УДК 629.45:629.4.018

DOI: https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-2-65-75

# О допускаемых скоростях движения порожних грузовых вагонов на тележках модели 18-100

# А. М. БРЖЕЗОВСКИЙ<sup>1</sup>, О. А. КРАСНОБАЕВ<sup>1</sup>, А. В. СПИРОВ<sup>2</sup>, И. Е. ИЛЬИН<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия
- <sup>2</sup> Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, 140402, Россия

Аннотация. Проблема обеспечения безопасности движения порожних грузовых вагонов наиболее остро стоит по отношению к вагонам на тележках модели 18-100, что главным образом обусловлено эксплуатационными износами колесных пар, боковых рам и надрессорных балок, а также элементов рессорного подвешивания. Потенциальная угроза безопасности движения возникает при движении поезда, составленного из преимущественно порожних и малозагруженных вагонов, по участкам пути, имеющим отступления геометрии рельсовой колеи III и более высоких степеней или сочетаний и последовательностей отступлений II степени. В статье приведены основные результаты комплексных исследований: математического моделирования динамического взаимодействия пути и порожних грузовых вагонов различных типов с характерными видами износов тележек на основе программного продукта «Универсальный механизм» и полигонных испытаний вагонов на измерительных участках прямой, переходных и круговых кривых радиусом 350, 650, 800, 1000 и 2050 м на участке Белореченская - Майкоп Северо-Кавказской железной дороги. Исследованы динамические качества и устойчивость движения порожних грузовых вагонов различных типов в зависимости от параметров технического состояния ходовых частей и отступлений геометрии рельсовой колеи II и III степеней различных видов и сочетаний при движении в прямых и криволинейных участках пути. Приведены таблицы и графики зависимостей показателей динамических качеств и устойчивости движения универсальных порожних грузовых вагонов различных типов от скорости движения в прямых участках пути и круговых кривых различных радиусов и переходных кривых, содержащих искусственные отступления геометрии рельсовой колеи, наиболее негативно влияющие на безопасность движения. Даны рекомендации по корректировке нормативных документов ОАО «РЖД», регламентирующих допускаемые скорости движения порожних грузовых вагонов в зависимости от технического состояния ходовых частей.

**Ключевые слова:** порожние грузовые вагоны; тележки модели 18-100; параметры технического состояния тележек; геометрия рельсовой колеи; отступления геометрии рельсовой колеи; допускаемые скорости движения

Ведение. Нормами допускаемых скоростей движения подвижного состава в редакции приказа МПС России от 12.11.2001 г. № 41 регламентировались скорости движения грузовых вагонов на тележках модели 18-100 и их аналогов не более 90 км/ч независимо от степени реализованной загрузки исходя из ограничения осевой нагрузки до 23,5 тс [1]. Обобщение резуль-

■ E-mail: s\_brz@mail.ru (А. М. Бржезовский)

татов многочисленных экспериментальных и теоретических исследований, а также статистика случаев брака в поездной работе показали, что тележки модели 18-100 с эксплуатационными износами не обеспечивают скорости движения грузовых вагонов более 70-80 км/ч в порожнем или малозагруженном режиме. Порожние грузовые вагоны более, чем груженые, чувствительны к износам ходовых частей, отступлениям геометрии рельсовой колеи (ГРК), продольным сжимающим силам в поезде. Сходы порожних грузовых вагонов на тележках модели 18-100 с нормативными износами тележек и колесных пар, следующих в организованных поездах в порожнем или малозагруженном режиме по пути с отступлениями ГРК в пределах установленных нормативов, существенно более вероятны, чем груженых вагонов по причине потери устойчивости против вкатывания колеса на головку рельса. Устойчивость порожних вагонов от выжимания при воздействии продольных сжимающих сил величиной 20-30 тс технически не обеспечивается [2, 3].

Нестабильность динамических качеств порожних грузовых вагонов на тележках модели 18-100 обусловлена главным образом нестабильностью параметров демпфирования колебаний обрессоренных масс, реализуемого клиновой системой центрального подвешивания тележек, нерегулируемым трением в пятниковых опорах кузова и в буксовых проемах боковых рам тележек. Так, нестабильность характеристик клиновых гасителей при малых величинах статического прогиба центрального подвешивания приводит к увеличению коэффициентов относительного трения в 2—4 раза по сравнению с расчетными значениями и блокирует свободные колебания вагона в диапазоне эксплуатационных скоростей движения 50—80 км/ч [4].

Фактическая зависимость коэффициента относительного трения в клиновых гасителях от динамического прогиба рессор близка к параболической с максимумом, соответствующим коэффициенту динамических добавок (0,3-0,4). При этом в диапазоне скоростей движения 60-100 км/ч максимальные

вероятные значения сил трения в клиновых гасителях в 2,6—3,6 раза больше, чем в статике [5]. Одним из мероприятий по повышению стабильности демпфирования колебаний и снижению износов трущихся поверхностей без существенной переработки конструкции тележки стала модернизация тележки, проводимая в рамках текущего ремонта по техническим условиям ТУ 32 ЦВ 2459—2007, проект Проектноконструкторского бюро вагонного хозяйства (ПКБ ЦВ) М1698 [6]. По данным Центральной дирекции инфраструктуры (ЦДИ) ОАО «РЖД», около 95% рабочего парка грузовых вагонов, обращающихся на железнодорожном пути с шириной колеи 1520 мм, оборудовано тележками модели 18-100, прошедшими модернизацию.

Последующие результаты испытаний показали, что максимальные скорости движения из условия обеспечения нормативного уровня критериев динамических качеств и устойчивости движения на пути с удовлетворительным техническим состоянием по ГРК не превышали 70 км/ч для вагонов с модернизированными тележками и 60 км/ч для вагонов с тележками, не прошедшими модернизацию. Указанные уровни скоростей были регламентированы Нормами допускаемых скоростей движения [7], однако применение установленных ограничений скорости движения привело к снижению провозной способности на направлениях сети железных дорог с преимущественным движением порожних грузовых поездов. Потребовался поиск дополнительных решений по повышению скоростей движения при фактическом эксплуатационном состоянии тележек модели 18-100 в совокупности с предложениями по регламентированию отступлений ГРК, не требующих дополнительного ограничения допускаемых скоростей движения порожних вагонов [8–11].

Для изыскания возможности повышения скоростей движения порожних грузовых вагонов на тележках модели 18-100 с нормативными эксплуатационными износами в рамках плана научно-технического развития ОАО «РЖД» АО «ВНИИЖТ» и АО «ВНИКТИ» в 2018—2019 гг. проводились совместные исследования, в ходе которых была изучена группа факторов, оказывающих наибольшее влияние на ограничение скоростей движения порожних грузовых вагонов на тележках модели 18-100.

Начальный этап работы. Были выполнены теоретические исследования влияния на устойчивость движения порожних вагонов фактических параметров текущего технического состояния тележек и отступлений ГРК в прямых и кривых участках пути. Исследования выполнялись с использованием программного комплекса «Универсальный механизм» [12] на цифровых моделях грузовых вагонов различных типов на тележках модели 18-100. Задавались следующие параметры

вагонов: хоппер с базой кузова 7,2 м массой 22 т; цистерна с базой кузова 7,8 м массой 24 т; полувагон с базой кузова 8,65 м массой 22 т. Модель образована 19 абсолютно твердыми телами (кузов, две надрессорные балки, 4 боковых рамы, 8 клиньев, 4 колесные пары) и имеет 114 степеней свободы (по 6 степеней свободы для каждого тела). Структурное представление модели основано на использовании метода подсистем; дерево подсистем представлено на рис. 1.

На нижнем уровне расположены две подсистемы: стандартная подсистема «Колесная пара» (КП) и подсистема «Клин»; подсистема «Тележка» образована двумя включенными подсистемами «КП», четырьмя включенными подсистемами «Клин». (Подсистемы: надрессорные балки, боковые рамы, пружинные комплекты на рис. 1 не показаны.)

По результатам многочисленных исследований, как экспериментальных, так и теоретических [13], установлено, что при наличии на колесах проката 2-3 мм существенно ухудшаются ходовые качества порожних вагонов на тележках модели 18-100 и аналогичных ей по конструкции. Для моделирования из имеющейся базы профилей колес грузовых вагонов, созданной по результатам обмеров профилометром осенью 2018 г. колес большого количества вагонов, находящихся в эксплуатации, выбирались профили с прокатом от 0 до 4 мм и с толщиной гребня от 26 до 32 мм. Для каждого из профилей проводилось моделирование движения вагонов различных типов исходного состояния по прямому участку пути с отличным, хорошим и удовлетворительным состоянием со скоростями от 60 до 90 км/ч.

Определялись рамные силы, вертикальные и горизонтальные (поперечные) ускорения кузова, коэффициенты запаса устойчивости против схода колеса с рельса, углы поворота тележек относительно кузова, прогибы пружин рессорного подвешивания, коэффициенты вертикальной динамики по пружинам, вертикальные и боковые силы, передающиеся от колес на рельсы, поперечное положение колес в колее (зазор между гребнем и боковой гранью головки рельса), вертикальное и горизонтальное отклонения рельсов под колесами. Нормативные значения показателей принимались в соответствии с требованиями стандартов [14, 15].

Путевая инфраструктура была смоделирована в виде прямой и криволинейного участка пути, состоявшего из круговой кривой постоянного радиуса 650 и 850 м с возвышением наружного рельса 100 мм и длиной переходных кривых 80 м, что соответствовало отводу возвышения, равному 1,25 мм/м. Упругие свойства пути с рельсами P65 учитывались путем введения жесткостей каждого из рельсов в вертикальном (44 МН/м) и горизонтальном (18 МН/м) направлениях. Головка рельса имела неизношенный профиль; подуклонка рельса составляла 1/20. Отступ-

66 © AO «ВНИИЖТ», 2021

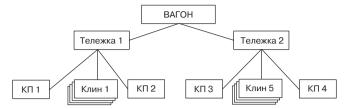
ления ГРК задавались в детерминированном виде с набором неровностей, соответствовавших последовательностям и сочетаниям отступлений, регламентированным нормативами МПС России [8, 9]. В круговой кривой отступления моделировались на расстоянии 30 м от ее начала, в переходных кривых — на расстоянии 15 м от окончания прямой и заканчивались за 15 м до начала круговой кривой. Исследовались следующие варианты отступлений ГРК:

- 3 просадки величиной 15 мм на длине 30 м;
- 8 просадок величиной 15 мм на длине 100 м;
- 3 рихтовки величиной 25 мм на длине 20 м на протяжении 100 м;
- 2 перекоса величиной 12 мм с расстоянием между вершинами 15 м;
- сочетание перекоса величиной 12 мм на длине 10 м и рихтовки величиной 15 мм на длине 20 м;
- сочетание просадки величиной 15 мм на длине 10 м и рихтовки величиной 15 мм на длине 10 м, а также отдельно расположенные перекос величиной 16 мм на длине 10 м, просадка величиной 20 мм на длине 10 м, рихтовка величиной 25 мм на длине 20 м.

Анализ расчетных данных показал, что при прокате колес 2-3 мм, соответствующем эквивалентной конусности 0,11-0,13, значительно повышается амплитуда виляния тележек с частотой 2,2-2,4 Гц по сравнению с колесами с меньшим прокатом и прокатом 4 мм и более, уменьшаются минимальные значения коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса (рис. 2 и 3).

По результатам моделирования установлено также, что сочетание перекоса величиной 12 мм на длине 10 м и рихтовки величиной 15 мм на длине 10 м наиболее неблагоприятно при расположении в переходных участках кривых радиусом 850 м для движения цистерны со скоростью 90 км/ч: минимальное значение коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса при расположении указанного сочетания отступлений отмечалось во втором по направлению движения переходном участке — 1,03 (рис. 4).

Минимальное значение коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса получено на первом колесе, набегающем на наружный рельс при прохождении неровностей на длине 0,5 м. Исследованиями [16, 17, 18] установлено, что минимально необходимая длина пути вкатывания колеса гребнем на головку рельса составляет около 0,8 м. В то же время при возникновении какого-либо дополнительного фактора, способствующего увеличению рамной силы или обезгрузки набегающего колеса (например, при торможении поезда), вероятность возникновения схода может резко увеличиться. Влияние времени и пути вкатывания колеса на устойчивость движения в данном исследовании не рассматривалось. Результаты моделирования учитывались



Puc. 1. Структура подсистем модели Fig. 1. Model subsystem structure

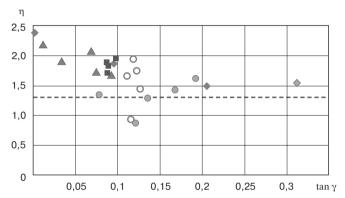


Рис. 2. Минимальные расчетные значения коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса η порожней цистерны при скорости движения 90 км/ч в зависимости от эквивалентной конусности tan γ:

- ▲ прокат 0 мм
  О прокат 2 мм
  ◆ прокат 4 мм
- прокат 1 мм
   прокат 3 мм
  --- нормативное значение

Fig. 2. Minimum calculated values of the safety factor of stability against wheel derailment from the rail  $\eta$  of an empty tank at a speed of 90 km/h, depending on the equivalent taper  $tan\gamma$ :

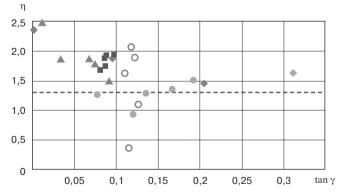


Рис. 3. Минимальные расчетные значения коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса порожнего полувагона при скорости движения 90 км/ч в зависимости от эквивалентной конусности:

▲ прокат 0 мм
 ○ прокат 2 мм
 ◆ прокат 4 мм
 ■ прокат 1 мм
 ● прокат 3 мм
 --- нормативное значение

Fig. 3. Minimum calculated values of the safety factor of stability against wheel derailment from the rail of an empty gondola car at a speed of 90 km/h, depending on the equivalent taper:

- © АО «ВНИИЖТ», 2021 67

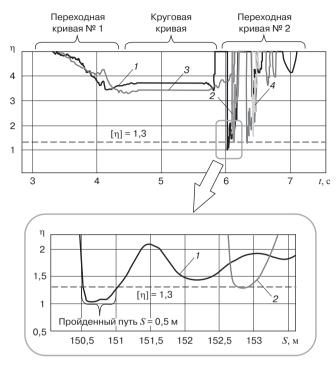


Рис. 4. Расчетные осциллограммы коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса при движении цистерны по кривой радиусом 850 м со скоростью 90 км/ч с расположенным в переходном участке сочетанием перекоса величиной 12 мм и рихтовки величиной 15 мм на длине 10 м:

1— 1-е колесо; 2— 2-е колесо; 3— 3-е колесо; 4— 4-е колесо Fig. 4. Calculated oscillograms of the safety factor of stability against wheel derailment from the rail when the tank moves along a curve with a radius of 850 m at a speed of 90 km/h with a combination of a skew of 12 mm and a straightening of 15 mm at a length of 10 m located in the easement section:

1-1<sup>st</sup> wheel; 2-2<sup>nd</sup> wheel; 3-3<sup>rd</sup> wheel; 4-4<sup>th</sup> wheel

при формировании программы и методики натурных экспериментов.

На рельсовых нитях измерительных участков пути Скоростного испытательного полигона (СИП) АО «ВНИИЖТ» были искусственно созданы отступления ГРК (табл. 1).

Степени отступлений приняты в соответствии с параметрами, установленными нормативами [11]. Для

сравнительной оценки влияния на устойчивость движения отступлений ГРК в пределах измерительных участков пути выделялись также участки с балловой оценкой «отлично» и «хорошо» при наличии одиночных отступлений не выше II степени.

Испытания на измерительных участках пути СИП (рис. 5) проводились со скоростями движения в диапазоне от 40 до 90 км/ч.

Для проведения испытаний был сформирован поезд из двух локомотивов, опытных вагонов и вагоналаборатории. Схема формирования опытного поезда приведена на рис. 6.

В качестве опытных вагонов были отобраны из эксплуатации грузовые вагоны различных типов на тележках модели 18-100 с износами ходовых частей в пределах допускаемых значений (табл. 2).

Перед началом испытаний опытные вагоны были подвергнуты визуальному контролю и измерениям (табл. 3).

С целью имитации технического состояния немодернизированных тележек на одной из тележек цистерны № 75001339 были демонтированы износостойкие элементы, установленные при модернизации по техническим условиям ТУ 32 ЦВ 2459—2007 [6].

Кроме этого, были подкачены КП с толщиной гребня 24,0 мм и равномерным прокатом 4,3 мм. Цистерна № 77323624 испытывалась в двух вариантах. В первом варианте (табл. 3) были подкачены КП с толщиной гребня 24,3—29,9 мм и равномерным прокатом 0—1,5 мм, во втором варианте (табл. 3) — с толщиной гребня 29,8—33,0 мм и равномерным прокатом не более 0,7 мм.

Коэффициенты относительного трения клиновых гасителей центрального подвешивания опытных порожних вагонов, полученные по результатам статических тарировок, составляли 0,10-0,20 и, как правило, не совпадали по величинам даже по рессорным комплектам одной тележки.

По результатам испытаний на пути с балловой оценкой «отлично» и «хорошо» при наличии одиночных отступлений ГРК не выше II степени установлено следующее.

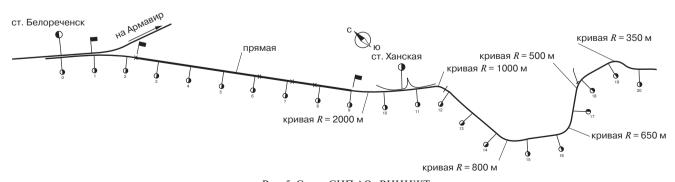


Рис. 5. Схема СИП АО «ВНИИЖТ» Fig. 5. Scheme of the High-Speed Testing Ground of JSC "VNIIZHT"

При движении по прямому участку пути со скоростями до 90 км/ч динамические показатели опытных вагонов оказались ниже нормативных значений, за исключением цистерны № 77323624 (вариант 2) и платформы № 44716975, по которым зафиксировано превышение показателей коэффициента вертикальной динамики необрессоренных частей тележки и снижение коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса. Предельные допускаемые значения коэффициента вертикальной динамики необрессоренных частей тележки по указанным вагонам достигались уже при скорости движения 80 км/ч. При этом устойчивость против схода данных вагонов обеспечивалась достаточным коэффициентом запаса. Исходя из этого, максимальные скорости движения грузовых поездов, имеющих в составе 4-осные порожние грузовые вагоны на тележках модели 18-100 и на аналогичных ей по конструкции и параметрам тележках, составляют не более 80 км/ч.

При движении опытных вагонов со скоростями до 80 км/ч в кривой радиусом 800 м динамические показатели не превышали нормативных значений. По цистерне № 77323624 (вариант 2), платформе № 44716975 и хопперу зафиксированы предельные значения коэффициента вертикальной динамики необрессоренных частей тележки, но не превышающие допустимых значений. При этом обеспечивалась устойчивость против схода данных вагонов. Таким образом, можно рекомендовать в кривых участках пути радиусом 800 м и более установление максимальных допускаемых скоростей движения грузовых поездов, имеющих в составе 4-осные порожние грузовые вагоны на тележках модели 18-100 и на аналогичных ей по конструкции и параметрам тележках, не более 80 км/ч.

При движении всех опытных вагонов со скоростями до 90 км/ч в кривой радиусом 650 м превышение нормативных значений динамических показателей зафиксировано по хопперу (коэффициент вертикальной динамики необрессоренных частей). При движении со скоростями до 80 км/ч по платформе № 44716975 получено превышение нормативных значений по коэффициенту вертикальной динамики необрессоренных частей и вертикальным ускорениям кузова. При движении со скоростями до 70 км/ч на платформе № 44716975 зафиксированы предельные значения динамических показателей (коэффициент вертикальной динамики необрессоренных частей тележки, вертикальные ускорения обрессоренных частей), но не превышающие допустимых значений. Устойчивость против схода платформы № 44716975 при этом была обеспечена. Для остальных вагонов при движении со скоростями до 70 км/ч динамические показатели не превышали нормативных значений. Таким образом, можно рекомендовать в кривых участках пути радиуТаблица 1

#### Сочетания, последовательности и одиночные отступления ГРК на измерительных участках СИП

Table 1

# Combinations, sequences and single deviations of the track geometry in the measuring sections of the High-Speed Testing Ground

Измеритель- ный участок	Тип отступления, амплитуда, мм/длина, м	Форма отступления	Оценки отступлений по Временной инструкции [11]		
			Сте- пень	Балл	
Прямая 7 км 8 пк	перекос (16/14)	Сочетание	III	22	
	рихтовка (27/26)	двух перекосов с рихтовкой на	II	3	
	перекос (17/18)	длине 25 м	III	28	
Кривая <i>R</i> = 350 м 20 км 3 пк (круговая кривая)	рихтовка (12/17)	Сочетание рихтовки с	I	0	
	перекос (10/9)	перекосом на длине 20 м	II	0	
Кривая <i>R</i> =650 м 17 км 3 пк (круговая кривая)	перекос (12/12)	Сочетание	II	2	
	рихтовка (31/28)	перекоса с дву- мя рихтовками	III	4	
	просадка (13/4)	и просадкой на	II	1	
	рихтовка (32/22)	длине 25 м	III	4	
Кривая <i>R</i> = 650 м	перекос (13/9)	Сочетание	III	4	
16 км 10 пк (переходная)	рихтовка (35/30)	перекоса с двумя рихтов-	III	6	
	просадка (12/6)	ками и одной просадкой на	II	0	
	рихтовка (18/34)	длине 42 м	I	0	
Кривая <i>R</i> =800 м 15 км 7 пк (пере- ходная)	рихтовка (33/16)	Одиночное отступление	IV	40	
Кривая <i>R</i> =800 м 15 км 6 пк (круговая)	рихтовка (34/16)	Одиночное отступление	IV	60	

Таблица 2

#### Параметры опытных вагонов

Table 2

# Test car parameters

Тип, номер вагона	Масса тары, т	Длина по осям сцепления автосцепок, мм	База вагона, мм
Полувагон № 62451059	23,6	13 920	8650
Цистерна № 77323624	24,4	12 020	7800
Цистерна № 75001339	27,6	12 020	7800
Платформа № 44716975	20,9	14 620	9720
Платформа № 44667582	20,8	14 620	9720
Хоппер № 30817589	23,1	11 520	7200

сом 650 м установление максимальных допускаемых скоростей движения грузовых поездов, имеющих в составе 4-осные порожние грузовые вагоны на тележках

Таблица 3

#### Фактические показатели технического состояния тележек вагонов

Table 3

#### Actual indicators of the technical condition of car bogies

Тип,	Толщина гребня, мм			Прокат, мм			Положение клина, мм					
номер вагона	1 КП	2 КП	3 КП	4 KΠ	1 КП	2 КП	3 КП	4 KΠ	1 комплект	2 комплект	3 комплект	4 комплект
Полувагон № 62451059	28,8	28,9	28,7	29,4	0,5	0,6	0,7	0,4	-6	-2	+2	+5
	29,5	29,5	29,7	29,2	0,4	0,4	0,5	0,1	+6	-4	+4	+2
Платформа № 44716975	30,5	28,4	29,2	29,0	0,2	0,7	0,1	0,3	-4	_9	-8	-8
	28,2	28,1	29,6	29,2	0,6	0,9	0	0,2	-3	-12	-5	-3
Платформа № 44667582	28,6	29,9	30,0	29,2	0,8	0,6	0	0,4	-4	-9	-8	-8
	29,2	30,5	29,6	28,9	0,8	0,3	0,3	0,2	-3	-12	-5	-3
Хоппер № 30817589	29,5	29,8	30,0	30,4	0,2	0,1	0,1	0,3	+2	-2	-2	+2
	30,0	29,5	30,2	31,0	0,2	0,2	0,1	0,4	0	+2	+2	-3
Цистерна № 75001339	24,0	24,7	32,8	28,8	4,3	0,8	0	0	-6	-5	-4	-3
	28,9	26,9	32,7	29,8	1,8	0,6	0	0	-14	-4	+2	-5
Цистерна № 77323624 1 вариант	29,9	28,6	30,9	33,0	0,1	0,1	0	0,2	-6	0	+4	-6
	25,3	24,3	30,2	31,7	1,3	1,5	0,2	0,2	0	-2	+3	-5
Цистерна № 77323624 2 вариант	30,4	30,4	30,9	33,0	0,4	0	0	0,2	-11	0	+4	-6
	29,8	30,6	30,2	31,7	0,7	0,3	0,2	0,2	-8	-4	+3	-5

Примечание: знак «+» — завышение, знак «-» — занижение клина относительно опорной поверхности надрессорной балки тележки.

модели 18-100 и на аналогичных ей по конструкции и параметрам тележках, не более 70 км/ч.

При движении опытных вагонов со скоростями до 80 км/ч в кривой радиусом 350 м превышение нормативных значений коэффициента вертикальной динамики необрессоренных частей зафиксировано на цистерне № 77323624 (вариант 2), платформе № 44716975 и хоппере, на платформе № 44716975 и хоппере зафиксировано также превышение показателей вертикальных ускорений обрессоренных частей. Кроме этого, при скорости движения 80 км/ч по хопперу не обеспечивалась устойчивость против схода (коэффициент запаса устойчивости против схода колеса с рельса был ниже допускаемого значения). При скорости движения 70 км/ч по платформе № 44716975 и хопперу зафиксированы предельные значения показателей коэффициента вертикальной динамики необрессоренных частей и вертикальных ускорений обрессоренных частей.

При этом обеспечивалась устойчивость против схода платформы № 44716975 и хоппера. Таким образом, можно рекомендовать в кривых участках пути радиусом 350 м установление максимальных допускаемых скоростей движения грузовых поездов, имеющих в составе 4-осные порожние грузовые вагоны на тележках модели 18-100 и на аналогичных ей по конструкции и параметрам тележках, не более 70 км/ч.

На основании результатов испытаний с учетом фактического разброса параметров поверхностей катания колес (наименьшая толщина гребня 24 мм, наибольший прокат 4,3 мм) можно рекомендовать установление следующих допускаемых скоростей движения грузовых поездов, имеющих в составе 4-осные порожние грузовые вагоны на тележках модели 18-100 и на аналогичных ей по конструкции и параметрам тележках, на участках пути с балловой оценкой «отлично» и «хорошо» при наличии одиноч-

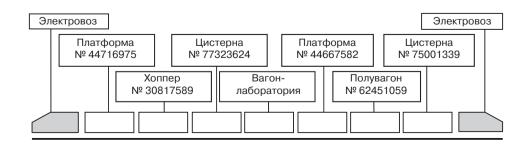


Рис. 6. Схема формирования опытного поезда
Fig. 6. Scheme of the formation of a test train

ных отступлений ГРК не выше II степени: в прямых и кривых участках радиусом 800 м и более — не более 80 км/ч; в кривых радиусом 799 м и менее — не более 70 км/ч.

При движении опытных вагонов по участкам пути с наиболее неблагоприятными отступлениями ГРК со скоростями до 90 км/ч установлено следующее. В прямых участках пути динамические показатели опытных вагонов не превышали нормативных значений, за исключением цистерны № 77323624 (вариант 2), платформы № 44716975 и хоппера, по которым зафиксировано превышение допускаемых значений коэффициента вертикальной динамики необрессоренных частей тележки, вертикальных ускорений обрессоренных частей и коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса. При скорости движения 80 км/ч по цистерне № 77323624 (варианты 1 и 2) и платформе № 44716975 зафиксировано превышение допускаемых значений коэффициента вертикальной динамики необрессоренных частей тележки, а для платформы еще и превышение допускаемых значений вертикальных ускорений обрессоренных частей. При скорости движения 70 км/ч для всех вагонов динамические показатели не превышали нормативных значений. Предельное значение по показателю коэффициента вертикальной динамики необрессоренных частей тележки при скорости 70 км/ч было достигнуто только для цистерны № 77323624 (вариант 1) на тележках без модернизации по техническим условиям ТУ 32 ЦВ 2459-2007. При этом обеспечивалась устойчивость цистерны против схода.

При движении порожних вагонов в переходной и круговой кривой радиусом 800 м с отступлениями по рихтовке III степени со скоростями до 70 км/ч все контролируемые показатели динамических качеств находились в пределах нормативных значений. При скоростях движения более 70 км/ч зафиксировано превышение нормативных показателей на платформах, цистерне № 75001339 и хоппере.

При движении порожних вагонов в кривой радиусом 650 м с сочетанием отступлений по перекосу II степени и рихтовке II степени, а также с сочетанием отступлений по просадке II степени с рихтовкой II степени все контролируемые показатели динамических качеств находились в пределах нормативных значений при скоростях до 60 км/ч.

В связи с большим объемом экспериментальной информации приведены иллюстративные материалы (рис. 7-10), относящиеся к зависимостям наибольших показателей динамических качеств и наименьших значений запаса устойчивости против вкатывания колеса на головку рельса, зарегистрированным при движении порожних вагонов по кривой радиусом  $650 \,\mathrm{m}$  с наибольшим набором неблагоприятных отступлений  $\Gamma \mathrm{PK}$ .

При скорости движения 70 км/ч предельный уровень показателей динамических качеств достигался по платформам и цистерне № 77323624 (2 вариант). При движении со скоростями до 80 км/ч в кривой радиусом 350 м с сочетанием отступлений по перекосу II степени с рихтовкой II степени зафиксировано превышение нормативных значений показателей рамных сил, коэффициентов вертикальной динамики обрессоренных и

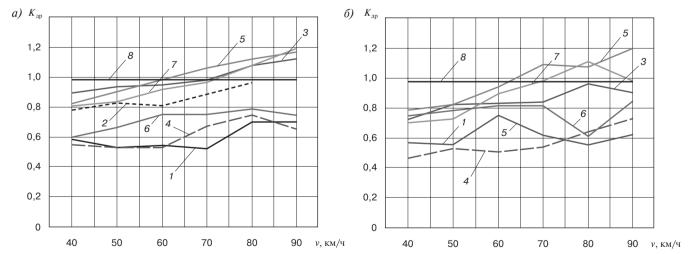


Рис. 7. Коэффициент вертикальной динамики необрессоренных частей  $K_{\pi p}$  в кривой радиусом 650 м (a) и в переходной кривой ( $\delta$ ): I — полувагон № 62451059; 2 — цистерна № 77323624 (1 вариант); 3 — цистерна № 77323624 (2 вариант); 4 — цистерна № 75001339; 5 — платформа № 44716975; 6 — платформа № 44667582; 7 — хоппер № 30817589; 8 — нормативное значение Fig. 7. Coefficient of vertical dynamics of unsprung parts  $K_{\pi p}$  in a curve with a radius of 650 m (a) and in easement curve ( $\delta$ ): I — gondola car no. 62451059; 2 — tank no. 77323624 (option 1); 3 — tank no. 77323624 (option 2); 4 — tank no. 75001339; 5 — platform no. 44716975; 6 — platform no. 44667582; 7 — hopper no. 30817589; 8 — normative value

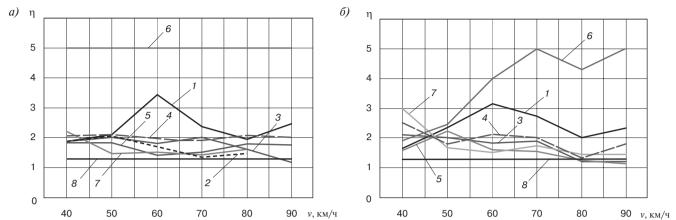


Рис. 8. Коэффициент запаса устойчивости против схода колеса с рельса в кривой радиусом 650 м (*a*) и в переходной кривой (*б*): *I* — полувагон № 62451059; *2* — цистерна № 77323624 (1 вариант); *3* — цистерна № 77323624 (2 вариант); *4* — цистерна № 75001339; *5* — платформа № 44716975; *6* — платформа № 44667582; 7 — хоппер № 30817589; *8* — нормативное значение Fig. 8. Safety factor of stability against wheel derailment from the rail in a curve with a radius of 650 m (*a*) and in easement curve (*б*): *I* — gondola car no. 62451059; *2* — tank no. 77323624 (option 1); *3* — tank no. 77323624 (option 2); *4* — tank no. 75001339; *5* — platform no. 44716975; *6* — platform no. 44667582; 7 — hopper no. 30817589; *8* — normative value

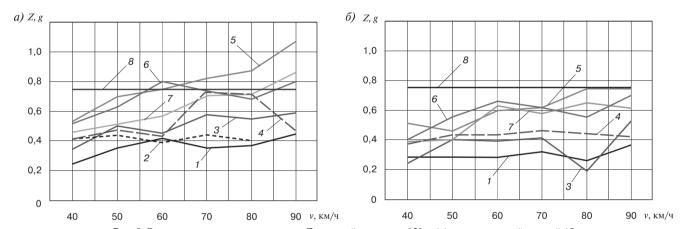


Рис. 9. Вертикальные ускорения кузова Z в кривой радиусом 650 м (a) и в переходной кривой ( $\delta$ ): I — полувагон № 62451059; 2 — цистерна № 77323624 (1 вариант); 3 — цистерна № 77323624 (2 вариант); 4 — цистерна № 75001339; 5 — платформа № 44716975;  $\delta$  — платформа № 44667582; 7 — хоппер № 30817589;  $\delta$  — нормативное значение Fig. 9. Vertical acceleration of the body Z in the curve with a radius of 650 m (a) and in easement curve ( $\delta$ ): I — gondola car no. 62451059; 2 — tank no. 77323624 (option 1); 3 — tank no. 77323624 (option 2); 4 — tank no. 75001339; 5 — platform no. 44716975;  $\delta$  — platform no. 44667582; 7 — hopper no. 30817589;  $\delta$  — normative value

необрессоренных частей, вертикальных ускорений у платформы № 44716975, хоппера и цистерн. По платформе № 44667582 и хопперу зафиксировано превышение нормативных значений коэффициента вертикальной динамики необрессоренных частей и вертикальных ускорений при скорости движения 70 км/ч.

Результаты экспериментальных исследований позволили сформировать предложения для внесения изменений в нормативную документацию ОАО «РЖД», относящуюся к установлению допускаемых скоростей движения порожних грузовых вагонов на тележках модели 18-100.

Даны предложения по корректировке нормативов по оценке состояния рельсовой колеи путеизмеритель-

ными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения [10, 11]. В частности, по Дополнительным нормативам по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами [10] предложено исключить примечание 3 к табл. 4.4 «при обнаружении в кривых радиусом менее 850 м перекоса длиной до 10 м и величиной более 13 мм скорость для грузовых поездов, имеющих в своем составе порожние вагоны, ограничивается до 60 км/ч»; исключить примечание к табл. 4.6; примечание 1 к табл. 4.8 изложить в следующей редакции: «в кривых радиусом менее 650 м, для грузовых поездов, имеющих в своем составе порожние вагоны». Указанные предложения переданы для рассмотрения и согласования в ЦП ЦДИ ОАО «РЖД».

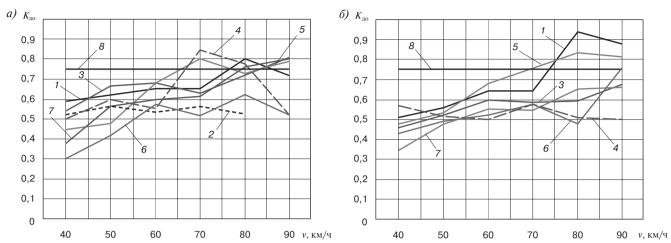


Рис. 10. Коэффициент вертикальной динамики обрессоренных частей  $K_{n0}$  в кривой радиусом 650 м (a) и в переходной кривой  $(\delta)$ : I — полувагон № 62451059; 2 — цистерна № 77323624 (1 вариант); 3 — цистерна № 77323624 (2 вариант); 4 — цистерна № 75001339; 5 — платформа № 44716975; 6 — платформа № 44667582; 7 — хоппер № 30817589; 8 — нормативное значение Fig. 10. Coefficient of vertical dynamics of sprung parts  $K_{n0}$  in a curve with a radius of 650 m (a) and in easement curve  $(\delta)$ : I — gondola car no. 62451059; 2 — tank no. 77323624 (option 1); 3 — tank no. 77323624 (option 2); 4 — tank no. 75001339; 5 — platform no. 44716975; 6 — platform no. 44667582; 7 — hopper no. 30817589; 8 — normative value

Заключение. Результаты комплекса теоретических и экспериментальных работ, проведенных совместно АО «ВНИИЖТ» и АО «ВНИКТИ» в рамках плана HTP OAO «РЖД», позволили дать конкретные предложения по отмене ограничений допускаемой скорости движения (не более 60 км/ч) для тележек без модернизации по техническим условиями ТУ 32 ЦВ 2459—2007 и повышению допускаемой скорости движения в прямых участках до 80 км/ч. Эти предложения введены в действие распорядительными документами ОАО «РЖД», в том числе распоряжением ОАО «РЖД» от 6 апреля 2020 г. № 763/р «О внесении изменений в распоряжение ОАО «РЖД» от 8 ноября 2016 г. № 2240р "О нормах допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм"».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм федерального железнодорожного транспорта: приказ МПС РФ от 12 ноября 2001 г. № 41. М.: Транспорт, 2001. 125 с.
- 2. Вершинский С.В. Устойчивость вагонов от выжимания продольными силами при торможении поезда // Труды ЦНИИ МПС. М., 1970. Вып. 425. С. 4—38.
- 3. Лысюк В.С. Причины и механизм схода колеса с рельса. Проблема износа колес и рельсов. М.: Транспорт, 1997. 188 с.
- 4. Требования к конструкции двухосных тележек грузовых вагонов для перспективных условий эксплуатации / Л. И. Бартенева [и др.] // Труды ВНИИЖТ. М., 1973. Вып. 483. С. 14–21.
- 5. Анисимов П.С. Исследование сил трения в клиновом гасителе колебаний тележки ЦНИИ-X3 // Труды ВНИИЖТ. М., 1974. Вып. 519. С. 164—174.
- 6. Износостойкие элементы для установки в узлы тележки типа 2 грузовых вагонов. Технические условия: (ТУ 32 ЦВ 2459–2007) [Электронный ресурс] / ПКБ ЦВ ОАО «РЖД». М., 2007. 13 с. URL:

http://www.1bm.ru/techdocs/kgs/tu/274/info/188704 (дата обращения: 16.07.2020 г.).

- 7. О нормах допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм [Электронный ресурс]: распоряжение ОАО «РЖД» от 8 ноября 2016 г. № 2240р. М., 2016. 142 с. URL: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=675788 (дата обращения:  $16.07.2020 \, \Gamma$ .).
- 8. О внесении изменений и дополнений в Инструкцию по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по по-казаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения [Электронный ресурс]: приказ МПС РФ от 1 сентября 2001 г. № 27Ц, URL: https://docs.cntd.ru/document/564292506 (дата обращения: 16.07.2020 г.).
- 9. О дополнительных мерах по повышению устойчивости порожних грузовых вагонов при прохождении кривых участков пути [Электронный ресурс]: приказ МПС РФ от 27 апреля 2002 г. № 20Ц. М., 2002. 8 с. URL: https://beta.docs.cntd.ru/document/564269664 (дата обращения: 16.07.2020 г.).
- 10. Дополнительные нормативы по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 20 декабря 2010 г. № 2650р. М., 2010. URL: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=503293 (дата обращения: 16.07.2020 г.).
- 11. Обутверждении Временной инструкции по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов [Электронный ресурс]: распоряжение ЦДИ ОАО «РЖД» от 8 июля 2019 г. № ЦДИ-586/р. М., 2019. 100 с. URL: http://scbist.com/put-putevoe-hozyaistvo/52432-vremennaya-instrukciya-po-ocenke-sostoyaniya-relsovoi-kolei-puteizmeritelnymi-sredstvami-i-meram-po-obespecheniyu-bezopasnosti-dvizheniya-poezdov.html (дата обращения: 16.07.2020 г.).
- 12. Погорелов Д.Ю. Введение в моделирование динамики систем тел: [учеб. пособие] / Брянский гос. техн. ун-т (БГТУ). Брянск: Изд-во БГТУ, 1997. 156 с.
- 13. Ромен Ю.С. Устойчивость движения вагонов на тележках 18-100 // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2019. Т. 78. № 3. С. 149—154. DOI: https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-3-149-154.

- 14. ГОСТ 33211—2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 июня 2015 г. № 565-ст: дата введения 2016-07-01. М.: Стандартинформ, 2016. 58 с.
- 15. ГОСТ Р 55050—2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на путь и методы испытаний: нац. стандарт Российской Федерации: дата введения 2013-07-01. М.: Стандартинформ, 2013. 16 с.
- 16. Матусовский Г.И., Коган А.Я. Траектория движения колеса при вкатывании его на рельс // Труды ВНИИЖТ. М., 1975. Вып. 542. С. 148-155.
- 17. Матусовский Г.И. Об исследовании вкатывания колеса гребнем на рельс в пути, имеющем неровности // Труды ВНИИЖТ. М., 1978. Вып. 592. С. 114—121.
- 18. К вопросу об устойчивости против вкатывания колеса на рельс порожних грузовых вагонов / В.Д. Данович [и др.] // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского на-

ционального университета железнодорожного транспорта. 2004. С. 90-97.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### БРЖЕЗОВСКИЙ Александр Менделович,

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

# КРАСНОБАЕВ Олег Александрович,

руководитель группы, АО «ВНИИЖТ»

#### СПИРОВ Андрей Владимирович,

заведующий отделом, АО «ВНИКТИ»

#### ИЛЬИН Илья Евгеньевич.

заведующий лабораторией, АО «ВНИКТИ»

Статья поступила в редакцию 28.07.2020 г., принята к публикации 08.04.2021 г.

**Для цитирования:** О допускаемых скоростях движения порожних грузовых вагонов на тележках модели 18-100 / А. М. Бржезовский [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 2. С. 65−75. DOI: https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-2-65-75.

# On the permissible speeds of empty freight cars mounted on 18-100 model bogies

A.M. BRZHEZOVSKIY<sup>1</sup>, O.A. KRASNOBAEV<sup>1</sup>, A.V. SPIROV<sup>2</sup>, I.E. IL'IN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC "VNIIZHT"), Moscow, 129626, Russia

**Abstract.** Problem of ensuring motion safety of empty freight cars is most acute in relation to cars on bogies of model 18-100, which is mainly due to operational wear of wheelsets, side frames and bolsters, as well as spring suspension elements. A potential threat to traffic safety arises when a train, composed of mostly empty and lightly loaded cars, moves along track sections that have deviations in the geometry of rail track of III and higher degrees or combinations and sequences of deviations of II degree. The article presents the main results of complex studies: mathematical modeling of the dynamic interaction of the track and empty freight cars of various types of bogie wear based on the Universal Mechanism software and field tests of cars on measuring sections of tangent, easement and circular curves with a radius of 350, 650, 800, 1000 and 2050 m on the section Belorechenskaya—Maykop of the North Caucasian railway. Dynamic qualities and motion stability of empty freight cars of various types are investigated depending on the parameters of the technical condition of the running gears and the deviations of the geometry of the rail track of II and III degrees of various types and combinations when moving in tangent and curved track sections. Authors provide tables and graphs of the dependences of indicators of dynamic qualities and motion stability of universal empty freight cars of various types on the motion speed in tangent sections of the track and circular curves of various radii and easement curves containing artificial deviations of the geometry of the rail track, most negatively affecting traffic safety. Recommendations are given for correcting the regulatory documents of the Russian Railways, which regulate the permissible speed of motion of empty freight cars, depending on the technical condition of the running gear.

**Keywords:** empty freight cars; 18-100 model bogies; technical condition parameters of bogies; rail track geometry; deviations of the geometry of the rail lines; permissible speeds

**DOI:** https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-2-65-75

#### REFERENCES

- 1. Norms of permissible speeds of rolling stock on railway tracks of 1520 (1524) mm gauge of federal railway transport. Order of the Ministry of Railways of the Russian Federation dated November 12, 2001 No. 41. Moscow, Transport Publ., 2001, 125 p. (in Russ.).
- 2. Vershinskiy S. V. Ustoychivost' vagonov ot vyzhimaniya prodol'nymi silami pri tormozhenii poezda [Stability of cars from squeezing by longitudinal forces when braking a train]. Trudy TsNII MPS [Proceedings of the TsNII MPS]. Moscow, 1970, no. 425, pp. 4–38.
- 3. Lysyuk V.S. *Prichiny i mekhanizm skhoda kolesa s rel'sa. Problema iznosa koles i rel'sov* [Causes and mechanism of wheel derailment. Wheel and rail wear problem]. Moscow, Transport Publ., 1997, 188 p.
- 4. Barteneva L.I., Dolmatov A.A., Kudryavtsev N.N., Kochnov A.D., Cherkashin Yu.M. *Trebovaniya k konstruktsii dvukhosnykh telezhek gruzovykh vagonov dlya perspektivnykh usloviy ekspluatatsii* [Requirements for the design of two-axle bogies of freight cars for prospective operating conditions]. Trudy VNIIZhT [Proceedings of the VNIIZHT]. Moscow, 1973, no. 483, pp. 14–21.
- 5. Anisimov P.S. *Issledovanie sil treniya v klinovom gasitele kolebaniy telezhki TsNII-Kh3* [Investigation of friction forces in a wedge vibration damper of a bogie TsNII-Kh3]. Trudy VNIIZhT [Proceedings of the VNIIZHT]. Moscow, 1974, no. 519, pp. 164–174.
- 6. Wear-resistant elements for installation in bogie units of type 2 of freight cars. Specifications. TU 32 TsV 2459–2007. PKB TsV JSC "Russian Railways". Moscow, 2007, 13 p. URL: http://www.1bm.ru/techdocs/kgs/tu/274/info/188704 (retrieved on 16.07.2020) (in Russ.).
- 7. On the norms of the permissible speeds of rolling stock on the 1520 (1524) mm track gauge. Order of JSC "Rus-

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Joint Stock Company "Research and Design Technological Institute of Rolling Stock" (JSC "VNIKTI"), Kolomna, 140402, Russia

sian Railways" dated November 8, 2016 No. 2240r. Moscow, 2016, 142 p. URL: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=675788 (retrieved on 16.07.2020) (in Russ.).

- 8. On amendments and additions to the Instruction for decoding tapes and assessing the state of the rail track according to the indications of the TsNII-2 track measuring car and measures to ensure traffic safety. Order of the Ministry of Railways of the Russian Federation dated September 1, 2001 No. 27Ts. URL: https://docs.cntd.ru/document/564292506 (retrieved on 16.07.2020) (in Russ.).
- 9. On additional measures to increase the stability of empty freight cars when passing curved track sections. Order of the Ministry of Railways of the Russian Federation dated April 27, 2002 No. 20Ts. Moscow, 2002, 8 p. URL: https://beta.docs.cntd.ru/document/564269664 (retrieved on 16.07.2020) (in Russ.).
- 10. Additional standards for assessing the state of the track gauge and measures to ensure traffic safety. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated December 20, 2010 No. 2650r. Moscow, 2010. URL: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=503293 (retrieved on 16.07.2020) (in Russ.).
- 11. On the approval of the Temporary Instructions for assessing the state of the rail track by track measuring devices and measures to ensure the safety of train traffic. Order of the Central Dispatch Office of the JSC "Russian Railways" dated July 8, 2019 No. CDI-586/r. Moscow, 2019, 100 p. URL: http://scbist.com/put-putevoe-hozyaistvo/52432-vremennaya-instrukciya-po-ocenkesostoyaniya-relsovoi-kolei-puteizmeritelnymi-sredstvami-i-meram-po-obespecheniyu-bezopasnosti-dvizheniya-poezdov.html (retrieved on 16.07.2020) (in Russ.).
- 12. Pogorelov D. Yu. *Vvedenie v modelirovanie dinamiki sistem tel: (ucheb. posobie)* [Introduction to modeling the dynamics of systems of bodies: (Textbook)]. Bryanskiy gos. tekhn. un-t (BGTU) [Bryansk State Technical University]. Bryansk, BGTU Publ., 1997, 156 p.
- 13. Romen Yu. S. *Ustoychivost' dvizheniya vagonov na telezhkakh 18-100* [Motion stability of railway cars on bogies 18-100]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2019, Vol. 78, no. 3, pp. 149–154. DOI: https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-3-149-154.

E-mail: s\_brz@mail.ru (A. M. Brzhezovskiy)

- 14. GOST 33211–2014. Freight wagons. Requirements to structural strength and dynamic qualities. Interstate standard, put into effect as national standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated June 5, 2015 No. 565-st. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 58 p. (in Russ.).
- 15. GOST R 55050–2012. Railway rolling stock. Permissible exposure norms to the railway track and test methods. National Russian Federation standard. Moscow, Standartinform Publ., 2013, 16 p. (in Russ.).
- 16. Matusovskiy G.I., Kogan A. Ya. *Traektoriya dvizheniya kolesa pri vkatyvanii ego na rel's* [Trajectory of the wheel when rolling it onto the rail]. Trudy VNIIZHT [Proceedings of the VNIIZHT]. Moscow, 1975, no. 542, pp. 148–155.
- 17. Matusovskiy G.I. *Ob issledovanii vkatyvaniya kolesa grebnem na rel's v puti, imeyushchem nerovnosti* [On the study of rolling a wheel with a flange on a rail in a track with irregularities]. Trudy VNIIZhT [Proceedings of the VNIIZHT]. Moscow, 1978, no. 592, pp. 114–121.
- 18. Danovich V.D., Rybkin V.V., Reydemeyster A.G., Khalipova N.V., Tryakin A.P. *K voprosu ob ustoychivosti protiv vkatyvaniya kolesa na rel's porozhnikh gruzovykh vagonov* [On the issue of stability against rolling of a wheel onto a rail of empty freight cars]. Nauka i progress transporta [Science and progress of transport]. Vestnik Dnepropetrovskogo natsional nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta [Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2004, pp. 90–97.

#### **ABOUT THE AUTHORS**

#### Aleksander M. BRZHEZOVSKIY.

Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, JSC "VNIIZHT"

#### Oleg A. KRASNOBAEV,

Head of the Group, JSC "VNIIZHT"

## Andrey V. SPIROV,

Head of the Department, JSC "VNIKTI"

#### Il'ya E. IL'IN,

Head of the Laboratory, JSC "VNIKTI"

Received 28.07.2020 Accepted 08.04.2021

**For citation:** Brzhezovskiy A. M., Krasnobaev O. A., Spirov A. V., Il'in I. E. On the permissible speeds of empty freight cars mounted on 18-100 model bogies // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (2): 65–75 (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-2-65-75.

### ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Максимов И. Н., Кондрашов В. М. Альтернативные методы исследования динамики железнодорожных экипажей. М.: РАС, 2019. 108 с.

В книге подробно изложена методика исследования динамики железнодорожных экипажей, в основе которой лежит оригинальный подход к моделированию движения колесных пар железнодорожных экипажей в рельсовой колее, позволяющий реализовывать движение экипажей любой осности в прямых и кривых участках пути в режимах выбега, тяги и торможения.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта, также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел AO «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.