

В. Б. Бондарик¹, О. В. Мельниченко²

¹Красноярская железная дорога, г. Красноярск, Российская Федерация

²Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИЗНОС КОЛЁСНЫХ ПАР ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Аннотация. Отмечены проблемы износостойкости колодочных тормозов, оборудованных различными тормозными колодками (чугунными, чугунами с повышенным содержанием фосфора, чугунами с высоким гребневым зацепом, биметаллическими, композиционными и др.) во взаимодействии с колёсами тягового подвижного состава.

Рассмотрены результаты исследований и опыта эксплуатации колодок различных типов и влияние их на износ сопряжённых с ними колёсных пар подвижного состава. Приведены причины изъятия из эксплуатации тормозных колодок, изготовленных из различных материалов.

Отмечены причины роста интенсивности износа в тормозном узле «колодка-колесо». Показано существенное влияние химического состава на износостойкость, фрикционные свойства и прочность чугуна тормозных колодок.

Обозначены проблемы, выявленные в результате опытной эксплуатации модифицированных гребневых колодок для локомотивов и композиционных тормозных колодок с металлическими вставками.

Рассмотрена актуальность исследований, направленных на изыскание путей увеличения эксплуатационной стойкости чугунных тормозных колодок и снижения влияния тормозных колодок на износ бандажей колёсных пар, выбор экономически оправданных фрикционных материалов.

Ключевые слова: тормозные колодки подвижного состава, взаимодействие тормозных колодок с бандажами колёсных пар, тормозной узел «колодка-колесо», колёса подвижного состава, фрикционные материалы, износ бандажа.

V. B. Bondarik¹, O. V. Melnichenko²

¹Krasnoyarsk Railway, Krasnoyarsk, Russian Federation

²Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

COMPARATIVE ANALYSIS OF BRAKE PADS AND THEIR INFLUENCE ON THE WEAR OF ROLLING STOCK WHEEL SETS

Abstract. The problems of wear resistance of shoe brakes equipped with various brake pads (cast iron, cast iron with a high phosphorus content, cast iron with high engagement, bimetallic, composite) in their interaction with rolling stock wheels are noted.

The results of research and operation experience of various types of pads and their influence on the wear of rolling stock wheelsets coupled with them are considered. The reasons for withdrawal from service of brake pads made of various materials are given.

The reasons for the increase in wear intensity in the pad-wheel brake assembly are noted. A significant effect of chemical composition on wear resistance, frictional properties and strength of cast iron is shown.

Problems identified in trial operation of modified ridge pads for locomotives and composite brake pads with metal inserts are outlined.

The relevance of research aimed at finding ways to increase the operational durability of cast-iron brake pads and reducing the influence of brake pads on the wear of wheelset tires, as well as choosing economically justified friction materials is considered.

Keywords: rolling stock brake pads, brake pad and wheelset tire interaction, pad-wheel brake assembly, rolling stock wheels, friction materials, tire wear.

Введение

Тормозные колодки являются важнейшим элементом механической части тормоза. От них зависит эффективность торможения, что вызывает ряд серьёзных требований к их качеству и характеристикам:

- стабильный и высокий коэффициент трения в широком диапазоне скоростей и сил нажатия;
- минимальный износ на единицу тормозного пути для снижения объема работ по замене колодок на подвижном составе;
- возможность длительных торможений без утраты фрикционных свойств;
- отсутствие недопустимых тепловых и других воздействий на колёсную пару;
- неизменность фрикционных характеристик при попадании влаги на колодки;
- простота установки при замене из-за износа или смены типа тормозных колодок;
- исключение возникновения на поверхности колеса токонепроводящих включений (третьего тела), а также включений, снижающих коэффициент его сцепления с рельсами;
- отсутствие вредных для человека продуктов износа и возможности самовозгорания колодок [1, с. 54].

Проблема ресурсообеспеченности колодочных тормозов, которыми оборудованы локомотивы, весьма многопланова. Она требует решения технико-экономических, технологических, металлургических, трибологических задач, связанных с выбором износостойких фрикционных чугунов, выбором конструкции, приемлемой для установления на локомотив, – всё это при соблюдении экологически чистых технологий производства. Одной из задач является изучение возможностей уменьшения изнашивания трущихся поверхностей. Тормоза локомотива работают в условиях сухого трения, поэтому потери металла от интенсивного износа максимальны. При годовой потребности в 15 млн. штук потери чугуна выглядят очень значительно [2].

Износ одной тормозной колодки при средней массе 15-16 кг при пробеге 30 тыс. км составляет 11-12 кг. [3, с. 12-14] Российская локомотивостроительная отрасль теряет ежегодно 96,8 тыс. тонн высококачественного чугуна вследствие процесса сухого трения.

На сегодняшний день для эксплуатации на тяговом подвижном составе ОАО «РЖД» заводами выпускаются два вида колодок, отличающихся по типу материала, из которого они изготовлены: *чугунные стандартные* и *чугунные с повышенным содержанием фосфора (фосфористые)*. Известны также *экспериментальные чугунные тормозные колодки с высоким зацепом под гребень* и *сертифицированные биметаллические тормозные колодки со стальными вставками*. В последнее время стали появляться экспериментальные колодки с включением различных материалов (бронзы, керамики, других материалов) однако в постоянной эксплуатации данные колодки не применяются.

К достоинствам *чугунных стандартных колодок ГОСТ 30249-97* относятся хороший отвод выделяющегося при торможении тепла и отсутствие влияния влаги на коэффициент трения. В то же время такие колодки имеют существенно нестабильный коэффициент трения, снижающийся с ростом скорости. Это, в частности, приводит к необходимости применения на скоростном подвижном составе регуляторов сил нажатия колодок в зависимости от скорости движения. Кроме того, чугунные колодки быстро изнашиваются, что требует большого объема работ по их замене с последующей регулировкой рычажных передач [1, с. 55].

Образующиеся в процессе износа чугунные микрочастицы в зоне трения являются относительно крупными, что увеличивает интенсивность износа в тормозном узле «колодка-колесо», а их присутствие в зоне контакта снижает коэффициент трения колодки о поверхность катания колеса. Это влияет на уменьшение эффективности механического торможения и увеличение тормозного пути. Например, на крутых затяжных спусках порядка 12-15 ‰ износ чугунных колодок составляет 7-9 мм [4].

При торможении процесс трения колодки и колеса происходит в точках их фактического контакта. Суммарная площадь этих контактов составляет лишь незначительную величину геометрической площади, перекрываемой тормозной колодкой. Выделение тепла происходит лишь в точках контакта, в которых плотности тепловых потоков и температурные всплески могут достигать больших величин, что при недостаточном теплоотводе вызывает свечение поверхности трения и переход металла в пластическое состояние. При этом происходит деформация металла либо его быстрый износ, и место температурной всплески перемещается в со-

ответствии с изменением контактных удельных давлений. Вследствие малой площади фактического контакта, недостаточного теплоотвода из зоны трения и температурных всплесков на поверхности трения колодок возникают более высокие средние температуры, чем на колесе, из-за которых дополнительно снижается прочность материала колодки, и металл подвергается интенсивным пластическим деформациям [5]. Такие условия неизбежно приводят к быстрому тепловому износу поверхностей не только колодки, но и бандажей колёс локомотива.

Основными причинами изъятия из эксплуатации тормозных колодок является их износ (40 %), включающий задиры поверхностей трения (7 %). Преждевременное изъятие колодок происходит при потере в процессе эксплуатации их геометрических параметров; «сползанию» с поверхности катания бандажа (27 %) и клиновидному износу (10 %). Эти дефекты возникают в результате износа шарнирных сочленений, потери жёсткости рычажной передачи и увеличения зазоров в её сочленениях. Появление термических трещин (16 %) и изломов (7 %) колодок связано с низким качеством материала колодок, а также нарушениями в работе рычажной передачи [6, с. 11].

При пробеге 1200 км колодки изнашиваются до половины массы, превращаясь в продукты износа, а потери составляют десятки тысяч тонн чугуна. Повышение надёжности тормозов является актуальной проблемой, требующей решения ряда задач, в том числе выбора экономически оправданных фрикционных материалов.

В связи с этим исследования, направленные на изыскание путей увеличения эксплуатационной стойкости чугунных тормозных колодок, не утратили актуальность. Чугун по-прежнему остаётся перспективным материалом благодаря достаточно высокой фрикционной теплостойкости, прочности, технологичности, относительно небольшому износу сопряжённых с колодками бандажей колёсных пар, дешевизне, малой чувствительности к изменению погодных условий [6, с. 3].

В настоящее время для локомотивов, главным образом, используются тормозные колодки из чугуна с содержанием фосфора 0,2-0,5 %. Улучшение фрикционных свойств, повышение срока службы колодок, работающих в жёстких условиях сухого трения и внешнесиловых параметров, достигается повышением содержания фосфора. Причём важной структурной составляющей является фосфидная эвтектика, от количества и формы которой во многом зависят износостойкость и фрикционные свойства чугунных тормозных колодок.

На износостойкость, фрикционные свойства и прочность чугуна тормозных колодок существенное влияние оказывают химический состав и, главным образом, содержание фосфора. Анализ исследования механизма изнашивания показал, что при взаимодействии тормозных колодок с бандажами колёсных пар происходит сильная пластическая деформация поверхностных слоёв, образуются разделяющие плёнки вторичных структур (в основном оксидного происхождения) [2].

На участках действительного контакта поверхностей наблюдается металлическое взаимодействие и повреждения из-за микросхватывания поверхностей, характерное для трения скольжения без смазочного материала. Повышенное содержание фосфора в структуре чугуна фосфидной эвтики оказывает положительное влияние на свойства поверхностных слоёв, снижая интенсивность разрушения поверхностей за счёт схватывания. Эластичность активного слоя на фосфористом чугуне обеспечивает хорошее прилегание колодки к поверхности катания бандажа, увеличивает фактическую площадь контакта и, следовательно, силу трения, что придает таким тормозным колодкам высокие фрикционные свойства и снижает их износ [2].

Фосфор существенно влияет на износостойкость и тормозной эффект чугуна, и в зависимости от назначения колодки они подразделяются на четыре основных группы: с содержанием фосфора до 0,5 %; в пределах 0,4-0,9%; в пределах 1-1,5 % и в пределах 2,5-3,5 %. Наличие фосфора в фрикционном чугуне создаёт на поверхности трения вторичные структуры с феноменальными свойствами – повышение износостойкости при высоком и достаточно стабильном коэффициенте трения [3].

Изнашивание и интенсивность тормозных колодок из высокофосфористого чугуна в 2-2,5 раза меньше, чем колодок из обычного перлитового чугуна, не легированного фосфором. Преимущество тормозных колодок заключается в обеспечении ими минимальных тормозных

путей. Данные анализа показывают, что при всех скоростных режимах эти пути на 20-25 % меньше, чем при обычных тормозных колодках [2].

Увеличение фосфора кроме положительного результата имеет ещё и отрицательный эффект: при увеличении процента фосфора на 0,5 %, резко снижается статистическая, термоциклическая прочность чугуна и появляется искрение при торможении. Искрение увеличивается пропорционально увеличению фосфора, превращаясь в факел пламени с повышенным содержанием фосфора около 1,8 %. Увеличение содержания фосфора свыше 2 % в чугуне приводит к значительному искрообразованию [2]. По этой причине их не применяют на подвижном составе с деревянными конструкциями.

Сложности в изготовлении колодок из высокофосфористого чугуна обусловлены необходимостью объёмного армирования, из частично графитизированного чугуна – необходимостью термической обработки. Хотя колодки из частично графитизированного чугуна (НВ 260-320) характеризуются высокой износостойкостью из-за сложности в реализации их технологии изготовления (термической обработки), эти колодки не находят должного применения.

В процессе торможения поезда происходит преобразование его кинетической энергии в другие виды: тепловую, электрическую и т. д. При фрикционном торможении выделяющееся тепло нагревает трущиеся детали и рассеивается в окружающей среде. Опыт эксплуатации тормозных систем, особенно с увеличением скорости движения, показывает, что тепловая напряжённость процессов торможения влияет на долговечность и повреждаемость фрикционных узлов.

В связи с этим остро стоит проблема снижения безопасности движения поездов и увеличения затрат на обслуживание колодок в эксплуатации при их изготовлении и замене, а также затрат на обточку колёсных пар. Образующиеся в процессе износа чугунные микрочастицы в зоне трения колодки и колеса являются относительно крупными, что оказывает дополнительный эффект увеличения интенсивности износа в трибологической паре «колодка-бандаж колеса», а их перемещение в зоне трения колодки и колеса в процессе движения снижает коэффициент трения колодки о поверхность катания колеса. Это влияет на уменьшение эффективности механического торможения и увеличение тормозного пути.

Существенный недостаток *чугунной тормозной колодки ГОСТ 30249-97* заключается в повреждении гребней бандажей локомотивов термоусталостными трещинами от взаимодействия с гребневой частью тормозной колодки. Полный охват гребня приводит к контакту колодки с бандажом по гребневой части после износа основного тела колодки до 6 мм. Контакт по гребневой части вследствие замкнутости приводит к неблагоприятным условиям отвода тепла, которые, в свою очередь, приводят к интенсивному износу гребневой части бандажа. Также интенсивный нагрев гребня в условиях циклических нагрузок приводит к образованию мартенсита трения на поверхности бандажа с последующим растрескиванием поверхностного слоя. В случае несвоевременного устранения данного слоя при обточке бандажа возникает определённая вероятность развития механизма усталостного разрушения (разрыва) бандажа по одной из микротрещин поверхностного слоя.

У колодки имеется изношенный гребень при полном ресурсе основного тела колодки. Вследствие разности толщин после заливки чугуна в форму отливка остывает неравномерно: гребень остывает быстрее, основное тело – позднее. Данная неравномерность скоростей охлаждения приводит к тому, что твёрдость по гребню выше твёрдости по телу колодки на 20-40 ед. по Бринеллю. Вследствие неравномерности твёрдости возникают неблагоприятные условия взаимодействия пары трения «колодка-бандаж колеса» в районе гребня – интенсивное трение со значительным тепловым напряжением, что в последующем приводит к интенсивному износу колеса по гребневой части. Таким образом, появляется ещё одна конструкция чугунной тормозной локомотивной колодки – тормозная колодка с глубоким зацепом.

Тормозная колодка с глубоким зацепом под гребень, разработанная специалистами ВНИИЖТ для замены тормозной колодки типа М, конструктивно отличается от стандартной колодки исполнением захвата под гребень. Гребневая часть симметрично расположена относительно поперечной оси колодки, длина её составляет 140-145 мм. Высота гребневого захвата равна 70-74 мм (рис. 1). Вследствие этого в течение всего жизненного цикла данная колодка

обеспечивает торможение только основным телом колодки, фактически не изнашивая гребень бандажа. Опытная эксплуатация колодок проводилась с мая 2009 г. на электровозах серии ВЛ80Р приписки эксплуатационного локомотивного депо Иркутск-Сортировочный.



Рис. 1. Чугунная локомотивная тормозная колодка с глубоким зацепом

Опыт применения тормозной колодки с глубоким зацепом под гребень выявил ряд проблем, основной из которых явился перекос колодки относительно гребня колеса в процессе эксплуатации, что значительно снижает её ресурс. Перекос колодки связан с конструктивной особенностью в виде короткой длины гребневого зацепа. За время опытной эксплуатации модифицированных колодок наблюдалось развитие значительного неравномерного клиновидного или трапециевидного износа рабочей поверхности колодок, а также глубокого зацепа, что приводило к преждевременной повсеместной их замене на локомотиве (рис. 2).

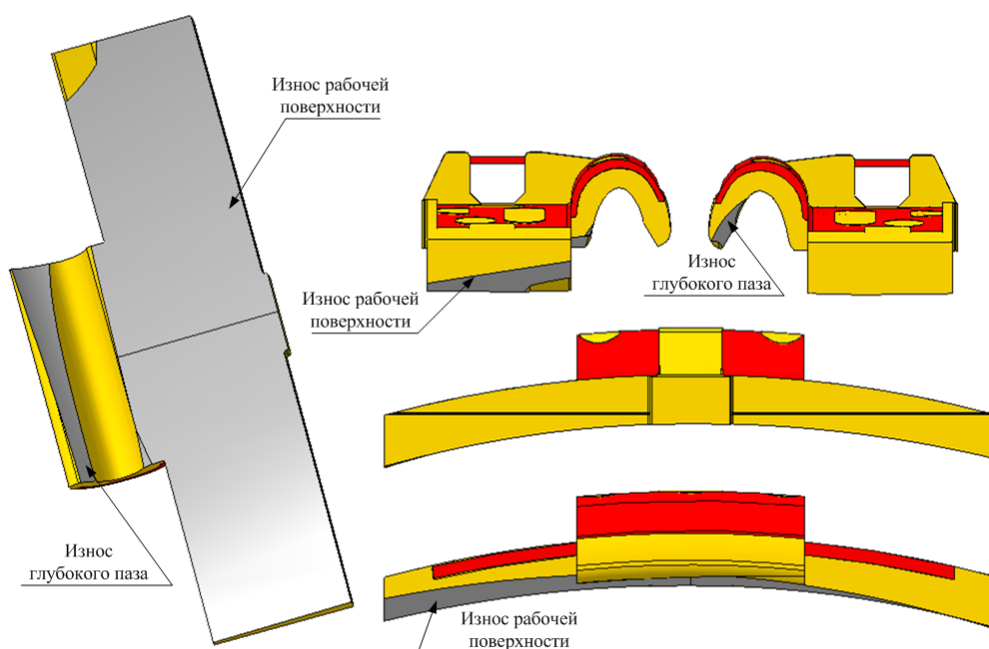


Рис. 2. Виды износа чугунной тормозной колодки с глубоким зацепом

Поворот колодки на поверхности катания ограничивается наружной частью края зацепа и боковой поверхностью по ограниченной площади контакта, при этом фактическое касание паза и гребня колеса осуществляется в двух зонах и зависит в основном от регулировки тормозной рычажной передачи. В первом случае зона касания находится между внутренней рабочей поверхностью гребня колеса и боковой рабочей поверхностью колодки, а во втором – между внешней гранью бандажа (нерабочей поверхности гребня) и противоположной боковой поверхностью зацепа. В результате происходит неравномерное распределение сил давления рабочей поверхности колодки на колесо. А во второй зоне создаётся наибольшее давление, вызывающее максимальный износ поверхности зацепа и рабочей поверхности колодки. Как результат, дополнительно возникают силы, увеличивающие интенсивность износа гребней колёс в первой зоне.

Колодки с глубоким зацепом под гребень быстрее нагреваются, что, с одной стороны, вызывает перераспределение напряжений в ободу колеса, ослабление бандажа с последующим возможным проворотом относительно колёсного центра вследствие неравномерности температурного поля, а с другой стороны, появляются значительные напряжения сжатия, которые могут превосходить предел упругости и вызывать пластические деформации поверхности катания.

Биметаллические чугунные тормозные колодки со стальными вставками «КОТЕ тип-02» с глубоким зацепом под гребень изготавливаются на производстве ООО «Спецплав-М». Зацеп выполнен на всю длину гребневой части биметаллической колодки (рис. 3).



Рис. 3. Биметаллическая чугунная тормозная колодка «КОТЕ тип-02» с высоким зацепом на всю длину гребневой части

В 2019-2020 гг. на тепловозе серии ТЭМ18ДМ приписки эксплуатационного локомотивного депо ст. Красноярск проведена подконтрольная эксплуатация установочной серии биметаллических колодок «КОТЕ тип-02».

По результатам установлены преимущества биметаллических колодок по сравнению со стандартными чугунными колодками, а именно, увеличенный в 9 раз ресурс и отсутствие повреждения гребней бандажей колёсных пар локомотива термоусталостными трещинами. Развития неравномерного клиновидного или трапециевидного износа рабочей поверхности колодок, а также глубокого зацепа в процессе подконтрольной эксплуатации колодок не наблюдалось. Однако ввиду значительной стоимости биметаллических тормозных колодок и усложнения производства в сравнении со стандартными их применение нецелесообразно.

Производителем АО «ФРИТЕКС» разработаны *безасбестовые гребневые тормозные композиционные колодки UR 01-01* с пониженным коэффициентом трения, которые, в отличие от применяемых в настоящее время на локомотивах чугунных гребневых тормозных колодок, обладают высокой износостойкостью и более стабильными фрикционными свойствами на высоких скоростях. Они намного легче традиционных чугунных колодок, что обеспечивает уменьшение затрат на логистику и облегчает их замену сервисными подразделениями. Колодки состоят из чугунной вставки и специальной безасбестовой композиции. Однако новые материалы, применяемые для производства колодки, а также её инновационная конструкция, в которой сочетаются два типа материалов, требовали детального исследования её фрикционных свойств. Для этого во ВНИИЖТ было выполнено моделирование режимов торможения локомотива, оборудованного колодками UR 01-01, в натурном узле тормозного механизма на инерционном стенде при фиксированных нажатиях и скоростях. По результатам экспериментов определены величины коэффициентов трения тормозной колодки и установлена их зависимость от силы нажатия и скорости торможения. Полученные данные использованы в тормозных расчётах для электровоза серии ВЛ80, включающих определение тормозного пути, удержание одиночного локомотива на уклоне стояночным тормозом и обеспечение безюзового торможения в связи с более высокими значениями коэффициента трения колодки UR 01-01 на высоких скоростях. Композиционная гребневая колодка обеспечивает соответствие нормативным значениям показателей длины тормозного пути, безюзового торможения и удержания на уклоне для электровоза серии ВЛ80. При этом применение этих композиционных колодок возможно без изменений в устройстве рычажной передачи электровоза [7].

В 2018-2019 гг. на Дальнем Востоке и Восточной Сибири ВНИИЖТ проведена подконтрольная эксплуатация тормозных колодок для локомотивов UR 01 производства ОАО «УралАТИ». По результатам испытаний было установлено, что износостойкость колодок UR 01 в 3-5 раз превышает износостойкость чугунных, они обладают более высоким (на 15-25 %) коэффициентом трения. Тормозной путь локомотива, оборудованного этими колодками, сокращается на 15 % при скорости до 100 км/ч и на 25 % при скорости от 100 до 140 км/ч. Однако в настоящее время они пока не нашли серийного применения на тяговом подвижном составе Российских железных дорог.

Заключение

1. Исследования, направленные на изыскание путей увеличения эксплуатационной стойкости чугунных тормозных колодок и снижения влияния тормозных колодок на износ бандажей колёсных пар, выбор экономически оправданных фрикционных материалов не утратили актуальность и сегодня.

2. Чугун остаётся по-прежнему перспективным материалом, благодаря достаточно высокой фрикционной теплостойкости, прочности, технологичности и дешевизне.

3. Одним из наиболее актуальных направлений на сегодняшний день является исследование влияния микроструктуры чугунных локомотивных колодок и связанной с ней твёрдостью на износ бандажей локомотивов.

4. Дальнейшее совершенствование чугунных тормозных колодок целесообразно проводить в направлении улучшения их теплопередающих свойств, снижения их износа и бандажей колёсных пар локомотива, а также в направлении оптимизации параметров трибологической пары «колодка – бандаж колеса» за счёт изменения микроструктуры чугунной тормозной колодки [8, 9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В. Р. Асадченко Автоматические тормоза подвижного состава // М.: Маршрут, 2006. – 392 с.
2. Библиографическое описание: Красиков Г. В. Повышение ресурса чугунных тормозных колодок локомотива / Г. В. Красиков. — Текст: непосредственный // Молодой учёный. – 2011. – № 2 (25). – Т. 1. – С. 4. – URL: <https://moluch.ru/archive/25/2613/> (дата обращения: 15.07.2021).

3. Асадченко В. Р. Расчёт пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава // Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. – М.: Маршрут, 2004.
4. Крылов В. И., Крылов В. В. Автоматические тормоза подвижного состава // М.: Транспорт, 1983.
5. Казаринов В. М., Иноземцев В. Г., Ясенцев В. Ф. Теоретические основы проектирования и эксплуатации автотормозов // М.: Транспорт, 1968.
6. Маршев В. И. Высокофосфористый чугуун для тормозных колодок скоростных локомотивов // Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата наук. М., 2006.
7. Габидуллин А. Э., Горский Д. В., Назаров И. В., Никитин В. А. Расчёт зависимости коэффициента трения композиционных гребневых колодок для локомотивов от силы нажатия и скорости торможения // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2020;79(6):337-342. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-337-342>.
8. Климов А. А., Стручков А. В., Бондарик В. Б., Ильинский В. П., Домнин С. В., Кирпиченко В. П. Влияние состава и микроструктуры тормозных локомотивных на трибологические свойства // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 11 (130). С. 179-190.
9. Климов А. А., Домнин С. В., Стручков А. В., Бондарик В. Б. Исследование влияния структуры и твёрдости тормозных колодок на износ бандажей колёс локомотивов // Современные технологии, системный анализ, моделирование // Научный периодический журнал выпуск № 1 (53). ГОУ ВПО ИрГУПС Иркутск 2017 г. – С. 215 - 218.

REFERENCES

1. V. R. Asadchenko. Automatic brakes of rolling stock // Moscow: Transport Publishing House, 2006. – 392 p.
2. Bibliographic description: Krasikov G V. Increasing the resource of cast iron brake blocks of a locomotive / G. V. Krasikov. – Text: direct // Young scientist. – 2011. – No. 2 (25). – Vol. 1. – P. 4. – URL: <https://moluch.ru/archive/25/2613/> (date of access: 15.07.2021).
3. Asadchenko V. R. Calculation of pneumatic brakes of railway rolling stock // Textbook for universities of railway transport. – Moscow: Transport Publishing House, 2004.
4. Krylov V. I., Krylov V. V. Automatic brakes of rolling stock // Moscow: Transport Publishing House, 1983.
5. Kazarinov V. M., Inozemtsev V. G., Yasentsev V. F. Theoretical foundations of the design and operation of auto brakes // Moscow: Transport Publishing House, 1968.
6. Marshev V. I. High-phosphorous cast iron for brake pads of high-speed locomotives // Abstract of the thesis for the degree of candidate of sciences. Moscow, 2006.
7. Gabidullin A. E., Gorsky D. V., Nazarov I. V., Nikitin V. A. Calculation of the dependence of the coefficient of friction of composite ridge blocks for locomotives on the pressing force and braking speed // Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport (Bulletin of VNIIZHT). 2020; 79 (6): 337-342. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-337-342>.
8. Klimov A. A., Struchkov A. V., Bondarik V. B., Ilyinsky V. P., Domnin S. V., Kirpichenko V. P. Influence of the composition and microstructure of brake locomotives on tribological properties // Bulletin of the Irkutsk State Technical University, 2017. – Vol. 21. – No. 11 (130). – Pp. 179-190.
9. Klimov A. A., Domnin S. V., Struchkov A. V., Bondarik V. B. Investigation of the influence of the structure and hardness of brake pads on the wear of locomotive wheel bandages // Modern technologies, system analysis, modeling // Scientific periodical Journal issue No. 1 (53) of the State Educational Institution of Higher Educational Institutions of Irkutsk, 2017, – Pp. 215-218.

Информация об авторах

Бондарик Владимир Борисович – начальник службы технической политики, Красноярская ж. д. – филиал ОАО «РЖД», г. Красноярск, e-mail: bondarikvb@krw.ru.

Мельниченко Олег Валерьевич – д-р техн. наук, профессор, член-корр. Российской инженерной академии, заведующий кафедрой «Электроподвижной состав», г. Иркутск, e-mail: olegmelval93@mail.ru.

Authors

Vladimir Borisovich Bondarik – head of the Technical Policy Service, Krasnoyarsk Railway – branch of Russian Railways, Krasnoyarsk, e-mail: bondarikvb@krw.ru.

Oleg Valerievich Melnichenko – doctor of technical sciences, professor, corresponding member of Russian Academy of Engineering, head of the Electric Rolling Stock Department, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: olegmelval93@mail.ru.