

DOI: 10.15593/24111678/2018.04.07

УДК 629.4-592

А.А. Климов¹, А.В. Стручков²

¹Красноярский институт железнодорожного транспорта
(филиал Иркутского государственного университета путей сообщения), Красноярск, Россия

²Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ТРИБОЛОГИЧЕСКОЙ ПАРЫ «БАНДАЖ – ТОРМОЗНАЯ КОЛОДКА» НА РЕСУРС БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Изложены материалы анализа влияния ресурсосберегающих технологий и оптимизации работы трибологической пары «бандаж – тормозная колодка» на ресурс бандажей колесных пар тягового подвижного состава. Применяемые на полигоне Красноярской железной дороги ресурсосберегающие технологии за 20 лет позволили повысить ресурс бандажей колес локомотивов грузового движения в 1,5–2,0 раза при достаточно высоком инвестиционном уровне. Достигнутые показатели за последние 7–9 лет стабилизировались, что показало необходимость применения новых технологий. В качестве альтернативы предложено обратить внимание на работу трибологической пары «бандаж – тормозная колодка», в которой, кроме расходной части колодки, подвергаются износу и элементы бандажа. Оптимизация работы трибологической пары «бандаж – тормозная колодка» является одним из серьезнейших направлений дальнейшего повышения ресурса бандажей колесных пар локомотивов. Для выявления доли износа бандажей тормозными колодками были проведены эксплуатационные испытания трех групп тормозных колодок – стандартных пониженной твердости, стандартных повышенной твердости и экспериментальных (со структурой феррито-графитовой) на трех тепловозах грузового движения на перегонах станции Ачинск. Эксплуатационные исследования показали, что износ бандажей в совершенно идентичных условиях зависит как от твердости тормозных колодок, так и от их микроструктуры. При сравнимом ресурсе тормозных колодок износ бандажей колесных пар локомотивов экспериментальными колодками, имеющими феррито-графитовую микроструктуру, оказался в два раза меньшим. Результаты исследований позволяют заключить, что переход на феррито-графитовую микроструктуру чугуна тормозной колодки обеспечивает, за счет снятия внутренних напряжений, отбела и повышенного содержания графита, более стабильную работу трибологической пары.

Ключевые слова: ресурсосберегающие технологии, бандажи колесных пар, термическое упрочнение, локомотивные тормозные колодки, микроструктура чугуна, твердость, износ, графит, феррит, ресурс бандажей, ресурс тормозных колодок.

A.A. Klimov¹, A.V. Struchkov²

¹Krasnojarskij Institute of Railway Transport (Branch of Irkutsk State University of Railway Transport),
Krasnoyarsk, Russian Federation

²Siberian State University of Science and Technology named after Academician M. F. Reshetnev,
Krasnoyarsk, Russian Federation

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES AND OPTIMIZATION OF THE TRIBOLOGICAL PAIR "TYRE – BRAKE PAD" ON A LIFE OF WHEEL PAIR BANDS OF A TRACTION ROLLING STOCK

In the paper the analysis of the influence of resource-saving technologies and optimization of the tribological pair "tyre – brake pad" on a life of wheel pair tyres of a traction rolling stock is presented. Resource-saving technologies applied at the Krasnoyarsk railway site over twenty years have allowed increasing the life of tyres of locomotive wheels of freight traffic by 1.5-2.0 times with a sufficiently high investment level. The performance indicators achieved in the last seven to nine years have stabilized, which showed the need for the use of new technologies. As an alternative, it was proposed to pay attention to the work of the tribological pair "tyre – brake pad", in which, in addition to the wear of the consumable part of

the pads, the elements of the tyre also wears out. Optimization of the work of the tribological pair "tyre – brake pad" is one of the most important directions for further enhancing the resource of the tyres of the locomotives wheel pairs. To identify the share of wear of tyres by the brake pads, operational tests of the three groups of brake pads were conducted — standard break pads with reduced hardness, standard break pads with increased hardness and experimental break pads (with ferrite-graphite structure) on three locomotives of freight traffic at the Achinsk station. Operational studies have shown that the wear of tyres in absolutely identical conditions depends on both the hardness of the brake pads and their microstructure. With a comparable resource of brake pads, the wear of the tyres of wheel pairs of locomotives by experimental pads having a ferrite-graphite microstructure proved to be two times smaller. The research results allow concluding that the transition to the ferrite-graphite microstructure of cast iron brake pads ensures, due to the removal of internal stress, chill and high content of graphite, a more stable operation of the tribological pair.

Keywords: resource-saving technologies, tyres of wheel pairs, thermal hardening, locomotive brake pads, microstructure of cast iron, hardness, wear, graphite, ferrite, tyres life, brake pads life.

Введение

Основным показателем, характеризующим эффективность применяемых мер по снижению износов локомотивных колес, является фактический ресурс бандажа локомотива, учитывающий потери металла бандажа не только при эксплуатации колесных пар, но и при их обточке, с применением ресурсосберегающей технологии.

Статистический анализ влияния ресурсосберегающих технологий, применяемых на полигоне Красноярской железной дороги за период с 1995 по 2016 г., показал, что их использование позволило повысить ресурс бандажей колесных пар тягового подвижного состава в 1,5–2,0 раза – с 300 до 600 тыс. км, в первую очередь за счет применения комплекса технических средств лубрикации, технологии термического упрочнения гребней колесных пар грузовых локомотивов, ресурсосберегающей технологии при производстве обточек колесных пар.

Анализ влияния применяемых ресурсосберегающих технологий на ресурс бандажей

Начиная с середины 1990-х гг. на полигоне Красноярской железной дороги эксплуатировалось до 18 единиц передвижных рельсосмазывателей системы ВНИТИ на базе электровозов серии ВЛ60к и тепловозов серии ТЭМ2 приписки локомотивных депо (на рельсовой смазке РС-6 «В»).

Существенным недостатком конструкции рельсосмазывателей ВНИТИ было отсутствие возможности нанесения смазки на скоростях выше 60 км/ч.

Повышение интенсивности перевозочного процесса и растущая доля тяжеловесных поездов в начале 2000-х гг. потребовали применения высокоэффективных антифрикционных, износостойких смазочных материалов и совершенствования систем и технологий их нанесения в зону контакта гребней колес подвижного состава с боковой поверхностью рельсов. Применяемая на дороге технология лубрикации рельсов рельсосмазывателями системы ВНИТИ на смазке РС-6 «В» уже не обеспечивала нормируемые показатели смазывания [1].

Первой мерой по переводу технологии лубрикации на более эффективные смазочные материалы было применение в 2005–2007 гг. рельсосмазывателей системы РС-2 конструкции ВНИИЖТ с бесконтактной форсуночной системой нанесения смазки ПУМА взамен рельсосмазывателей конструкции ВНИТИ. Это обеспечило возможность нанесения смазки как на боковые грани рельсов в кривых участках пути, так и на острия стрелочных переводов с установленной скоростью, но не решило проблему выполнения графика движения рельсосмазывателей, для чего по-прежнему требовалось выделение отдельной графиковой нити.

С 2012 г. за счет сетевой Программы ресурсосбережения на дорогу начали поступать вагоны-рельсосмазыватели производства ЗАО «Фирма Твема», наносящие рельсовую смазку МС-27. Применение вагонов взамен локомотивов позволило организовать стопроцентное выполнение графика движения рельсосмазывателей с нанесением рельсовой смазки два раза в сутки и высвобождением графиковых ниток, занятых ранее локомотивами-рельсосмазывателями [1].

В настоящее время на полигоне Красноярской железной дороги установленную технологию лубрикации обеспечивают 4 собственных вагона-рельсосмазывателя, эксплуатирующиеся в составе местных поездов, главный ход Мариинск – Юрты прикрыт сетевыми вагонами-рельсосмазывателями. Кроме того, на малодеятельных участках задействованы 1 локомотив-рельсосмазыватель и 2 мобильных рельсосмазывателя на комбинированном ходу МРК-1.

Для снижения интенсивности износов гребней колесных пар грузовых локомотивов на дороге используется технология их термического упрочнения на установках УМПУ. В настоящий момент в границах железной дороги эксплуатируется пять установок магнитно-плазменного упрочнения колесных пар: однопостовая установка УМПУ-1 для магнитоплазменного упрочнения гребней с выкаткой колесных пар из-под локомотива в сервисном локомотивном депо Канск – Иланский; двухпостовые установки УМПУ-2 для магнитоплазменного упрочнения гребней без выкатки колесных пар из-под локомотива в сервисных локомотивных депо: Канск – Иланский, Боготол – Сибирский, Абакан [1].

С учетом обозначенных выше трудностей выполнения графика движения локомотивов-рельсосмазывателей, особенно во время проведения летних путевых работ, термическое упрочнение гребней оказывало существенное влияние на снижение обточек бандажей по причине тонкого гребня.

Существует ряд технических требований, не позволяющих обеспечить стопроцентное упрочнение гребней бандажей колесных пар локомотивов после их механической обработки: не допускается проводить термическое упрочнение при наличии на обточенном гребне чернотины; колесная пара, поступающая на термическое упрочнение, должна иметь температуру бандажа не менее 5 °С. По этим и ряду других причин добиться ритмичной работы установок магнитно-плазменного упрочнения крайне сложно, в разные годы упрочнялось от нескольких сотен до 3900 колесных пар локомотивов.

Ресурсосберегающая технология предполагает поддерживать толщину гребней в интервале оптимальных величин, при этом толщина снимаемой стружки, потребная для восстановления гребня, не превышает 1,5 мм на 1 мм восстанавливаемого гребня.

Практика эксплуатации локомотивов с различными размерами гребней за период с 1994 г. показала, что при толщине гребней колесных пар от 26 до 29 мм интенсивность их износа минимальная и практически постоянная. При увеличении толщины гребней выше 29 мм, а также снижении ниже 26 мм интенсивность их износа при тех же условиях эксплуатации резко возрастает и достигает максимальной величины при толщине гребня 33 мм. Исходя из этого, оптимальной толщиной гребня при его восстановлении во время обточки на дороге принят норматив 28 мм, а интервалом поддержания толщины гребня между обточками – зона минимальной интенсивности его износа 26–29 мм [1].

При восстановлении гребня с начальной толщиной 26 мм до 29 мм требуется при обточке уменьшить толщину бандажа на 4,5 мм и соответственно с начальной толщиной 26 мм до 33 мм – 10,5 мм, т.е. в 2,3 раза больше.

Следовательно, восстановление гребня до толщины 33 мм по сравнению с оптимальным значением 28 мм приводит к снижению ресурса колесной пары почти в 2 раза, поэтому обточка на толщину 33 мм предусмотрена технологией только для колесных пар, у которых произведена смена бандажей.

Применение ресурсосберегающей технологии обточки невозможно без системы измерений колесных пар, позволяющей своевременно выявлять и обтачивать каждую колесную пару, находящуюся в эксплуатации с предельно допустимыми параметрами. Наглядный пример – осуществленный в декабре 2006 г. переход на замеры параметров бандажей колесных пар с использованием шаблона УТ-1 взамен И433.

Шаблон УТ-1 исключен Указанием МПС России № К-2273у (Инструкция от 14.06.1995 № ЦТ-329) и вновь введен Инструкцией ОАО «РЖД» от 27.12.2005 – КМБШ взамен шаблона И433.

Шаблон УТ-1 производят замеры высоты, толщины гребня и параметров крутизны, а шаблоном И433 измеряли толщину гребня и прокат. В результате при переходе с шаблона И433 на УТ-1 обточка производилась без учета проката исходя из высоты гребня. При этом для увеличения толщины гребня с поверхности катания бандажа снимался дополнительно слой металла порядка 2–3 мм и убирался естественный накат (черновина). При использовании шаблона И433 увеличение толщины гребня происходит за счет приведения профиля бандажа к чертежным размерам, без снятия металла с круга катания, и сохраняется черновина.

В результате применения ресурсосберегающей технологии при производстве обточек колесных пар локомотивов в условиях перехода на замеры параметров бандажей шаблоном УТ-1 взамен И433 снижен удельный износ гребней колесных пар локомотивов всех серий. Средний ресурс бандажей колесных пар электровозов, отбракованных по толщине, увеличен до 515 тыс. км, против 497 тыс. км, по магистральным тепловозам ресурс бандажей колесных пар сохранен на уровне 2006 г. – 423 тыс. км (2006 г. – 419 тыс. км) [1].

С учетом опыта применения ресурсосберегающей технологии при производстве обточек колесных пар, решение проблемы снижения износов в контакте колесо – рельс связано с выбором оптимального профиля для обточки бандажей [2–17].

Перечисленные меры по снижению износов в контакте колесо – рельс позволили снизить интенсивность износа гребней бандажей колесных пар грузовых электровозов (табл. 1) с 1,43 мм/10 тыс. км в 1995 г. до 0,36 мм/10 тыс. км в 2016 г. Ресурс бандажей колесных пар грузовых электровозов увеличен с 243 до 625 тыс. км [1, 18].

Таблица 1

Снижение удельного износа гребня бандажа колесных пар грузовых электровозов

Год	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Удельный износ гребня, мм/10 000 км	1,43	0,71	0,54	0,47	0,46	0,44	0,42	0,41	0,45	0,47	0,46
Ресурс бандажа, тыс. км	243	266	284	292	314	328	345	430	463	493	494
Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Удельный износ гребня, мм/10 000 км	0,46	0,39	0,36	0,36	0,35	0,39	0,35	0,39	0,33	0,33	0,36
Ресурс бандажа, тыс. км	497	519	629	633	651	630	634	637	632	633	625

По магистральным тепловозам интенсивность износа гребней бандажей колесных пар снижена с 1,15 мм/10 тыс. км в 1995 г. до 0,19 мм/10 тыс. км в 2016 г. Ресурс бандажей колесных пар магистральных тепловозов увеличен с 193 до 466 тыс. км (табл. 2) [19].

Таблица 2

Снижение удельного износа гребня бандажа колесных пар магистральных тепловозов

Год	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Удельный износ гребня, мм/10 000 км	1,15	0,78	0,56	0,52	0,49	0,45	0,44	0,42	0,40	0,39	0,36
Ресурс бандажа, тыс. км	191	243	296	310	314	411	406	372	399	219	417
Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Удельный износ гребня, мм/10 000 км	0,34	0,29	0,29	0,29	0,27	0,31	0,30	0,29	0,19	0,19	0,19
Ресурс бандажа, тыс. км	422	433	438	460	471	454	455	462	464	463	466

Анализ представленных показателей износа бандажей колесных пар локомотивов показывает стабильные значения за последние 7 лет. Представляется невозможным дальнейшее снижение износов в контакте колесо – рельс существующими инструментами. Для дальнейшего роста ресурса бандажей требуется применение других решений.

Исследования

Одним из серьезнейших направлений дальнейшего повышения ресурса бандажей колесных пар локомотивов является оптимизация работы трибологической пары «бандаж – тормозная колодка». Результаты исследований влияния материала тормозных колодок на износ бандажей колесных пар электровоза-толкача [19–22] трех групп колодок: стандартных повышенной твердости, стандартной пониженной твердости и экспериментальной с измененной микроструктурой – показали, что износ бандажей в совершенно идентичных условиях зависит как от твердости стандартных колодок, так и от состава микроструктуры. За 40 дней испытаний износ бандажей по толщине твердыми колодками составил 4 мм, мягкими – 2,8 мм, а экспериментальными (со структурой феррит + графит) – 0,8 мм.

Полученные данные явились основой для дальнейших исследований. В 2017 г. были проведены испытания влияния твердости и микроструктуры тормозных колодок на ресурс бандажей колесных пар магистральных тепловозов на наиболее проблемном участке Красноярской железной дороги, обслуживаемом локомотивным депо Ачинск.

Для исследований были отобраны три группы тормозных локомотивных колодок, по 48 штук в каждой:

- мягкие со стандартной структурой – средняя твердость 229НВ;
- твердые со стандартной структурой – средняя твердость 312НВ;
- экспериментальные со структурой «феррит + графит» – средняя твердость 236НВ.

Отобранные колодки были установлены:

- группа стандартной твердости низкого диапазона – на тепловозе **2ТЭ10М** № 2760.
- группа стандартной твердости высокого диапазона – на тепловозе **2ТЭ10М** № 3045.
- экспериментальные – на тепловозе **2ТЭ10М** № 2758.

Указанные тепловозы работали на грузовом движении перегона Ачинск – Лесосибирск в период с мая по декабрь 2017 г.

Замеры износа бандажей производились на ТО-3 – в начале и в конце испытаний, замеры износов по толщине тормозных колодок производились на промежуточных ТО и по окончании работы на отработанных колодках.

По результатам испытаний были получены данные по интенсивности износов материала тормозных колодок и бандажей колесных пар тепловозов (табл. 3).

Таблица 3

Сводные данные по износам тормозных колодок

Группа колодок	Общий пробег тепловоза, км	Дневной пробег тепловоза за время испытаний, км	Пробег колодок в среднем, км	Средний износ колодок, мм	Удельный износ колодок, мм/км
Твердые	7500	228	7500	11,5	0,00153
Мягкие	16 163	257	8358	22,7	0,00276
Экспериментальные	11 965	272	8495	22,4	0,00255

Полученные данные показывают, что износ материала колодок зависит от их твердости. При этом наибольший пробег за период между ТО-3 обеспечили экспериментальные колодки (рис. 1). Следует отметить, что общий пробег за указанный период имеет большой разброс, поэтому большая часть колодок была заменена досрочно. Это указывает на то, что средний ресурс тормозных колодок при эксплуатации тепловозов составляет около 8000 км.

Если принять удельный износ твердых колодок за 100 %, то износ мягких колодок составил 181 %, а износ экспериментальных колодок – 167 % (рис. 2).

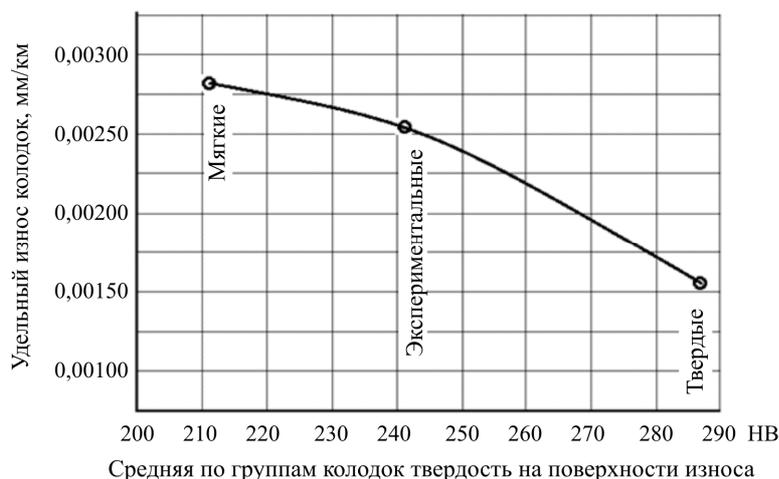


Рис. 1. Зависимость удельного износа тормозных колодок от средних значений твердости по группам

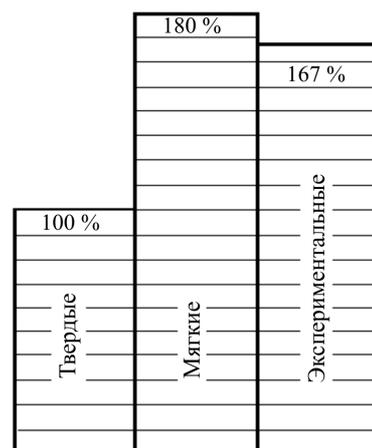


Рис. 2. Износ тормозных колодок по толщине

Сводные данные по износу бандажей колесных пар тепловозов (табл. 4) показывают, что износ бандажей колес по толщине находится в прямой зависимости от твердости тормозных колодок. При этом износ бандажей колодками экспериментальной группы значительно ниже стандартных и его параметры выпадают из общих тенденций.

Таблица 4

Сводные данные по износу бандажей

Группа колодок	Доля пробега испытываемыми колодками	За срок испытаний		С учетом доли участия колодок в износе бандажей	
		Удельный износ бандажа по толщине, мм/км	Удельный износ гребня, мм/км	Удельный износ бандажа по толщине, мм/км	Удельный износ гребня, мм/км
Твердые	1,0	0,0000509	0,0000485	0,0000509	0,0000485
Мягкие	0,51	0,000094	0,000102	0,000048	0,000052
Экспериментальные	0,71	0,0000331	0,0000261	0,0000235	0,0000183

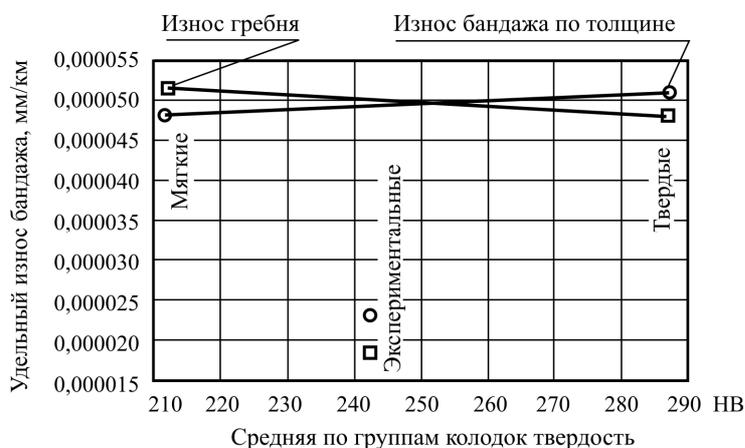


Рис. 3. Зависимость удельного износа элементов бандажей колес от твердости на поверхностях износа контактируемых колодок

Повышенное изнашивание гребней бандажей мягкими колодками (рис. 3) определяется тем, что сравнительно быстрое изнашивание на поверхности катания приводит к просадке колодок на гребнях и перераспределению нагрузок, т.е. к повышению удельных нагрузок в этих зонах и, как следствие, снятию разделительных пленок между поверхностями трения и схватыванию металла.

Анализ сравнительных данных износа элементов бандажей колес тепловозов (рис. 4)

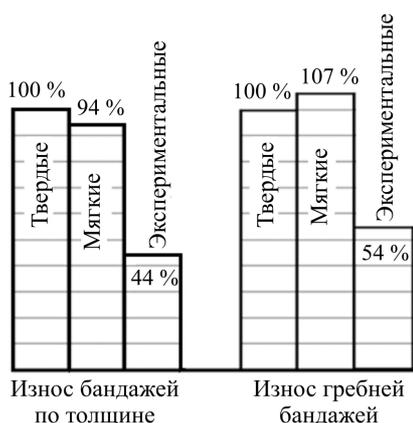


Рис. 4. Сравнительные данные по износу бандажей колесных пар

показывает, что их износ зависит не столько от твердости контактируемых колодок, сколько от характера износа, определяемого внутренней структурой. При этом износы бандажей экспериментальными колодками составляют около 50 % от износа твердыми колодками.

Выводы

1. На основании статистического анализа применяемых ресурсосберегающих технологий установлено, что ресурс бандажей колесных пар тягового подвижного состава с середины 90-х гг. увеличился в 1,5–2,0 раза – с 300 до 600 тыс. км. Но показатели износа бандажей колесных пар локомотивов

за последние 9 лет таковы, что становится невозможным дальнейшее снижение износов в контакте колесо – рельс существующими инструментами. Для дальнейшего роста ресурса бандажей требуется применение других решений.

2. Одним из серьезнейших направлений дальнейшего повышения ресурса бандажей колесных пар локомотивов является оптимизация работы трибологической пары «бандаж – тормозная колодка».

3. Проведенные в 2013–2017 гг. научные и эксплуатационные исследования показали, что внутренняя структура материала стандартных тормозных колодок не обеспечивает стабильной работы трибологической пары «бандаж – тормозная колодка».

4. Переход на феррито-графитовую структуру чугуна тормозной колодки обеспечивает, за счет снятия внутренних напряжений, отбела и повышенного содержания графита, стабильную работу трибологической пары. При практически одинаковом ресурсе колодок обеспечивается значительное (в два раза) уменьшение износа элементов бандажей колесных пар локомотивов.

Список литературы

1. Взаимодействие экспериментальных тормозных колодок, разработанных КриЖТ ИрГУПС и бандажей колесных пар локомотивов: отчет о госбюджетной научно-исследовательской работе (промежуточ.): КриЖТ ИрГУПС; рук. А.А. Климов; исполн.: С.В. Домнин, В.П. Кирпиченко, В.Б. Бондарик. – Красноярск, 2016. – 25 с. – Инв. № 115100710046.
2. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
3. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: дис. ... д-ра техн. наук. – Екатеринбург, 2011. – 456 с.
4. Худояров Д.Л. Повышение долговечности бандажей колесных пар электровозов в условиях депо: дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2010. – 162 с.
5. Тепляков А.Н. Пути снижения интенсивности износа гребней колесных пар локомотивов: дис. ... канд. техн. наук. – Хабаровск, 2004. – 183 с.
6. Исследования структуры, свойств чугуна и эксплуатационной стойкости тормозных колодок производства ОАО «Сантехлит» / И.К. Кульбовский, Д.Г. Афонин, И.И. Добровольский, Ю.В. Игнатенко // Материаловедческие проблемы в машиностроении: тез. докл. обл. науч.-техн. конф. – Брянск, 1997. – С. 7–8.
7. Сухов А.В. Локомотивные бандажи повышенной износоустойчивости // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 2. – С. 39–41.
8. Бисерикан М.И., Иванова Ю.А., Иванов В.В. Совершенствование обточки колес подвижного состава с усталостными дефектами // Омский научный вестник. – 2012. – № 2. – С. 120–124.
9. Коротаев Б.В. Основы трибологии. Ч. 2. Виды изнашивания деталей машин: учеб. пособие. – Иркутск: ИрГУПС, 2009. – 104 с.

10. Красиков Г.В. Повышение ресурса чугунных тормозных колодок локомотива // Молодой ученый. – 2011. – Т. 1, № 2. – С. 35–38.
11. Асташкевич Б.М. Свойства и кинетика формирования вторичных структур на поверхностях трения фрикционных фосфористых чугунных тормозных железнодорожных колодок // Трение и износ. – 1998. – № 1. – С. 75–85.
12. Асташкевич Б.М. Повышение долговечности трущихся узлов транспортной техники методами комплексного упрочнения. – М.: МИИТ, 1999. – 160 с.
13. Вуколов И.А. Повышение работоспособности тормозных колодок подвижного состава железных дорог: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1988. – 428 с.
14. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава: моногр. / УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте. – М., 2010. – 244 с.
15. Буйносов А.П. Еще раз об износе колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – № 9. – С. 23–26.
16. Буйносов А.П., Стаценко К.А., Фетисова Н.Г. Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Электрическая тяга: сб. науч. тр. / УрГУПС. – Екатеринбург, 2008. – Вып. 68 (151). – С. 10–19.
17. Carl-Peter Zander. Klotzbremsen mit Sintermetallbelägen // ZEV+DET Glasers Annalen. – 2001. – № 4. – S. 157–165.
18. Способ повышения износостойкости тормозных локомотивных колодок: пат. Рос. Федерация / Стручков А.В., Денисов Р.А., Климов А.А., Стручков А.В., Хацкевич Д.С. – № 2014119180/02; заявл. 13.05.2014. опубл. 20.02.2016. Бюл. № 5.
19. Исследование графитных включений в микроструктурах чугуна тормозных локомотивных колодок / А.А. Климов, А.В. Стручков, В.Б. Бондарик, В.П. Ильинский, С.В. Домнин, В.П. Кирпиченко // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2017. – Т. 19, № 3. – С. 19–33.
20. Исследование влияния структуры и твердости тормозных колодок на износ бандажей колес локомотивов / А.А. Климов, С.В. Домнин, А.В. Стручков, В.Б. Бондарик // Современные технологии, системный анализ, моделирование. – 2017. № 1 (53). – С. 215–218.
21. Исследование металлической основы микроструктуры тормозных локомотивных колодок / А.А. Климов, А.В. Стручков, В.Б. Бондарик [и др.] // Вестник Института проблем естественных монополий. Техника железных дорог. – 2017. – № 4 (40). – С. 26–30.
22. Влияние состава и микроструктуры тормозных локомотивных колодок на трибологические свойства / А.А. Климов, А.В. Стручков, В.Б. Бондарик, В.П. Ильинский, С.В. Домнин, В.П. Кирпиченко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – № 11. – С. 179–190.

References

1. Klimov A.A., Domnin S.V., Kirpichenko V.P., Bondarik V.B. Vzaimodejstvie jeksperimentalnyh tormoznyh kolodok razrabotannyh KrIZHT IrGUPS i bandazhej kolesnyh par lokomotivov. [The interaction of experimental brake pads, designed KrIST IrGUPS and bandages of wheel pairs of locomotives]: Report on state-budget scientific-research work (intermediate.): KrIST IrGUPS. Krasnoyarsk, 2016, 25 p., inv. no. 115100710046.
2. Kragelsky I.V. Trenie i iznos [Friction and wear]. Moscow, Mashinostroenie, 1968, 480 p.
3. Buiunov A.P. Metody povysheniya resursa bandazhej kolesnyh par tjagovogo podvizhnogo sostava. [Methods of improving the lifetime of wheel pair treads traction rolling stock]. Doctor's degree dissertation. Yekaterinburg, 2011, 456 p.
4. Hudoyarov D.L. Povyshenie dolgovechnosti bandazhej kolesnyh par jelektrovozov v usloviyah depo [Improving the durability of bandages of wheel pairs of electric locomotive depot]. Ph.D. thesis. Moscow, 2010, 162 p.
5. Teplyakov A.N. Puti snizheniya intensivnosti iznosa grebnej kolesnyh par lokomotivov [Ways to reduce the intensity of wear of wheel flange]. Ph.D. thesis. Khabarovsk, 2004, 183 p.
6. Kulbowski I.K., Afonin D.G., Dobrovolsky I.I., Ignatenko Y.V. Issledovaniya struktury, svojstv chuguna i ehkspluatacionnoj stojkosti tormoznyh kolodok proizvodstva OAO «Santekhlit» [Studies of the structure and properties of iron and the operational stability of the brake pads production of "Santekhlit"]. *Material science problems in engineering. The regional scientific and technical conference*. Bryansk, 1997, pp. 7–8.

7. Suhov A.V. Lokomotivnye bandazhi povyshennoy iznosoustoychivosti. [Locomotive tires increased durability]. *Railway transport*, 2008, no. 2, pp. 39–41.
8. Biserican M.I., Ivanova A.Yu., Ivanov V.V. Sovershenstvovanie obtochki koles podvizhnogo sostava s ustalostnyimi defektami. [Improving the turning of rolling stock wheels with fatigue defects]. *Omsk scientific Bulletin*, 2012, no. 2, pp. 120–124.
9. Korotaev V.B. Osnovy tribologii. Chast 2. Vidy iznashivaniya detaley mashin. [Fundamentals of tribology. Part 2. The types of wear of details of machines. Irkutsk, Irkutsk State University Of Communications, 2009, 104 p.
10. Krasikov G.V. Povyshenie resursa chugunnykh tormoznykh kolodok lokomotiva [Increase the resource iron locomotive brake shoes]. *Young scientist*, 2011, no. 2, vol. 1, pp. 35–38.
11. Astashkevich B.M. Svoystva i kinetika formirovaniya vtorichnykh struktur na poverhnostyakh treniya friktsionnykh fosforistykh chugunnykh tormoznykh zheleznodorozhnykh kolodok [Properties and kinetics of formation of secondary structures on the friction surface of friction phosphorus cast iron railway brake pads]. *Friction and wear*, 1998, no. 1, pp. 75–85.
12. Astashkevich, B.M. Povyshenie dolgovechnosti truschihsya uzlov transportnoy tehniki metodami kompleksnogo uprochneniya. [Improving the durability of the friction nodes of transport equipment methods of complex reinforcement]. Moscow, Moscow State University of Railway Engineering, 1999, 160 p.
13. Vukolov L.A. Povyshenie rabotosposobnosti tormoznykh kolodok podvizhnogo sostava zheleznykh dorog [Improving the efficiency of the brake pads railway rolling stock]. Doctor's degree dissertation. Moscow, 1988, 428 p.
14. Buinsov A.P. Metody povysheniya resursa kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava. [Methods of improving resource wheelsets of traction rolling stock]. Moscow, GOU "UMTS on education on railway transport", 2010, 244 p.
15. Buinsov A.P. Esche raz ob iznose koleasa i relsa [Again on the wear of wheel and rail]. *Path and track facilities*, 2010, no. 9, pp. 23–26.
16. Buinsov A.P., Statsenko K.A., Fetisova N.G. Analiz protsessov ekspluatatsionnogo iznosa grebney bandazhey kolesnykh par elektrovozov. [Analysis of the processes of wear and tear of the ridges of bandages of wheel pairs of electric locomotives]. *Electrical pull: Sat. scientific. Tr. Ekaterinburg USURT*, 2008, vol. 68 (151), pp. 10–19.
17. Carl-Peter Zander. Klotzbremesen mit Sintermetallbelägen. *ZEV+DET Glasers Annalen*, 2001, no. 4, pp. 157–165.
18. Struchkov A.V., Denisov R.A., Klimov A.A., Struchkov A.V., Khatskevich D.S. Sposob povysheniya iznosostojkosti tormoznykh lokomotivnykh kolodok [A method of increasing the wear resistance of the locomotive brake pads]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2014119180/02 (2016).
19. Klimov A.A., Struchkov A.V., Bondarik V.B., Ilinskii V.P., Domnin S.V., Kirpichenko V.P. Issledovanie grafitnykh vkluyuchenij v mikrostrukturah chuguna tormoznykh lokomotivnykh kolodok. [Investigation of graphite inclusions in microstructures of cast iron brake pad for locomotive]. *The Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Engineering materials technology*, 2017, vol. 19, no. 3, pp. 19–33.
20. Klimov A.A., Domnin S.V., Struchkov A.V. et al. Issledovanie vliyaniya struktury i tverdsti tormoznykh kolodok na iznos bandazhey koles lokomotivov. [Study of the effect of structure and hardness of brake pads on the wear and tear of tires of wheels of locomotives]. *The modern technologies, system analysis, modeling*, 2017, no. 1 (53), pp. 215–218.
21. Klimov A.A., Struchkov A.V., Bondarik V.B. et al. Issledovanie metallicheskoj osnovy mikrostruktury tormoznykh lokomotivnykh kolodok. [A study of the steel substrate microstructure locomotive brake pads]. *Equipment of Railways. Bulletin of the Institute of problems of natural monopolies*, 2017, no. 4 (40), pp. 26–30.
22. Klimov A.A., Struchkov A.V., Bondarik V.B. et al. Vliyanie sostava i mikrostruktury tormoznykh lokomotivnykh kolodok na tribologicheskie svoystva. [Analysis of structure and microstructure of brake shoes and their influence on tribological property (properties)]. *Bulletin of the Irkutsk state technical university*, 2017, no. 11., pp. 179–190.

Получено 23.10.2018

Об авторах

Климов Анатолий Александрович (Красноярск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация железных дорог» Красноярского института железнодорожного транспорта (филиала Иркутского государственного университета путей сообщения) (660028, г. Красноярск, ул. Ладо Кецховели, д. 89, e-mail: anatoly.klimoff2013@yandex.ru).

Стручков Алексей Валентинович (Красноярск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Основы конструирования машин» Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (660014, г. Красноярск, пр. Имени газеты «Красноярский рабочий», 31, e-mail: str-alex-v@mail.ru).

About the authors

Anatoly A. Klimov (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Operation of Railways, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Branch of Irkutsk State Transport University (89, Lado Ketskhoveli st., Krasnoyarsk, 660028, Russian Federation, e-mail: anatoly.klimoff2013@yandex.ru).

Alexey V. Struchkov (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Machine Design Basics, Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev (31, av. Name Krasnoyarsky Worker Newspaper, Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation, e-mail: str-alex-v@mail.ru).