

Моделирование движения вагона и расчет износа колес с профилем поверхности катания ВНИЦТТ

А. М. ОРЛОВА¹, Ю. В. САВУШКИНА², В. И. ФЕДОРОВА²

¹ Публичное акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Объединенная Вагонная Компания» (ПАО «НПК ОВК»), Москва, 115184, Россия

² Общество с ограниченной ответственностью «Всесоюзный научно-исследовательский центр транспортных технологий» (ООО «ВНИЦТТ»), Санкт-Петербург, 199106, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты математического моделирования движения грузового вагона и прогнозирования износов гребня и поверхности катания колес с новым профилем поверхности катания ВНИЦТТ и на профиле по ГОСТ 10791–2011 (рис. Б.1). Проведено сравнение показателей динамических качеств вагона и темпов износа колес на участке пути, близком к среднесетевым условиям эксплуатации.

Ключевые слова: профиль поверхности катания; железнодорожное колесо; грузовой вагон; моделирование движения; моделирование износа

Введение. Проблемой износа колес по прокату или тонкому гребню (наиболее часто встречающиеся в эксплуатации виды естественного износа) в настоящее время занимается большой круг специалистов, начиная от операторов (собственников) подвижного состава до специализированных научных организаций. В работе [1] отмечено, что одним из решений проблемы износа колес и увеличения межремонтного пробега между обточками является разработка нового профиля поверхности катания колеса, разработана методика проектирования и получена новая геометрия профиля. В методике учтены следующие данные: среднеизношенная геометрия профиля головки рельса на сети железных дорог России, периоды приработки колес (отдельно поверхности катания и гребня колеса), основные виды неисправностей колес в эксплуатации, опыт стран, которые давно перешагнули рубеж нагрузки на ось 25–36 т. Проанализирована кинематика движения колесной пары и факторы, которые на нее влияют. Результирующая форма профиля поверхности катания колеса получила название профиль ВНИЦТТ.

Профиль ВНИЦТТ имеет криволинейную поверхность с тремя радиусами кривизны на поверхности катания, соответственно от круга катания к гребню: 500, 325 и 87,5 мм. Радиус выкружки гребня в сравнении с профилем по ГОСТ 10791–2011 «Колеса цельнокатанные. Технические условия» (рис. Б.1) увеличился на 2 мм и составил 17 мм. Угол наклона гребня составил 68°, а толщина гребня — 32,5 мм. Часть поверхности катания колеса от круга катания до наружной части

обода полностью соответствует ГОСТ 10791–2011 (рис. Б.1) (Профиль поверхности обода железнодорожного колеса: пат. № 2018123345 ФИПС (Роспатент): МПК В60В 17/00 (2006.01) / В.И. Федорова [и др.]. Заявл. 27.06.2018). Каждый выбранный радиус на профиле обоснован и отвечает за работу колеса на определенном участке пути — прямом или кривых [1], что подтверждается конструкцией профиля поверхности катания колеса при помощи метода математического моделирования движения вагона.

Результаты моделирования ходовых качеств вагона и износа колес с профилем ВНИЦТТ в сравнении с профилем по ГОСТ 10791–2011. Целью расчета являлось сравнение показателей динамических качеств (ПДК) и износа колес универсального полувагона, установленного на тележки 18-9855 с разными профилями колес: профилем по ГОСТ 10791–2011 (рис. Б.1) и профилем ВНИЦТТ. Моделирование движения вагона производилось с использованием ЭВМ в рамках подхода, реализованного в программном комплексе MEDYNA. Подробно модель описана в работах [2, 3].

В исследовании рассматривался универсальный полувагон в порожнем и груженом состоянии со статическими нагрузками на ось 6,24 т (61,21 кН) и 25 т (245,25 кН) соответственно. Моделирование производилось на рельсах Р65 в новом состоянии и в изношенном [4] для различных участков пути, комбинации взаимодействия колеса с рельсом представлены в табл. 1, где:

- новый рельс, без износов (R_0);
- рельс с вертикальным износом головки 2 мм (R_1);
- рельс с вертикальным износом 2,5 мм и боковым 6 мм (R_2);
- рельс с вертикальным износом 2,5 мм и боковым износом 10 мм (R_3);
- рельс с вертикальным износом головки 4 мм (R_4).

Расчет производился в соответствии с ГОСТ 33211–2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» [5]. Скорость движения на прямолинейном участке пути и в кривой

■ E-mail: vfedorova@tt-center.ru (В. И. Федорова)

Таблица 1

Комбинации взаимодействия колеса с рельсом при моделировании вагона для определения ходовых качеств

Table 1

Combinations of wheel – rail interaction when modeling a car to determine road performance

Участок пути	Комбинации взаимодействия колеса с рельсом			
	Новый рельс — профиль ГОСТ 10791–2011	Новый рельс — профиль ВНИЦТТ	Износенный рельс — профиль ГОСТ 10791–2011	Износенный рельс — профиль ВНИЦТТ
Прямая	Левая нить R0 Правая нить R0		Левая нить R4 Правая нить R4	
Кривая R=650 м	Левая нить R0 Правая нить R0		Левая нить R1 Правая нить R2	
Кривая R=350 м	Левая нить R0 Правая нить R0		Левая нить R1 Правая нить R3	

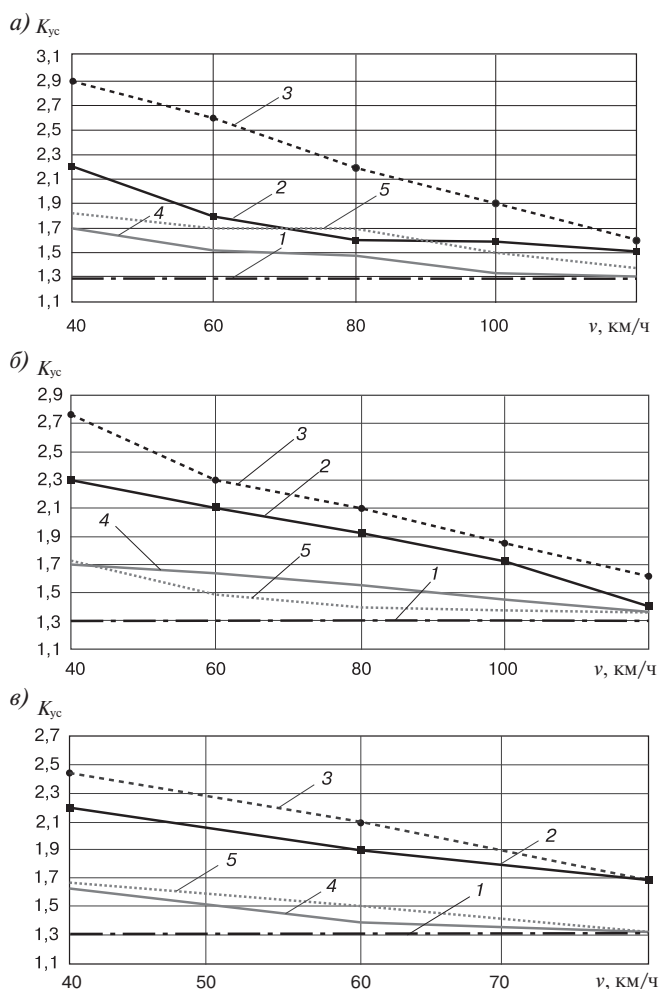


Рис. 1. Коэффициент запаса устойчивости K_{yc} от схода колеса с рельса на прямом участке пути (а), для кривой $R=650$ м (б), кривой $R=350$ м (в) для порожнего вагона: 1 — допускаемый K_{yc} ; 2 — профиль ВНИЦТТ на новых рельсах; 3 — профиль ВНИЦТТ на изношенных рельсах; 4 — профиль ГОСТ 10791–2011 на новых рельсах; 5 — профиль ГОСТ 10791–2011 на изношенных рельсах

Fig. 1. Coefficient of stability K_{yc} from the wheel derailment of an empty car on the tangent section of the track (a), on the curve $R=650$ m (b), on the curve $R=350$ m (c): 1 — allowed K_{yc} ; 2 — VNITsTT profile on new rails; 3 — VNITsTT profile on worn-out rails; 4 — GOST 10791–2011 profile on new rails; 5 — GOST 10791–2011 profile on worn-out rails

радиусом 650 м составляла 40, 60, 80, 100 и 120 км/ч. Движение в кривой радиусом 350 м моделировалось со скоростями 40, 60 и 80 км/ч. Длина прямого участка составляла 20 м, переходной кривой — 180 м для круговой кривой радиусом 650 м и 160 м для круговой кривой радиусом 350 м; возвышение наружного рельса — 0,15 м, ширина колеи — 1520 мм.

Для оценки безопасности движения вагона на колесах с профилем ВНИЦТТ в сравнении с профилем по ГОСТ 10791–2011 были определены ПДК: максимальное отношение рамной силы к статической осевой нагрузке, коэффициент запаса устойчивости от схода колеса с рельса, критическая скорость. В рамках исследования было установлено, что существенного влияния на коэффициенты динамической добавки изменение формы профиля колеса не оказывает.

Результаты расчета приведены на рис. 1–5, на которых изображены определяемые показатели в зависимости от скорости движения на различных участках пути (допускаемые значения на рисунках изображены штрихпунктирной линией).

Применение нового профиля ВНИЦТТ обеспечивает увеличение коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельса в среднем на 30 %, снижение рамных сил на 15 %, критическая скорость извилистого движения колесных пар, несмотря на увеличенную эквивалентную конусность [1], практически не изменилась (увеличение на 6 %). Достаточность критической скорости подтвердила правильность сделанного предположения о преобладании псевдопроскальзывания в продольном направлении над поперечным и необходимости реализовывать вытянутую в поперечном направлении форму пятна контакта.

Также в рамках исследования был произведен расчет износа профиля ВНИЦТТ в сравнении с профилем по ГОСТ 10791–2011. Износ поверхности катания измерен по кругу катания, а износ гребня — на расстоянии 18 мм от его вершины.

Для моделирования был выбран S-образный участок, состоящий из прямой, правой кривой радиусом

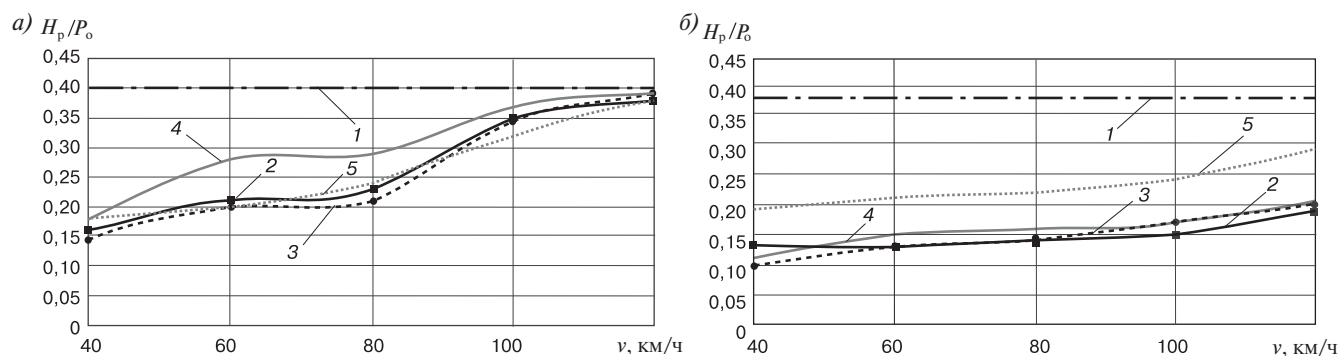


Рис. 2. Максимальное отношение рамной силы H_p к статической осевой нагрузке P_0 на прямом участке пути для порожнего (а) и груженого (б) вагона:

1 — отношение H_p/P_0 ; 2 — профиль ВНИЦТТ на новых рельсах; 3 — профиль ВНИЦТТ на изношенных рельсах; 4 — профиль ГОСТ 10791–2011 на новых рельсах; 5 — профиль ГОСТ 10791–2011 на изношенных рельсах

Fig. 2. Maximum ratio of the frame force H_p to the static axle load P_0 on the tangent section of the track for the empty (a) and loaded (б) car:

1 — H_p/P_0 ratio; 2 — VNITsTT profile on new rails; 3 — VNITsTT profile on worn-out rails; 4 — GOST 10791–2011 profile on new rails; 5 — GOST 10791–2011 profile on worn-out rails

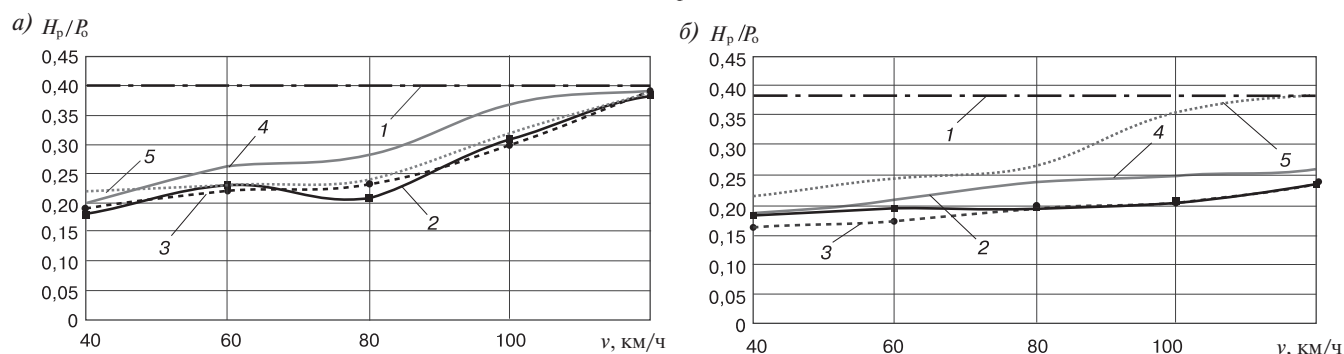


Рис. 3. Максимальное отношение рамной силы к статической осевой нагрузке для кривой R650 м для порожнего (а) и груженого (б) вагона:

1 — отношение H_p/P_0 ; 2 — профиль ВНИЦТТ на новых рельсах; 3 — профиль ВНИЦТТ на изношенных рельсах; 4 — профиль ГОСТ 10791–2011 на новых рельсах; 5 — профиль ГОСТ 10791–2011 на изношенных рельсах

Fig. 3. Maximum ratio of the frame force to the static axle load on the curve $R=650$ m for an empty (a) and loaded (б) car:

1 — H_p/P_0 ratio; 2 — VNITsTT profile on new rails; 3 — VNITsTT profile on worn-out rails; 4 — GOST 10791–2011 profile on new rails; 5 — GOST 10791–2011 profile on worn-out rails

$R=350$ м и левой кривой — $R=650$ м с переходными кривыми, что близко к среднесетевым условиям, где 65 % составляют прямые, 20 % — кривые средних радиусов, 15 % — кривые малых радиусов. Данные значения рекомендованы ГОСТ 33211–2014 [5] и в полной мере соответствуют усредненным статистическим данным по российским железным дорогам [6]. Для расчета износа использовался рельс Р65 (подуклонка 1:20) без износа.

Расчет износа производился с использованием модели абразивного износа Арчарда [3, 7], согласно которой масса изношенного материала пропорциональна работе сил трения, причем различаются фазы слабого и сильного износа. Коэффициент износа был назначен с учетом результатов, полученных в работе [2].

На рис. 6 представлена средняя форма износа профиля колеса по всем колесам, полученная по результатам расчетов в MEDYNA, а на рис. 7 — зависимость износа колеса от пробега.

Форма износа профиля ВНИЦТТ, как видно из рис. 6, принципиально отличается от формы износа

профиля по ГОСТ 10791–2011. В профиле ВНИЦТТ износ протекает равномерно по всей поверхности катания, как и предполагалось в поставленной задаче исследования, в отличие от профиля по ГОСТ 10791–2011 нет преобладания износа гребня, а темпы износа меньше (рис. 7). При применении профиля ВНИЦТТ износ поверхности катания нарастает ориентировочно до пробега 100 тыс. км, после чего резко снижается, в то время как у профиля по ГОСТ 10791–2011 износ нарастает постоянно во всем исследованном диапазоне пробега до 200 тыс. км. Это качественно совпадает с результатами измерений [8, 9]. При сочетании различных комбинаций в статическом состоянии, как видно из рис. 8, область контакта колеса с рельсом практически неизменна и является конформной или близкой к конформной форме контакта. Профиль колеса ВНИЦТТ в процессе моделирования прирабатывается к форме профиля рельса, и зона выкружки и переходной участок от выкружки к кругу катания перенимают очертания

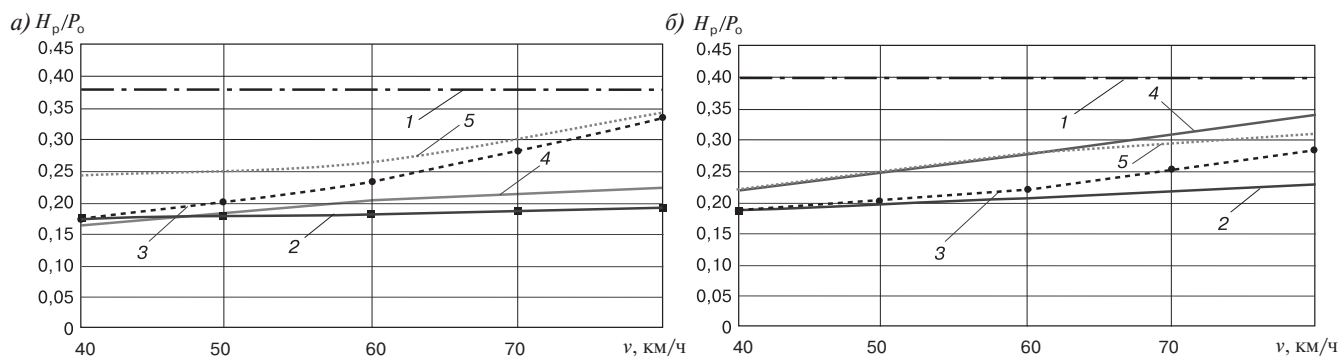


Рис. 4. Максимальное отношение рамной силы к статической осевой нагрузке для кривой $R=350$ м для порожнего (а) и груженого (б) вагона: 1 — отношение H_p/P_0 ; 2 — профиль ВНИЦТТ на новых рельсах; 3 — профиль ВНИЦТТ на изношенных рельсах; 4 — профиль ГОСТ 10791–2011 на новых рельсах; 5 — профиль ГОСТ 10791–2011 на изношенных рельсах
Fig. 4. Maximum ratio of the frame force to the static axle load on the curve $R=350$ m for an empty (a) and loaded (б) car: 1 — H_p/P_0 ratio; 2 — VNITsTT profile on new rails; 3 — VNITsTT profile on worn-out rails; 4 — GOST 10791–2011 profile on new rails; 5 — GOST 10791–2011 profile on worn-out rails

профиля головки рельса, что влечет за собой уменьшение величины поперечных сил и контактных напряжений.

В процессе износа геометрия профиля ВНИЦТТ изменяется несущественно, так, например, на рассматриваемом интервале расчета при пробеге в 60 тыс. км угол наклона гребня сохраняется, как в новом состоянии, на 0,5 мм увеличивается радиус выкружки, износ поверхности катания незначителен.

При пробеге в 200 тыс. км угол наклона гребня составляет 71° , радиус выкружки и переход с радиуса выкружки к центральной части колеса увеличиваются соответственно до 19, 91, 331 мм. В целом по результатам расчетов износ поверхности катания у профиля ВНИЦТТ ниже, чем у профиля по ГОСТ 10791–2011, на 32 %, а износ гребня — ниже на 24 %.

Теоретический расчет ресурса колеса на основе полученных результатов математического моделирования в MEDYNA. На основе приведенных данных в работе [8] выполнен расчет ресурса поверхности катания и

гребня колеса до первой обточкой, по критерию естественного износа.

В табл. 2 представлен средний темп износа для поверхности катания и гребня колеса по результатам математического моделирования. При расчете износа в программном комплексе MEDYNA не предполагается период приработки гребня и поверхности катания колеса, поэтому для расчета было принято решение взять средний темп износа за весь период моделирования.

Для расчета было принято, что запас на износ для гребня $Z_{гр} = 8$ мм для профиля по ГОСТ 10791–2011 и $Z_{гр} = 7,5$ мм для профиля ВНИЦТТ (с учетом, что профиль изначально выбран новый с толщиной гребня 33 и 32,5 мм соответственно) и поверхности катания $Z_{кат} = 9$ мм (предельно допустимый прокат в эксплуатации).

По приведенным формулам (1)–(2) рассчитан предельный ресурс до первой обточкой, отдельно для гребня и поверхности катания колеса:

$$Z_{гр} = \sum_{i=1}^2 \dot{I}_i L_j; \quad (1)$$

$$Z_{кат} = \sum_{i=1}^4 \dot{I}_i L_j, \quad (2)$$

где $\dot{I}_i$ — темп износа, соответствующий каждому шагу расчета; L_j — пробег вагона, отвечающий каждому шагу расчета.

По выполненным расчетам было определено, что ресурс гребня до обточкой для профиля ВНИЦТТ составляет 409,3 тыс. км, а для поверхности катания — 663,3 тыс. км, для профиля по ГОСТ 10791–2011 ресурс для гребня составил 285,6 тыс. км, а для поверхности катания 401,2 тыс. км. Таким образом, применение профиля ВНИЦТТ эффективнее использования профиля по ГОСТ 10791–2011 на 30,2 % для гребня и 39,5 % для поверхности катания.

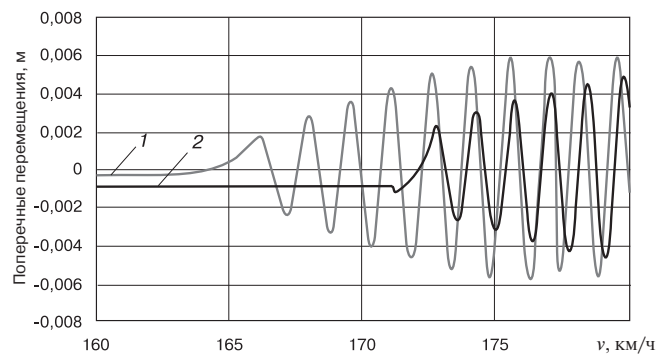


Рис. 5. Зависимость поперечных перемещений колесной пары от скорости движения порожнего вагона на профиле по ГОСТ 10791–2011 (1) и профиле ВНИЦТТ (2)

Fig. 5. Dependence of the transverse displacements of the wheelset on the speed of an empty car on the profile made according to GOST 10791–2011 (1) and the VNITsTT profile (2).

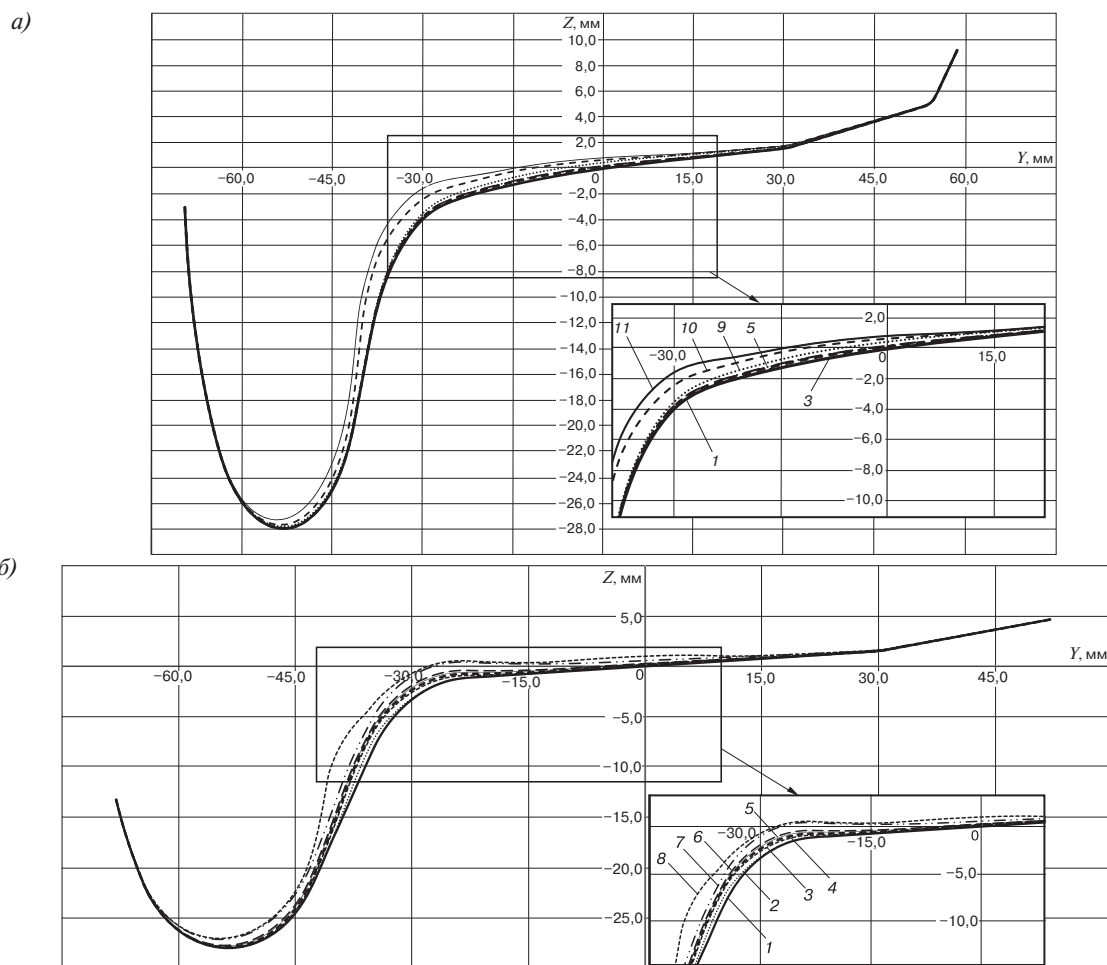


Рис. 6. Форма износа поверхностей катания профиля ВНИЦТТ (а) и профиля по ГОСТ 10791–2011 (б) в паре с новым рельсом Р65: 1 — в новом состоянии; 2 — пробег 20 тыс. км; 3 — пробег 40 тыс. км; 4 — пробег 60 тыс. км; 5 — пробег 80 тыс. км; 6 — пробег 100 тыс. км; 7 — пробег 120 тыс. км; 8 — пробег 140 тыс. км; 9 — пробег 160 тыс. км; 10 — пробег 220 тыс. км; 11 — пробег 250 тыс. км

Fig. 6. Wear form of the rolling surfaces of the VNITsTT profile (a) and the profile according to GOST 10791–2011 (b) together with the new rail R65: 1 — in a new condition; 2 — 20 thousand km mileage; 3 — 40 thousand km mileage; 4 — 60 thousand km mileage; 5 — 80 thousand km mileage; 6 — 100 thousand km mileage; 7 — 120 thousand km mileage; 8 — 140 thousand km mileage; 9 — 160 thousand km mileage; 10 — 220 thousand km mileage; 11 — 250 thousand km mileage

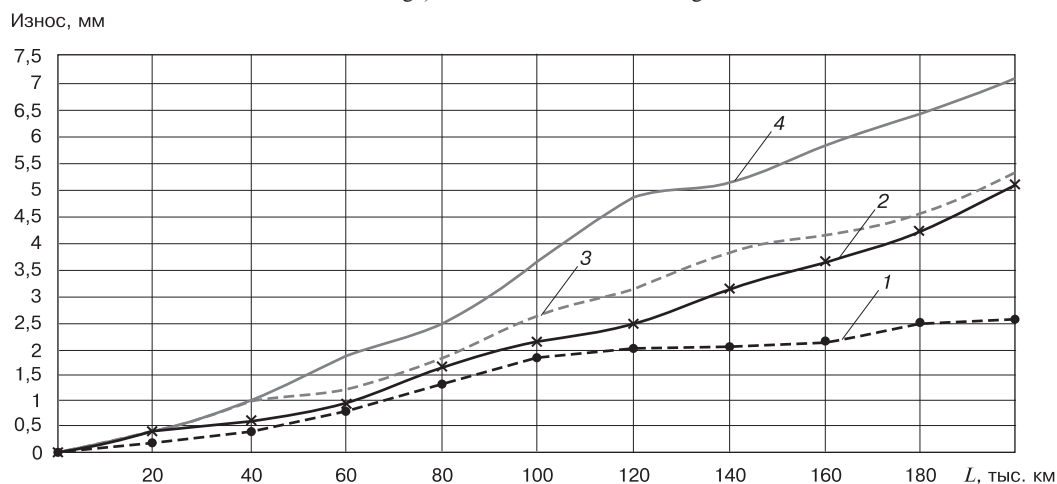


Рис. 7. Зависимость износа профилей колес от пробега: 1 — износ по кругу катания (профиль ВНИЦТТ); 2 — износ по кругу катания (профиль по ГОСТ 10791–2011); 3 — износ гребня (профиль ВНИЦТТ); 4 — износ гребня (профиль по ГОСТ 10791–2011)

Fig. 7. Dependence of the wear profiles of the wheels on track: 1 — wear along tread diameter (VNITsTT profile); 2 — wear along tread diameter (GOST 10791–2011 profile); 3 — flange wear (VNITsTT profile); 4 — flange wear (GOST 10791–2011 profile)

Таблица 2

Показатели темпов износа колес по результатам моделирования и эксплуатации, мм/10 тыс. км

Table 2

Indicators of wheel wear rates according to the results of modeling and operation, mm/10 thousand km

В эксплуатации				Моделирование профиля ВНИЦТТ		Моделирование профиля ГОСТ 10791–2011	
На момент приработки (гребень)	В стационарном режиме (гребень)	На момент приработки (поверхность катания)	В стационарном режиме (поверхность катания)	Гребень	Поверхность катания	Гребень	Поверхность катания
0,381	0,034	0,73	0,71	0,373	0,276	0,576	0,461

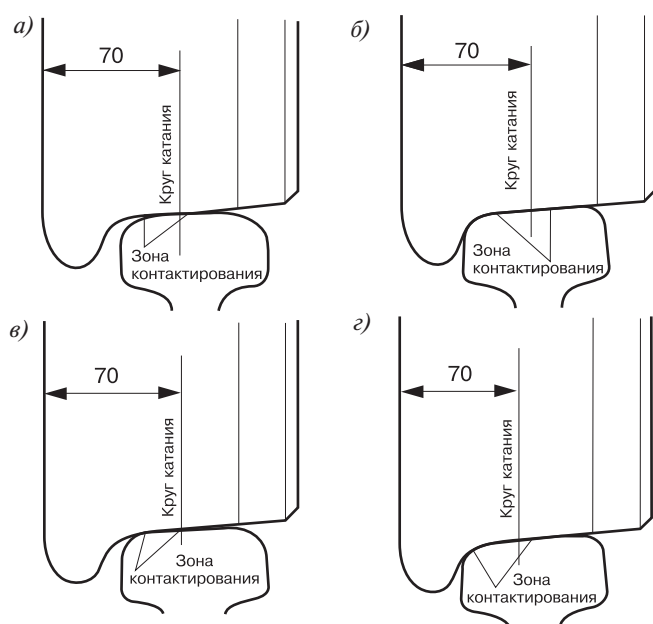


Рис. 8. Комбинации взаимодействия колеса с рельсом:

- а — рельс Р65 (новый), профиль ВНИЦТТ (новый);
 б — рельс Р65 (изношенный), профиль ВНИЦТТ (новый);
 в — рельс Р65 (новый), профиль ВНИЦТТ (изношенный);
 з — рельс Р65 (изношенный), профиль ВНИЦТТ (изношенный)
- Fig. 8. Wheel–rail interaction combinations:
 а — rail R65 (new), VNITsTT profile (new); б — rail R65 (worn-out), VNITsTT profile (new); в — rail R65 (new), VNITsTT profile (worn-out); з — rail R65 (worn-out), VNITsTT profile (worn-out)

Закключение. По результатам выполненных расчетов, используя программный комплекс MEDYNA, были определены ПДК и износ колес, а также рассчитан ресурс до первой обточки колеса для профиля ВНИЦТТ и профиля по ГОСТ 10791–2011 (рис. Б.1).

Разработанный профиль ВНИЦТТ в сравнении с профилем по ГОСТ 10791–2011 по результатам расчетов подтвердил обеспечение нормативных ПДК: коэффициент запаса устойчивости от схода колеса с рельса в среднем увеличился на 30 %, рамные силы снизились на 15 %, критическая скорость извилистого движения колесных пар, несмотря на увеличенную эквивалентную конусность, практически не изменилась (увеличение на 6 %).

По результатам расчета в программном комплексе MEDYNA износ по кругу катания у профиля ВНИЦТТ

оказался ниже, чем у профиля по ГОСТ 10791–2011 на 32 %, а износ гребня — на 24 %.

Выполненные расчеты ресурса колеса до первой обточки показали, что применение профиля ВНИЦТТ эффективнее использования профиля по ГОСТ 10791–2011 на 30,2 % для гребня и 39,5 % для поверхности катания. Результаты теоретического расчета адекватно отразили данные, полученные в программном комплексе MEDYNA, расхождение не превысило 7,5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Орлова А. М., Савушкин Р. А., Федорова В. И. Разработка улучшенного профиля колеса для грузового вагона. Теоретическое обоснование // Вестник ВНИИЖТ. 2018. Т. 77. № 5. С. 269–279. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-5-269-279>.
- Саидова А. В., Орлова А. М. Разработка математических моделей вагонов на тележках 18-9810 и 18-9855 для исследования износов колес // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2013. № 2 (44). С. 118–123.
- Saidova A., Orlova A. Refining the parameters of Archard's wear model for calculating wear of wheels applied for 25 t per axle freight wagons on Russian railways // Vehicle System Dynamics. 2014. Vol. 52. Issue: sup 1. P. 3–15. DOI: 10.1080/00423114.2013.874564.
- Абдурашитов А. Ю., Крысанов Л. Г., Каменский В. Б. Профильное шлифование рельсов. М.: Транспорт, 2001. 79 с.
- ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. М.: Стандартинформ, 2016. 54 с.
- Воробьев А. А., Конограй О. А. Сопоставление территориальных филиалов ОАО «РЖД» по условиям эксплуатации колесных пар подвижного состава // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2015. № 21. С. 98–107.
- Archard J. F. Elastic deformation and the laws of friction // Proc. of the Royal Society of London. Ser. A. Mathematical and Physical Sciences. 1957. Vol. 243. No. 1233. P. 190–205.
- Орлова А. М., Федорова В. И. Анализ существующей ситуации взаимодействия колес и рельсов. Постановка задач исследования // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы XI Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 6–10 июля 2016 г.). СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. С. 121–123.
- Орлова А. М., Федорова В. И. Теоретический расчет ресурса поверхности катания колес на основе экспериментальных наблюдений за вагонами модели 12-9853 на тележках 18-9855 с осевой нагрузкой 25 тс // Известия ПГУПС. 2017. Т. 14. Вып. 4. С. 664–672.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ОРЛОВА Анна Михайловна,
 д-р техн. наук, заместитель генерального директора
 по научно-техническому развитию, ПАО «НПК ОВК»

САВУШКИНА Юлия Викторовна,
канд. экон. наук, директор дирекции аналитических исследований, ООО «ВНИЦТТ»

ФЕДОРОВА Вероника Игоревна,
аспирант, кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,

ФГБОУ ВО ПГУПС; инженер-конструктор ДПХЧ,
ООО «ВНИЦТТ»

Статья поступила в редакцию 17.11.2018 г., актуализирована
17.01.2019 г., принята к публикации 30.01.2019 г.

Modelling car motion and the calculation of the wear of wheels with the VNITsTT rolling surface profile

A. M. ORLOVA¹, Yu. V. SAVUSHKINA², V. I. FEDOROVA²

¹Public Joint-Stock Company "Research and Production Corporation "United Wagon Company" (PJSC "RPC UWC"), Moscow, 115184, Russia

²Limited Liability Company "Russian Research Center for Transport Technologies" (LLC "VNITsTT"), St. Petersburg, 199106, Russia

Abstract. The wear problem of wheels along rolling surface or thin flange is currently involved a large circle of specialists. There are opinions that it is necessary to establish new limit values for wheel wear in operation, put into practice the re-profiling (profile grinding) of rails, install a larger number of floor-mounted lubricators in places of increased rail wear intensity, but one of the priority direction in this area is the development of a new surface rolling wheel profile for freight cars, the use of which will help to increase the turnaround time and increase the service life of the wheels in operation. Geometry of the rolling surface profile of the wheel should allow to provide a contact form between the wheel and the rail conformal or close to conformal. This solution has already found its application and achieved desired results on foreign railways (North America, South Africa, China, etc.). Authors developed a technique for designing a new wheel profile, which was used to build a profile of the rolling surface made by the Russian Research Center for Transport Technologies (LLC "VNITsTT"). As part of the study, calculations were carried out using the method of mathematical modeling of a freight car motion in the MEDYNA software package and performance indicators were evaluated on the VNITsTT rolling surface profile in comparison with the profile made according to GOST 10791–2011, and the wheel wear rate produced on the section of the track close to the average network operating conditions. Additionally, critical speed of the sinuous motion of the car was evaluated, which showed that despite the increased equivalent taper, the critical speed remained almost unchanged (an increase of 6 %). Theoretical calculation of the wheel resource based on the results of mathematical modeling has been made. According to the calculations, it was determined that the resource of the flange before turning for the RDCTT profile is 409.3 thousand km, and for the rolling surface — 663.3 thousand km, for the profile made according to GOST 10791–2011, the resource for the flange was 285.6 thousand km, and for the rolling surface 401.2 thousand km. Thus, the use of the VNITsTT profile is more effective than the profile made according to GOST 10791–2011 by 30.2 % for the flange and 39.5 % for the rolling surface. The developed VNITsTT profile, in comparison with the profile made by GOST 10791–2011, according to the results of calculations, confirmed the provision of standard indicators of the dynamic qualities of a freight car.

Keywords: rolling surface profile of the wheel; railway wheel; freight car; motion modelling; wear modelling

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-1-41-47>

REFERENCES

1. Orlova A. M., Savushkin R. A., Fedorova V. I. *Razrabotka uluchshennogo profilya kolea dlya gruzovogo vagona. Teoreticheskoe obosnovanie* [Development of an improved wheel profile for a freight car. Theoretical justification]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2018, Vol. 77, no. 5, pp. 269–279. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-5-269-279>.

2. Saidova A. V., Orlova A. M. *Razrabotka matematicheskikh modeley vagonov na telezhkakh 18-9810 i 18-9855 dlya issledovaniya iznosov koles* [Development of mathematical models of cars on trucks 18-9810 and 18-9855 for the study of wheel wear]. Nauka i progress transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta [Science and transport progress. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2013, no. 2 (44), pp. 118–123.

3. Saidova A., Orlova A. *Refining the parameters of Archard's wear model for calculating wear of wheels applied for 25 t per axle freight cars on Russian railways*. Vehicle System Dynamics, 2014, Vol. 52, Issue: sup 1, pp. 3–15. DOI: 10.1080/00423114.2013.874564.

4. Abdurashitov A. Yu., Krysanov L. G., Kamenskiy V. B. *Profil'noe shlifovanie rel'sov* [Rail profile grinding]. Moscow, Transport Publ., 2001, 79 p.

5. GOST 33211–2014. *Freight cars. Requirements for strength and dynamic qualities*. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 54 p. (in Russ.).

6. Vorob'ev A. A., Konogray O. A. *Sopostavlenie territorial'nykh filialov OAO "RZD" po usloviyam ekspluatatsii kolesnykh par podvizhnogo sostava* [Comparison of the territorial branches of the JSC "RZD" on the conditions of operation of wheelsets of rolling stock]. Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii [New materials and technologies in mechanical engineering], 2015, no. 21, pp. 98–107.

7. Archard J. F. *Elastic deformation and the laws of friction*. Proc. of the Royal Society of London. Ser. A. Mathematical and Physical Sciences, 1957, Vol. 243, no. 1233, pp. 190–205.

8. Orlova A. M., Fedorova V. I. *Analysis of the existing situation of the interaction of wheels and rails. Setting research objectives*. Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects: materials of the XI Intern. scientific and technical conf. (St. Petersburg, July 6–10, 2016). St. Petersburg, FGBOU VO PGUPS Publ., 2016, pp. 121–123.

9. Orlova A. M., Fedorova V. I. *Theoretical calculation of the rolling surface life of wheels based on experimental observations of model 12-9853 cars on 18-9855 bogies with axle load of 25 tf*. Proceedings of Petersburg Transport University, 2017, Vol. 14, no. 4, pp. 664–672.

ABOUT THE AUTHORS

Anna M. ORLOVA,

Dr. Sci. (Eng.), Deputy General Director for technical and scientific development, RPC UWC

Yuliya V. SAVUSHKINA,

Cand. Sci. (Econ.), Director of the Analytical Research Directorate, LLC "VNITsTT"

Veronika I. FEDOROVA,

Post-graduate, Department "Cars and car facility", FGBOU VO PGUPS; Design Engineer, LLC "VNITsTT"

Received 17.11.2018

Revised 17.01.2019

Accepted 30.01.2019

■ E-mail: vfedorova@tt-center.ru (V. I. Fedorova)