный анализ долговечности бандажей колесных пар обработанных и необработанных триботехническим составом НИОД. Показана различная эффективность применения наноматериала в зависимости от серии электроподвижного состава. Результаты исследований могут быть использованы на предприятиях железнодорожного транспорта.*

**Ключевые слова:** электровоз, электропоезд, колесная пара, бандаж, наноматериал, ресурс, долговечность.

## A nanomaterial increases the lifetime of wheel pair treads of electric trains

**A.P. Buynosov, N.G. Fetisova**

*The lifetime of wheel pair treads is one of the main factors determining turn-arounds of electric locomotives and trains. However, scientific literature has not provided an effective technique to improve the endurance of treads. This paper presents the results of bench tests and experimental studies of nanomaterials used to increase the lifetime of wheel pair treads of electric locomotives and trains. The mineralogical composition of a fine dry multicomponent mixture (nanomaterial) is given. It is shown that this nanomaterial modifies the properties of working surfaces and, in particular, reduces the friction coefficient during the directed ion diffusion under contact loads. A comparative analysis of the endurance of wheel pair treads treated with this triboengineering compound and untreated ones is performed. It is proved that the efficiency of application of nanomaterials depends on the type of electric trains. The results of research can be used in railway transport enterprises.*



**БУЙНОСОВ**  
Александр Петрович  
(Уральский государственный университет путей сообщения)

**BUYNOSOV**  
Aleksandr Petrovich  
(Ekaterinburg, Russian Federation, Urals State University of Railway Transport)



**ФЕТИСОВА**  
Надежда Григорьевна  
(Уральский государственный университет путей сообщения)

**FETISOVA**  
Nadezhda Grigor'evna  
(Ekaterinburg, Russian Federation, Urals State University of Railway Transport)

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

**И**ntenсивный износ колесных пар электроподвижного состава, вызывающий значительные расходы и угрожающий безопасности движения, является серьезной проблемой на сети железных дорог России. В настоящее время срок службы бандажей колесных пар локомотивов не превышает 300...400 тыс. км, сократившись с начала 1980-х гг. более чем в 2 раза [1].

В принятых ОАО «РЖД» и Минтранс России стратегических направлениях научно-технического развития железнодорожного транспорта до 2030 г. повышение долговечности бандажей локомотивов занимает одно из ведущих мест — на первом этапе установлен ресурс бандажей не менее 600 тыс. км, а на втором этапе — не менее 1 млн км. Повышение ресурса колесных пар обозначено как одна из приоритетных задач [2].

Поскольку интенсивность износа рельсов и колесных пар локомотивов зависит от многих факторов, указанную проблему решают комплексно [3]. В частности проведены исследования по оценке эффективности лубрикации зоны контакта колеса с рельсом [4], влияния на величину износа твердости колес и рельсов [5], разности диаметров бандажей [6], применения рекуперативного торможения, перекоса колесных пар, состояния резиновых элементов сайлент-блоков, созданы технические средства оперативного контроля состояния ходовых частей подвижного состава и пути [7—9].

Однако принятые решения для улучшения условий взаимодействия в системе «колесо—рельс» (применение гребне- и рельсосмазывания [10], подбор профилей катания бандажа, упрочение гребней бандажей колесных пар [11], применение своевременного разворота локомотива, контроль качества производства ремонта колесных пар, подбор по жесткости поводков буксовых узлов, подбор диаметров колесных пар и др.) оказались недостаточными, поскольку износы продолжают оставаться на недопустимо высоком уровне [12]. В связи с этим необходимы новые решения, направ-

ленные на обеспечение устойчивого взаимодействия рассматриваемой системы в изменившихся и перспективных условиях.

Авторами предлагаемой статьи исследовано влияние применения наноматериала — триботехнического состава (ТС) НИОД на износостойкость гребней бандажей и ресурс колесных пар электроподвижного состава [13].

Триботехнический состав НИОД — мелкодисперсная многокомпонентная сухая смесь, полученная из сочетания различных минералов, основными из которых являются серпентин, энстанит и магнетит. Смесь этих минералов может также включать, по меньшей мере, один минерал, выбранный из группы минералов: амфибола, биотита, ильменита, пентландита, пирротина, талька, халькопирита или самородной серы, взятых в массовом соотношении, обеспечивающем следующий состав от массы в %: SiO — 30—40; MgO — 20—35; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 10—15; FeO — 4—6; Al<sub>2</sub>O<sub>2</sub> — 3—8; S — 2—6; а также сопутствующие примеси, содержащие V, Mn, Ni, Cr, Si, K, Ca, Co до 100%.

Смесь этих минералов предназначена для изменения свойств рабочих поверхностей, в частности, снижения коэффициента трения в процессе направленной ионной диффузии (давшему название составу НИОД) под воздействием контактных нагрузок. В отличие от лубрикации, рассматриваемый триботехнический состав после обработки не требует присутствия в паре трения.

#### Минералогический состав ТС НИОД

Минерал	Содержание, %
Серпентин (антгорит + хризотил) .....	66,9±0,4
Пирротин .....	3,1±0,3
Кварц .....	3,3±0,5
Сера самородная .....	4,4±0,4
Амфибол .....	2,0±1,0
Магнетит .....	11,4±0,3
Халькопирит .....	0,9±0,3

В Уральском государственном университете путей сообщения (УрГУПС) авторами данной статьи проведены стендовые испытания ТС

НИОД на стационарной машине трения СМТ-1, принцип действия которой заключается в истирании пары образцов, прижатых друг к другу определенными усилиями. Испытывались следующие пары трения типа «диск–диск»:

- 1) не обработанная ТС НИОД со смазкой ТАД-17И;
- 2) обработанная ТС НИОД со смазкой ТАД-17И;
- 3) обработанная ТС НИОД без смазки.

Усилия варьировались от минимального рабочего до запредельного. Твердость измерялась твердомером Роквелла, микротвердомером ПМТ-3 и электронным прибором неразрушающего контроля К-61 [14].

В результате экспериментальных исследований установлено наличие трех характерных зон — максимального и минимального значений температур и моментов трения (от 2 до 20 Н·м), указывающих на три стадии процесса: абразивное удаление дефектного поверхностного слоя с образованием ювенальной поверхности; дробление ТС НИОД с образованием свободных ионов, диффундирование их в поверхностный слой деталей и модификация поверхностей; удаление упрочненного слоя и дальнейшая приработка поверхностей. Выявлено позитивное влияние ТС НИОД как на время приработки пар трения и уменьшения температуры образцов и моментов трения, так и на изменение микроструктуры поверхностного слоя и триботехнических качеств поверхности во всем диапазоне нагрузок.

Для проведения эксплуатационных испытаний на железных дорогах авторами данной статьи разработана технология нанесения ТС НИОД на гребни бандажей колесных пар электроподвижного состава, опробированная на катковой станции кафедры «Электрическая тяга» УрГУПС. Найден оптимальный способ нанесения наноматериала на гребни — в виде наполнителя для угольных стержней. Определена оптимальная длина стержня — 120 мм, которая позволяет эксплуатировать электровазы и электропоезда до следующей обточки колесных пар без необходимости пополнения состава.

В результате обработки ТС НИОД на начальном этапе на поверхности гребня бандажа образуется стеклокерамическое покрытие, которое резко снижает коэффициент трения гребня бандажа и рельса. В процессе эксплуатации под действием высоких давлений, возникающих между колесом и рельсом, ТС НИОД внедряется в структуру металла, значительно увеличивая износостойкость гребня.

Разработанная технология обработки гребней ТС НИОД применена в ремонтных локомотивных депо Свердловск, Пермь, Зауралье и других на пассажирских электровозах ЧС2 и ЧС7, грузовых электровозах ВЛ10 и ВЛ11, электропоездах ЭР1, ЭР2, ЭТ2 и ЭД2Т. Это позволило оценить эффективность применения состава НИОД по интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар.

Выборки контролируемых параметров изнашиваемых узлов локомотивов хорошо описываются нормальным законом распределения, что не противоречит физике процесса. Плотность распределения

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-(y-M_y)^2 / (2\sigma_y^2)}, \quad (1)$$

где  $\sigma_y$  — среднеквадратическое отклонение контролируемого параметра;  $y$  — текущее значение контролируемого параметра;  $M_y$  — математическое ожидание контролируемого параметра.

Контролируемыми параметрами, характеризующими изнашивание и ресурс бандажей колесных пар, являются прокат, толщина гребня и толщина бандажа. При исследовании изменения контролируемых параметров рассматривались пробег  $L$ , отсчет которого производился от момента восстановления (обточка) конфигурации профиля бандажей, и условия эксплуатации электроподвижного состава. Измерения проводились при помощи прибора КИП-05 [15], относительная погрешность которого не превышает 10% [16].

Чтобы прогнозировать процесс изменения контролируемых параметров при больших значениях наработки с целью нахождения их ресурса были определены вид и параметры ана-

литических зависимостей числовых характеристик законов распределения контролируемых параметров рассматриваемых деталей и узлов.

На практике измерения контролируемых параметров оборудования электровозов производят обычно не чаще, чем на ТР-1, а приработка до первого ТР-1 успевают закончиться, поэтому статистические данные о значениях контролируемых параметров обычно не содержат информации о протекании процесса изнашивания в периоде приработки. Кроме того, допуски на значения контролируемых параметров устанавливаются так, чтобы предупредить наступление периода усиленного износа, поэтому наблюдение за износом заканчивается прежде, чем наступает этот период. Вследствие указанных причин, полученные на практике значения контролируемых параметров и эмпирические зависимости  $M_y(L)$  и  $\sigma_y(L)$  изнашиваемых деталей локомотивов хорошо описываются линейными функциями, т. е. аппроксимирующая функция имеет вид  $y = aL + b$ . Критерием соответствия аппроксимирующей функции эмпирическим зависимостям является минимум суммы квадратов отклонений эмпирической и теоретической функций. В качестве примера в таблице приведены коэффициенты уравнений регрессии проката бандажей электровозов ЭД2Т (депо Нижний Тагил), полученные в результате расчетов.

**Результаты расчета коэффициентов уравнений регрессии проката бандажей электровозов в депо Нижний Тагил**

Зависимость	Коэффициент уравнения		Коэффициент корреляции $R_{y1}$	90%-ный ресурс до обточки бандажей, тыс. км
	$a$ , мм/10 <sup>4</sup> км	$b$ , мм		
<i>Необработанные наноматериалом</i>				
$M_y(L)$	0,495	0,0015	0,984	61,1
$\sigma_y(L)$	0,675	0,0001	0,954	
<i>Обработанные наноматериалом</i>				
$M_y(L)$	0,292	0,0466	0,919	125,0
$\sigma_y(L)$	0,266	0,0239	0,972	

Зависимости среднего значения проката бандажей колесных пар от пробега и среднеквадратического отклонения от пробега показаны соответственно на рис. 1 и 2.

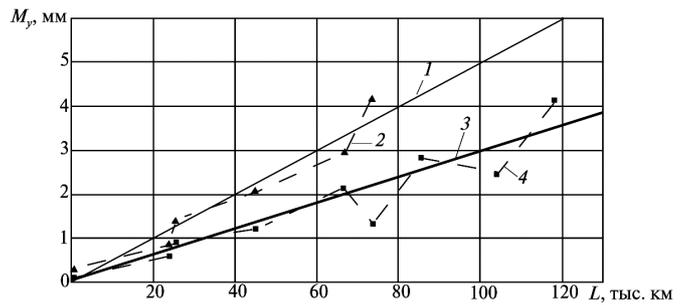


Рис. 1. Зависимость проката бандажей колесных пар электровозов ЭД2Т от наработки:

1 (—) —  $M_y(L)$ ; 2 (-▲-) —  $M_y^*(L)$ ; 3 (—) —  $M_y(L)$ ; 4 (-■-) —  $M_y^*(L)$ ;  
1, 2 — без использования ТС НИОД; 3, 4 — с обработкой ТС НИОД

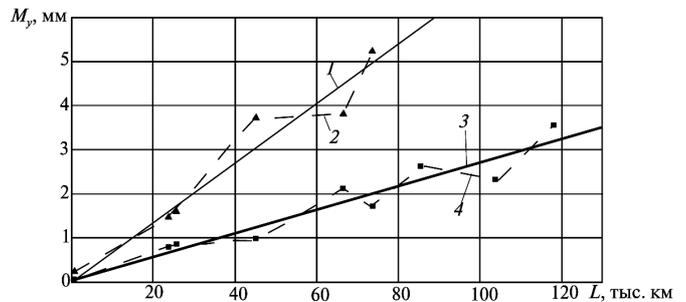


Рис. 2. Зависимость среднеквадратического отклонения проката бандажей колесных пар электровозов ЭД2Т от наработки:

1 (—) —  $\sigma_y(L)$ ; 2 (-▲-) —  $\sigma_y(L)$ ; 3 (—) —  $\sigma_y(L)$ ; 4 (-■-) —  $\sigma_y^*(L)$ ;  
1, 2 — без использования ТС НИОД; 3, 4 — с обработкой ТС НИОД

Полученные эмпирические зависимости использованы для прогнозирования процесса изнашивания, расчета функций распределения ресурса и определения 90%-ного ресурса бандажей.

Значения всех коэффициентов корреляции полученных аналитических зависимостей изменения значений контролируемых параметров бандажей обработанных и необработанных составом НИОД составляют 0,757—0,999, что свидетельствует об адекватности линейной аппроксимации, т. е. о достаточно тесной линейной связи контролируемых параметров с величиной пробега  $L$ .

Результаты исследований подтверждают, что с увеличением пробега  $L$  возрастает вероят-

ность отказа  $P$  и, соответственно, уменьшается вероятность безотказной работы. Для износа гребня вероятность отказа при заданном пробеге

$$P(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{y_{\text{доп}}}^{M_y + 3\sigma_y} \frac{1}{\sigma_y(L)} e^{-\frac{(X - M_y(L))^2}{2\sigma_y^2(L)}} dy. \quad (2)$$

Если заменять изношенный бандаж при работе (пробеге), не превышающей 90%-ного ресурса ( $P = 0,1$ ), то вероятность отказа бандажа в межремонтном периоде не превысит 10%, а отклонение межремонтного пробега от установленной величины также окажется в пределах  $\pm 10\%$ , т. е. находится в соответствии с относительной погрешностью применяемого в локомотивных депо измерительного инструмента. Поэтому целесообразно ограничить межремонтные пробеги 90%-ным ресурсом [17, 18].

Результаты расчетов свидетельствуют о низком эффекте (1,01–1,16 раз) увеличения ресурса бандажей грузовых электровозов (ВЛ10 и ВЛ11) от обработки наноматериалом гребней колесных пар, что объясняется наличием на них гребневых тормозных колодок. Триботехнический состав НИОД не успевает диффундировать в структуру металла на достаточную глубину и образовавшееся при обработке «карандашом» керамическое покрытие разрушается при торможении гребневой колодкой. При периодическом воздействии на гребень бандажа колодкой образуются риски и задиры, термотрещины и выбоины, а при большом тормозном усилии развивается юз колесных пар, особенно на критических участках пути при значительных непогашенных ускорениях и обработка наноматериалом становится малоэффективной.

Однако применение ТС НИОД на электропоездах (ЭР1, ЭР2, ЭТ2 и ЭД2Т) и пассажирских электровозах (ЧС2 и ЧС7) позволило увеличить ресурс бандажей до обточки в 1,4–2,41 раза. Установлено, что чем толще бандаж электровозов ЧС2, тем эффективнее обработка гребней наноматериалом.

## Выводы

1. Разработанные конструкторско-технологические решения по нанесению состава наноматериала на гребни бандажей позволили эксплуатировать электровозы и электропоезда до следующей обточки колесных пар без необходимости пополнения состава.

2. Выявлен относительно низкий эффект увеличения ресурса бандажей грузовых электровозов ВЛ10 и ВЛ11 от обработки наноматериалом гребней колесных пар, что объясняется наличием на локомотивах гребневых тормозных колодок.

3. Применение наноматериала на электропоездах (ЭР1, ЭР2, ЭТ2 и ЭД2Т) и пассажирских электровозах (ЧС2 и ЧС7) позволило увеличить ресурс бандажей моторных вагонов до обточки в 1,4–2,41 раза.

## Литература

- [1] Горский А.В., Буйносов А.П. Анализ износа бандажей. *Железнодорожный транспорт*, 1991, № 1, с. 46–47.
- [2] Буйносов А.П., Пышный И.М. Результаты применения нанопористового антифрикционного покрытия на повышение ресурса колесных пар промышленных электровозов. *Научно-технический вестник Поволжья*, 2012, № 6, с. 155–158.
- [3] Буйносов А.П. Снизить интенсивность износа гребней. *Локомотив*, 1995, № 6, с. 31–32.
- [4] Буйносов А.П., Дибров С.А. Обеспечение эффективного смазывания бандажей локомотивов. *Железнодорожный транспорт*, 1994, № 11, с. 60–61.
- [5] Буйносов А.П. Оценка применяемых материалов бандажей колесных пар и рельсов. *Тяжелое машиностроение*, 2000, № 11, с. 16–20.
- [6] Горский А.В., Буйносов А.П., Наговицын В.С., Клинский В.С. Экономичная обточка. *Локомотив*, 1992, № 4, с. 26–27.
- [7] Буйносов А.П. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов в результате изменения технологии их обточки. *Автоматизация и современные технологии*, 1992, № 8, с. 23–25.
- [8] Буйносов А.П. Влияние условий эксплуатации на износ бандажей. *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 Radlaufflächen im Betriebseinsatz und deren Auswirkungen auf das Fahrzeugverhalten. *Annalen*, 1998, no. 11, ss. 7–9.
- [11] Pefiffer H., Solf W. Fortentwicklung des Fristensystems für die Instandhaltung elektrischer Triebfahrzeuge in den Wertstätten des Betriebsmaschinenendienstes des Deutschen Bundesbahn. *Elektrische Bahnen*, 1978, № 7, pp. 179–186.
- [12] Буйносов А.П., Тихонов В.А. Методика прогнозирования ресурса бандажей колесных пар локомотивов. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2012, № 5, с. 136–144.

[13] Буйносов А.П., Кузьмин К.А. Обработка бандажей составом НИОД. *Локомотив*, 1996, № 3, с. 25–26.

[14] Буйносов А.П., Кирель Л.А., Наговицин В.С. Создан прибор неразрушающего магнитного контроля. *Локомотив*, 2000, № 6, с. 24–25.

[15] Буйносов А.П., Трофимов М.Н., Цихалевский И.С. Новый измерительный прибор. *Локомотив*, 1998, № 6, с. 40–41.

[16] Буйносов А.П., Стаценко К.А., Фетисова Н.Г. Автоматизированные системы для контроля геометрических параметров колесных пар. *Сб. науч. тр. Уральского государственного университета путей сообщения*, 2008, № 68, с. 19–31.

[17] Горский А.В., Буйносов А.П., Боярских Г.С., Лавров В.А. Бандажи и рельсы (опыт Свердловской дороги). *Локомотив*, 1992, № 4, с. 25–26.

[18] Буйносов А.П. *Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения*. Екатеринбург, УрГУПС, 2009. 224 с.

## References

[1] Gorskii A.V., Buinosov A.P. Analiz iznosa bandazhei [Analysis of wear bandages]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Rail Transport]. 1991, no. 1, pp. 46–47.

[2] Buinosov A.P., Pyshnyi I.M. Rezul'taty primeniia nanoporistovogo antifriktsionnogo pokrytiia na povyshenie resursa kolesnykh par promyshlennykh elektrovozov [Results of application of nanoporistovogo of the antifrictional covering on increase of the resource of wheel couples of industrial electric locomotives]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga]. 2012, no. 6, pp. 155–158.

[3] Buinosov A.P. Snizit' intensivnost' iznosa grebnei [Lower the intensity of wear ridges]. *Lokomotiv* [Locomotive]. 1995, no. 6, pp. 31–32.

[4] Buinosov A.P., Dibrov S.A. Obespecheniie effektivnogo smazyvaniia bandazhei lokomotivov [Ensure effective lubrication bandages locomotives]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Rail transport]. 1994, no. 11, pp. 60–61.

[5] Buinosov A.P. Otsenka primeniiaemykh materialov bandazhei kolesnykh par i rel'sov [Evaluation of the materials used bandages wheels and rails]. *Tiazheloe mashinostroenie* [Heavy Engineering.]. 2000, no. 11, pp. 16–20.

[6] Gorskii A.V., Buinosov A.P., Nagovitsyn V.S., Klinskii V.S. Ekonomichnaia obtochka [Cost-turning]. *Lokomotiv* [Locomotive]. 1992, no. 4, pp. 26–27.

[7] Buinosov A.P. Povyshenie resursa bandazhei kolesnykh par elektrovozov v rezul'tate izmeneniia tekhnologii ikh obtochki [Improving resource bandages wheelsets locomotives due to changes in the technology of their turning]. *Avtomatizatsiia i sovremennye tekhnologii* [Automation and modern technology]. 1992, no. 8, pp. 23–25.

[8] Buinosov A.P. Vliianie uslovii ekspluatatsii na iznos bandazhei [Effect of operating conditions on the wear bandages]. *Lokomotiv* [Locomotive]. 1995, no. 1, pp. 33–34.

[9] Hartmann H., Schunke H. Multipurpose locomotive class 145 of Deutsche Bahn. *Elektrische Bahnen*, 1997, vol. 95, issue 11, pp. 287–296.

[10] Müller R. Veränderung von Radlaufflachen im Betriebseinsatz und deren Auswirkungen auf das Fahrzeugverhalten. *ZEV+DET Glasers Annalen*, 1998, 122, no. 11, pp. 675–688.

[11] Pefiffer H., Solf W. Fortentwicklung des Fristensystems für die Instandhaltung elektrischer Triebfahrzeuge in den Wertstätten des Betriebsmaschinenendienstes des Deutschen Bundesbahn [Continuous Development of the Periodic Repair System for the Maintenance of Electric Traction Units in the Workshops of the Operating Machine Service of the West German Railroad System]. *Elektrische Bahnen* [Electric railroads]. 1978, no. 7, pp. 179–186.

[12] Buinosov A.P., Tikhonov V.A. Metodika prognozirovaniia resursa bandazhei kolesnykh par lokomotivov [Technique of forecasting of the resource of bandages of wheel pairs of locomotives]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and applied problems engineering and technology]. 2012, no. 5, pp. 136–144.

[13] Buinosov A.P., Kuz'min K.A. Obrabotka bandazhei sostavom NIOD [Processing bandages composition NIOD]. *Lokomotiv* [Locomotive]. 1996, no. 3, pp. 25–26.

[14] Buinosov A.P., Kirel' L.A., Nagovitsyn V.S. Sozdan pribor nerazrushaiushchego magnitnogo kontroliia [Created unit of magnetic non-destructive inspection]. *Lokomotiv* [Locomotive]. 2000, no. 6, pp. 24–25.

[15] Buinosov A.P., Trofimov M.N., Tsikhalevskii I.S. Novyi izmeritel'nyi pribor [New measuring device]. *Lokomotiv* [Locomotive]. 1998, no. 6, pp. 40–41.

[16] Buinosov A.P., Statsenko K.A., Fetisova N.G. Avtomatizirovannye sistemy dlia kontroliia geometricheskikh parametrov kolesnykh par [Automated systems for the control of the geometric parameters of wheel sets]. *Sbornik nauchnykh trudov Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniia* [Collection of scientific papers Ural State University of Railway Transport]. 2008, no. 68, pp. 19–31.

[17] Gorskii A.V., Buinosov A.P., Boiarskikh G.S., Lavrov V.A. Bandazhi i rel'sy (opyt Sverdlovskoi dorogi) [Bandages and rails (the experience of the Sverdlovsk road)]. *Lokomotiv* [Locomotive]. 1992, no. 4, pp. 25–26.

[18] Buinosov A.P. *Osnovnye prichiny intensivnogo iznosa bandazhei kolesnykh par podvizhnogo sostava i metody ikh ustraneniia* [The main reasons for the intensive wear bandages wheelset rolling stock and troubleshooting]. Екатеринбург, Ural State University of Railway Transport publ., 2009. 224 p.

Статья поступила в редакцию 23.10.2013

## Информация об авторах

**БУЙНОСОВ Александр Петрович** (Екатеринбург) — доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая тяга». Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС) (620034, Екатеринбург, Российская Федерация, ул. Колмогорова, 66, e-mail: byinosov@mail.ru).

**ФЕТИСОВА Надежда Григорьевна** (Екатеринбург) — старший преподаватель кафедры «Электрическая тяга». Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС) (620034, Екатеринбург, Российская Федерация, ул. Колмогорова, 66, e-mail: NFetisova@et.usurt.ru).

## Information about the authors

**BUYNOSOV Aleksandr Petrovich** (Ekaterinburg) — Dr. Sc. (Eng.), Professor of «Electrical Traction» Department. Urals State University of Railway Transport (USURT, Kolmogorova str., 66, 620034, Ekaterinburg, Russian Federation, e-mail: byinosov@mail.ru).

**FETISOVA Nadezhda Grigor'evna** (Ekaterinburg) — Senior Lecturer of «Electric Traction» Department. Urals State University of Railway Transport (USURT, Kolmogorova str., 66, 620034, Ekaterinburg, Russian Federation, e-mail: NFetisova@et.usurt.ru).