

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ПОЛЗУНА НА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ ВАГОННОГО КОЛЕСА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

В статье представлена конструкция устройства, позволяющего исследовать в лабораторных условиях процесс образования ползуна на поверхности катания колеса. Предложена методика исследования процесса формирования термомеханических повреждений на поверхности катания колеса грузового вагона. Приведены результаты экспериментального исследования движения колеса по рельсу юзом с применением физического моделирования. Выполнена оценка изменения свойств металла колеса в области термомеханического повреждения с применением металлографического анализа. Сделаны выводы и предложения.

Ключевые слова: поверхность катания железнодорожного колеса, термомеханическое повреждение, механический износ, обточка колесных пар, твердость ползуна, микроструктура стали.

В процессе эксплуатации на вагонных колесах образуются различного рода дефекты [1–5], которые классифицированы соответствующим руководящим документом [6]. Выявленные дефекты приводят к необходимости изменять режимы эксплуатации подвижного состава или (и) требуют выкатки колесной пары из-под кузова вагона для передачи ее в ремонт. Одним из таковых дефектов является ползун на поверхности катания колеса.

Ползун — локальный износ колеса, характеризующийся образованием плоской площадки на поверхности катания (рис. 1) [6].

Основные причины образования ползун [7–10]:

- неисправности тормозных приборов;
- нарушение правил регулировки рычажной передачи;
- неправильное управление тормозами локомотива;
- роспуск вагонов на немеханизированных сортировочных горках со скоростями, превышающими допустимые.

Ползуны на поверхности катания отрицательно сказываются на процессе механической обработки колеса при выполнении их ремонта. Ремонт заключается в восстановлении профиля поверхности катания токарной обточкой или фрезерованием на специальных станках. При этом используется дорогостоящий твердосплавный режущий инструмент.

Механическая обработка поверхности катания при наличии ползун характеризуется значи-

тельными ударными нагрузками в процессе срезания дефектного слоя. При этом ударные нагрузки обусловлены не только повышенной твердостью ползун, но и колебанием величины припуска в месте расположения ползуна. Это приводит к преждевременному разрушению режущих пластин, а также сложности с назначением припуска на механическую обработку в связи с тем, что структура металла колеса в области ползуна претерпевает структурные изменения в результате пластического деформирования и термического воздействия. Высокий расход твердого сплава часто приводит к отказу от механической обработки данной колесной пары, если количество разрушенных пластин превысило определенный лимит. В результате производственные мощности заняты большим количеством незавершенного ремонта. Стремление хотя бы частично выровнять силы резания и устранить ударные нагрузки вынуждает рабочего увеличивать глубину резания, что является прямым нарушением технологии.

Даже в том случае, если в процессе ремонта ползун удается устранить и восстановить поверхность катания, свою роль играет технологическая наследственность.

Данный фактор может быть причиной возникновения погрешности формы колеса после обточки, которая может остаться не выявленной, так как на рабочем месте токаря зачастую отсутствует необходимое оборудование, а выходной контроль происходит лишь выборочно.

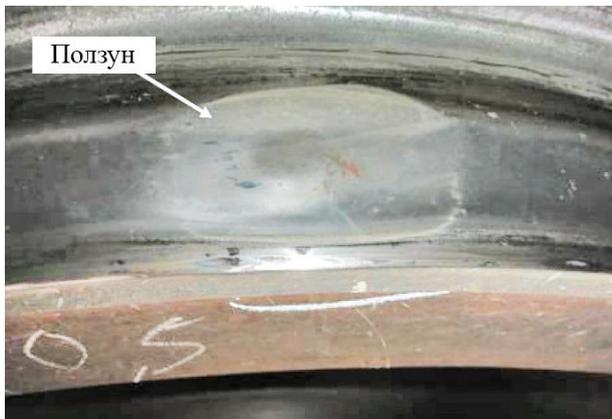


Рис. 1. Ползун на поверхности катания вагонного колеса

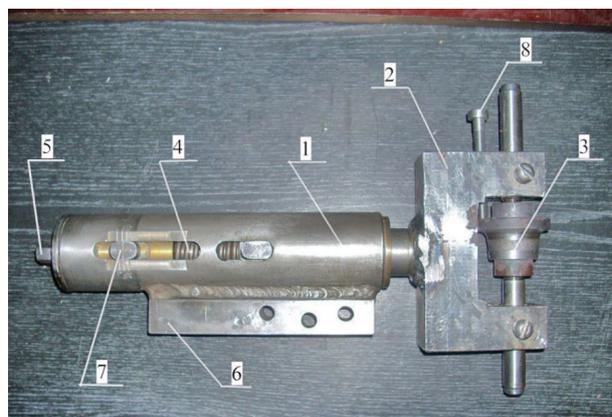
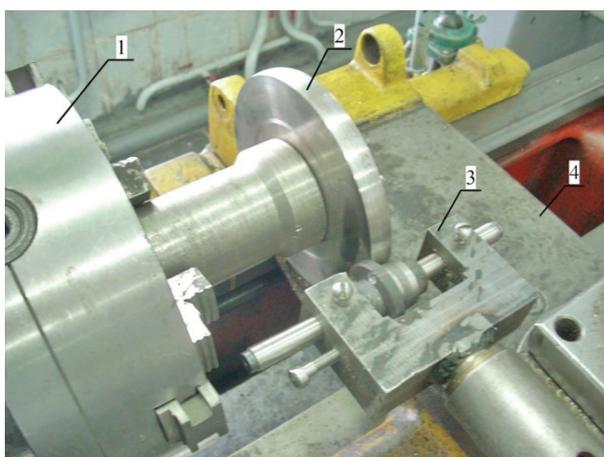


Рис. 2. Устройство для имитации процесса движения колеса по рельсу юзом



а)



б)

Рис. 3. Испытания при движении колеса юзом: а) схема испытания; б) термомеханическое повреждение

Таким образом, проблема создания теоретической модели формирования ползунов на поверхности катания является очень актуальной.

Для выработки научно обоснованных технологических и технических решений по предупреждению образования и развития ползунов, по оптимизации технологического процесса восстановления профиля катания колеса, а соответственно, и по обеспечению надежной работы колесной пары, необходимо иметь достоверную картину о механизмах образования ползуна и дальнейшего его развития.

Для этого предлагается применить метод физического моделирования процесса скольжения колеса по рельсу в лабораторных условиях с использованием специально разработанного устройства, позволяющего на базе токарного станка выполнить экспериментальные исследования процесса движения колеса по рельсу юзом.

Устройство [11] (рис. 2), позволяет имитировать процесс нагружения колеса на рельс и состоит из держателя-корпуса 1, внутри которого находится вилка 2, в центрах которой закреплена модель колеса 3. Модель колеса изготовлена из колесной стали, а ее профиль соответствует профилю катания колеса. Форма профиля рабочей поверхности колеса на модели уменьшена в три раза. Вилка нагружается тарированной пружиной 4, которая, в свою очередь, опирается на регулировочный винт 5, который располагается в верхней части корпуса устройства.

Регулировочный винт необходим для создания предварительного натяга пружины перед работой и снятия натяга после испытания на износ пары трения «колесо – рельс». На корпусе располагается полка 6, при помощи которой устройство устанавливается в резцедержателе. Установленное в резцедержателе устройство предварительно нагружается регулировочным винтом до смещения штифта 7 до отметки «0», а далее до задания соответствующей нагрузки и совпадения риски штифта с тарированными значениями на корпусе устройства. Тарировка нагрузки выполнена в виде цифр, каждая из которых обозначает усилие нажатия, приложенное моделью колеса к модели рельса и выраженное в ньютонах. Винт 8 вкручивается в резьбовое отверстие вилки и входит своей концевой частью в коническое отверстие модели колеса 3, лишая тем самым ее возможности вращаться вокруг своей оси. Таким образом, имитируется заклинивание вагонного колеса тормозными башмаками и его движение по рельсу юзом.

Эксперимент проводился на базе токарно-винторезного станка 1К62. Для этого в трехкулачковый самоцентрирующий патрон 1 установили имитатор рельса 2, в резцедержатель суппорта 4 установили устройство для имитации процесса движения колеса по рельсу юзом 3 (рис. 3а). При помощи механизма поперечной подачи станка производилась передача нагрузки с имитатора колеса на имитатор

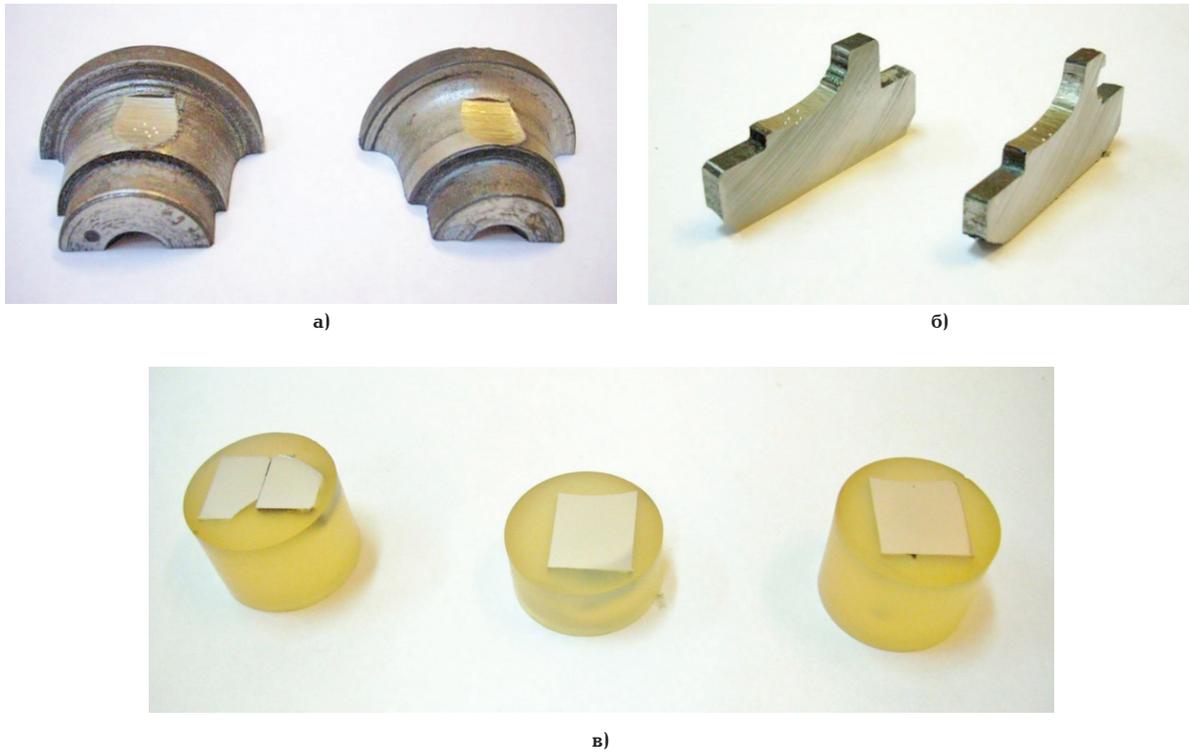


Рис. 4. Пробоподготовка образцов для проведения исследований по изменению свойств металла колеса в области термомеханического повреждения

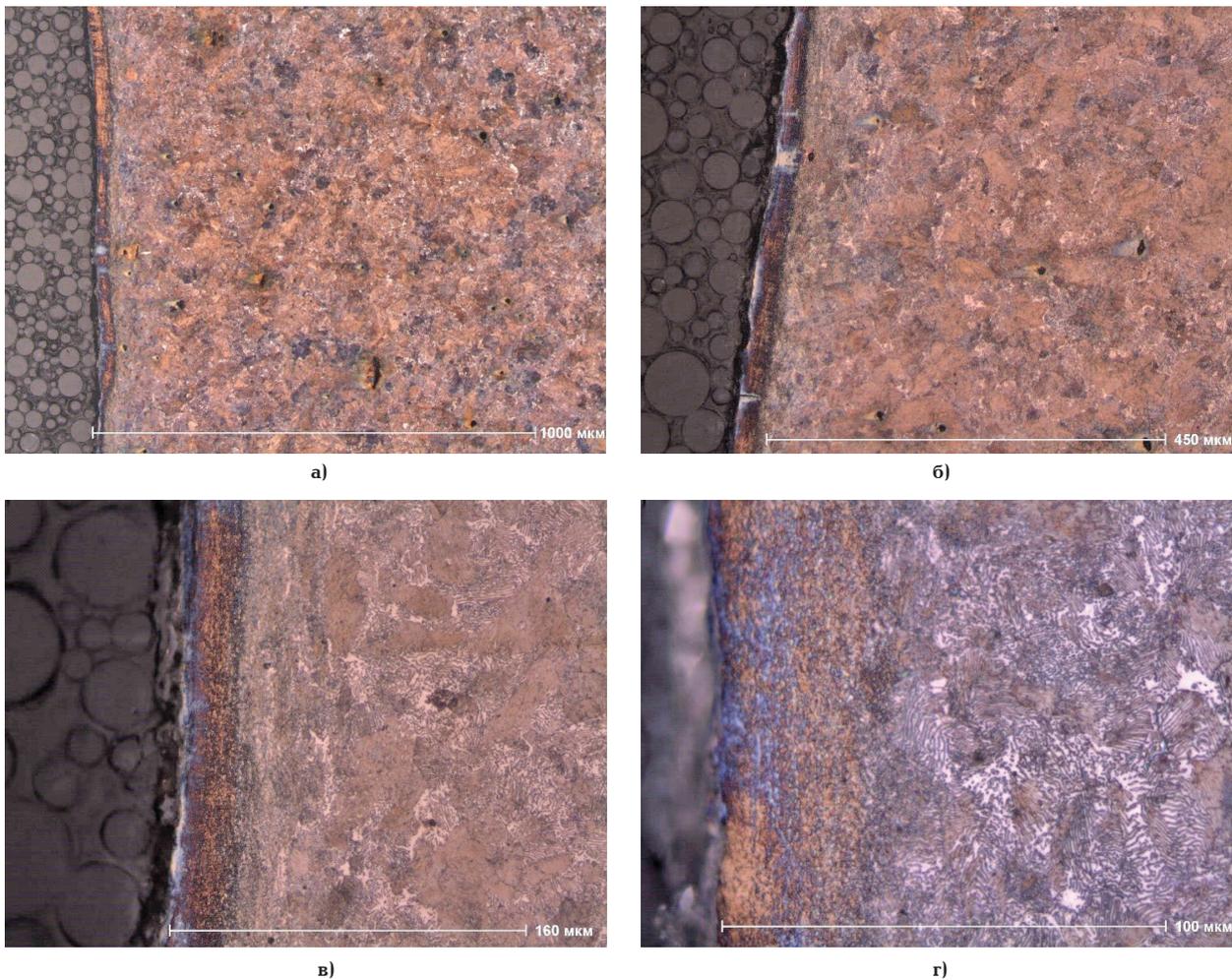


Рис. 5. Микроструктура деформированного поверхностного слоя образца в месте моделирования термомеханического повреждения (ползуна) в процессе эксперимента при увеличении: а) $\times 100$; б) $\times 200$; в) $\times 500$; г) $\times 1000$

рельса. Эксперимент ставился на следующих режимах: нагрузка 100 кг, частота вращения шпинделя в первом случае 12,5 об/мин (режима нагружения № 1), во втором — 160 об/мин. (режима нагружения № 2), время нагружения составило 90 секунд, твердость ролика 3200 МПа, диаметр ролика по поверхности качения 34 мм. После проведения опыта на поверхности ролика отчетливо видна площадка износа, так называемое термомеханическое повреждение (рис. 3б).

Для оценки изменения механических свойств металла ролика в области термомеханического повреждения было необходимо оценить изменение твердости и структурные изменения в материале ролика. Для измерения твердости на поверхности ролика его разрезали на две части (рис. 4а), а для измерения твердости от поверхности ролика в глубину были подготовлены образцы, представленные на рис. 4б, для проведения микроструктурного металлографического анализа были подготовлены шлифы (рис. 4в).

Микроструктурный анализ показал, что в процессе эксплуатации вагонных колес в поверхностных и подповерхностных слоях поверхности катания колеса образуются зоны наклепа глубиной 0,024–0,043 мм после режима нагружения № 1 (рис. 5а, 5б) и 0,038–0,059 мм после режима нагружения № 2 (рис. 5в, 5г). Наклеп характеризуется изменением размеров и формы равноосных зерен перлита. При этом зерна приобретают плоскую форму, разрушаются неметаллические включения на границах зерен, вырождаются пустоты между зернами, в результате чего структура металла в поверхностных и подповерхностных слоях уплотняется, что приводит к увеличению твердости на поверхности катания колеса. В свою очередь, увеличение твердости приводит к охрупчиванию стали и, как следствие, к преждевременному и интенсивному разрушению металла под действием высоких нагрузок на ось вагонного колеса. Таким образом, ползуны, возникающие на поверхности катания в результате пластической деформации и интенсивного трения при повышенных температурах, в дальнейшем могут явиться причиной образования выщербин и разрушения поверхности катания колеса на указанную глубину.

Проведенное моделирование процесса образования ползуна на поверхности катания вагонного колеса показало, что возникновение таких термомеханических повреждений, как ползуны, сопровождается изменением микроструктуры колесной стали в виде наклепа и увеличением твердости металла колеса. Помимо наклепа к увеличению твердости поверхностного слоя приводит также образование закалочных структур в результате разогрева металла при трении и последующего скоростного охлаждения на воздухе, особенно в условиях пониженных температур в зимний период. Обладающие повышенной хрупкостью закалочные структуры способствуют возникновению выкрашиваний на поверхности катания вагонных колес, сокращению их ресурса и снижению работоспособности. Основная опасность ползуна заключается в том, что из-за него на колесе создаётся несимметричность поверхности катания и при прохождении ползуна по головке рельса колёсная пара осуществляет ударное воздействие с высоты ползуна по рельсовому пути, разрушая его.

Кроме того, вагонное колесо с ползуном начинает «отставать» от исправного колеса, что может

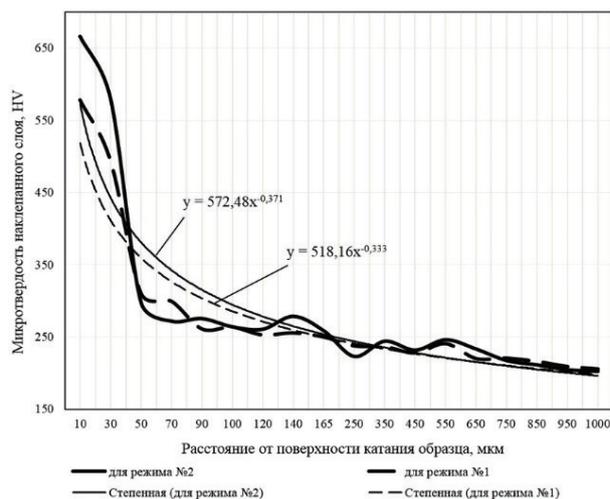


Рис. 6. График распределения микротвердости по глубине металла в месте образования смоделированного термомеханического повреждения (ползуна)

привести к разрушению буксовых узлов и сходу подвижного состава с рельсов.

Значение твердости на поверхности термомеханического повреждения, определенное по методу Роквелла для термообработанных материалов, составило 57,9 HRC для образца после режима нагружения № 2 и 51,8 HRC — для образца после режима нагружения № 1.

Проведенные измерения микротвердости по глубине термомеханического повреждения на продольных микрошлифах (см. рис. 4б) показали соответствие глубины упрочненного слоя аналогичному параметру, определенному в результате проведения микроструктурного анализа. Установлено, что максимальное значение микротвердости на глубине 10 мкм от поверхности катания ролика составляет 666,57 HV для образца, подвергнутого режиму нагружения № 2, и 577,82 HV — для образца после режима нагружения № 1 (рис. 6). Далее в радиальном направлении значение микротвердости постепенно уменьшается и на глубине свыше 50–70 мкм соответствует твердости основного металла ролика в 240–250 HV, а на глубине 1 мм твердость металла ролика составляет 200–220 HV. Из графика распределения твердости по глубине упрочненного слоя (рис. 6) видно, что глубина упрочненного слоя и микротвердость образца после режима нагружения № 2 выше, чем после режима нагружения № 1 при одинаковой нагрузке. Причиной этому является выделение большего количества теплоты в результате интенсивного трения ролика при частоте вращения имитатора рельса 160 об/мин, что способствует быстрому разогреву поверхностного слоя ролика и более скоростной закалке, в совокупности с усиленным поверхностно-пластическим деформированием и образованием наклепа под нагрузкой.

Таким образом, в ходе моделирования процесса образования ползуна установлено, что в результате движения вагонного колеса юзом и образования термомеханических повреждений поверхностный слой металла закаляется и упрочняется, образуя участки охрупчивания, на месте которых при дальнейшей эксплуатации возможно возникновение выщербин и раковин.

Вывод. Предложенная методика и разработанные технические средства для моделирования про-

цесса движения колеса по рельсу юзом позволяют в лабораторных условиях исследовать процессы, протекающие при формировании термомеханического повреждения, и их последствия, а именно структурные изменения в металле колеса и изменение механических свойств.

Анализ результатов данных исследований может лечь в основу разработки противоюзных устройств, оптимизации технологии восстановления профиля катания вагонного колеса в условиях ремонтного производства, так как изменение механических свойств металла колеса отражается и на таких технологических свойствах, как, например, обрабатываемость резанием. Также результаты будут интересны исследователям в области путевого хозяйства с точки зрения оценки структурных изменений в металле рельса при движении по нему вагонного колеса юзом.

Библиографический список

1. Кобаская И. А. Технология ремонта подвижного состава. М.: УМЦ ЖДТ, 2016. 288 с. ISBN 978-5-89035-914-8.
2. Анисимов П. С., Винокуров В. А., Воробьев В. И. [и др.]. Машиностроение. Энциклопедия. Расчет и конструирование машин. В 23 т. Т. 4. Подвижной состав железных дорог. М.: Машиностроение, 2008. 656 с. ISBN 978-5-217-03384-3.
3. Шадур Л. А., Челноков И. И., Никольский Л. Н. [и др.]. Вагоны: конструкция, теория и расчет. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1980. 439 с.
4. Грамп А. Н. Подвижной состав железных дорог. (Локомотивы и локомотивное хоз-во). М.: ВЗИИТ, 1972. 44 с.
5. Айзикович С. М., Александров В. М., Белоконь А. В. [и др.]. Контактные задачи теории упругости для неоднородных сред: моногр. М.: Физматлит, 2006. 240 с. ISBN 5-9221-0661-9.
6. Воробьев А. А., Горский А. В., Пузанков А. Д. [и др.]. Надежность подвижного состава. М.: УМЦ ЖДТ, 2017. 301 с. ISBN 978-5-89035-978-0.
7. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава: моногр. М.: УМЦ ЖДТ, 2010. 224 с. ISBN 978-5-9994-0038-3.
8. Мусалимов В. М., Валетов В. А. Динамика фрикционного взаимодействия: моногр. СПб.: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2006. 191 с. ISBN 5-7577-0285-0.
9. Бисерикан М. И., Иванов В. В. Влияние качества механической обработки на технический ресурс колес подвижного состава // Омский научный вестник. 2015. № 3 (143). С. 60–65.
10. Гарипов Д. С. Прогнозирование развития ползуна и оценка его влияния на динамику колеса: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Самара: Изд-во СамГУПС, 2012. 22 с.
11. Пат. 142249 U1 Российская Федерация, МПК G 01 M 17/10. Устройство для имитации процесса движения колеса по рельсу юзом / Обрывалин А. В., Ражковский А. А., Кваскова Н. А., Бунькова Т. Г. № 2014105759/11; заявл. 17.02.14; опубл. 20.06.14, Бюл. № 17.

ОБРЫВАЛИН Алексей Викторович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава».

SPIN-код: 4056-8545

AuthorID (РИНЦ): 540179

Адрес для переписки: av.obr@yandex.ru

МУРАВЬЕВ Дмитрий Валерьевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава».

SPIN-код: 5432-5008

AuthorID (РИНЦ): 505846

Адрес для переписки: mdvoms@yandex.ru

АВЕРКОВ Константин Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава».

SPIN-код: 8407-0488

AuthorID (РИНЦ): 674150

Адрес для переписки: averok@yandex.ru

РАУБА Александр Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава».

SPIN-код: 9471-3485

AuthorID (РИНЦ): 419232

Адрес для переписки: ShantarenkoSG@omgups.ru

Для цитирования

Обрывалин А. В., Муравьев Д. В., Аверков К. В., Рауба А. А. Моделирование процесса образования ползуна на поверхности катания вагонного колеса в лабораторных условиях // Омский научный вестник. 2018. № 4 (160). С. 18–22. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-160-18-22.

Статья поступила в редакцию 18.06.2018 г.

© А. В. Обрывалин, Д. В. Муравьев, К. В. Аверков, А. А. Рауба