

К вопросу выбора вертикальных и горизонтальных связей в тележке для грузовых вагонов скоростных поездов

Г. И. ГАДЖИМЕТОВ¹, Г. И. ПЕТРОВ², Ю. А. ПАНИН¹, И. Е. ИЛЬИН¹

¹ Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, 140402, Россия

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)), Москва, 127994, Россия

Аннотация. Для повышения конкурентных преимуществ грузоперевозок железнодорожным транспортом долгосрочной программой развития ОАО «РЖД» предусмотрено увеличение скорости движения грузовых поездов. Конструкционная скорость грузовых вагонов, эксплуатируемых в настоящее время на сети железных дорог, в основном составляет 120 км/ч, а допустимая скорость движения ограничена 90 км/ч. Одним из возможных решений задачи является внедрение грузовых вагонов с повышенной скоростью движения. В АО «ВНИИЖТ» и АО «ВНИКТИ» проводятся теоретические и экспериментальные исследования грузового движения с повышенными скоростями, работы по выбору конструкций, разработке требований безопасности.

В 2017–2018 гг. на скоростном испытательном полигоне Белореченская—Майкоп Северо-Кавказской железной дороги специалистами АО «ВНИИЖТ» проведены ходовые испытания опытного образца вагона-платформы для перевозки контейнеров с конструкционной скоростью 160 км/ч, разработанного АО «ВНИКТИ». В конструкции вагона-платформы применена тележка, являющаяся аналогом тележки прицепных вагонов электропоездов ЭД4 и ЭД9, с подбором жесткости пружин в ступенях рессорного подвешивания для соблюдения разности уровня автосцепки от головки рельса в режимах «тара» и «брутто».

Анализ результатов ходовых испытаний позволяет определить пути совершенствования конструкции тележки. Для выбора конструктивных решений с целью обеспечения безопасности выполнен обзор исследований отечественных ученых, посвященных изучению динамических качеств железнодорожного подвижного состава при различных конструкциях экипажной части. Исследования проводились на опытных образцах подвижного состава, имеющего разные упругодиссипативные связи в системе «кузов—тележка—колесные пары». По результатам анализа определены конструкторские решения, позволяющие достичь удовлетворительных динамических качеств для грузового вагона при скорости движения до 140 км/ч. Принятые конструкторские решения апробированы по результатам теоретических исследований динамических качеств вагона-платформы с новой тележкой, проведенных методом компьютерного моделирования. Повышение гибкости рессорного подвешивания и горизонтальной связи кузова с тележкой позволило улучшить динамические качества грузового вагона. Для оценки безопасности при проведении сертификации требуется разработка стандарта, который учитывал бы особенности конструкции тележек вагонов, рассчитанных на повышенную скорость.

Ключевые слова: тележка; грузовой вагон; скоростной поезд; статический прогиб; эквивалентный маятник; динамические качества

Введение. Долгосрочной программой развития ОАО «РЖД» до 2025 года [1] предусмотрено повышение скорости движения грузовых поездов с целью сокращения времени перевозки контейнеров железнодорожным транспортом.

Эксплуатируемый в настоящее время парк грузовых вагонов комплектуется преимущественно трехэлементными тележками, скорость движения которых ограничена 90 км/ч [2, 3]. Причинами этого ограничения являются неудовлетворительные ходовые качества вагонов при высокой скорости, особенно в порожнем состоянии, и зависимость динамики движения вагона от изношенности ходовых частей тележки и геометрии рельсовой колеи [4, 5]. Еще одним основанием для ограничения скорости движения является недостаточная эффективность тормозной системы при скорости выше 90 км/ч (фактические тормозные пути не укладываются в нормативные).

В [6] для увеличения скорости движения грузовых вагонов, особенно в порожнем состоянии, предлагается применить тележки типа КВ3-И2 с жесткой рамой. Тележка типа КВ3-И2 имеет люлечное подвешивание кузова, буксовую ступень и центральную ступень рессорного подвешивания, реализованную эллиптическими рессорами конструкции Галахова. Вместе с тем тележка КВ3-И2 предназначена для вагонов с конструкционной скоростью до 120 км/ч.

В связи с этим назрела необходимость поиска новых конструктивных решений для тележек грузовых вагонов при повышении скорости движения до 140 км/ч.

Анализ динамических испытаний прототипа тележки грузового вагона на полигоне Белореченская—Майкоп. Специалистами АО «ВНИКТИ» по техническому заданию ООО «Комплексные скоростные технологии» был разработан вагон-платформа модели 13-6954 для перевозки одного контейнера длиной до 45 футов,

■ E-mail: gajimetrov-gi@vnikti.com (Г. И. Гаджиметов)

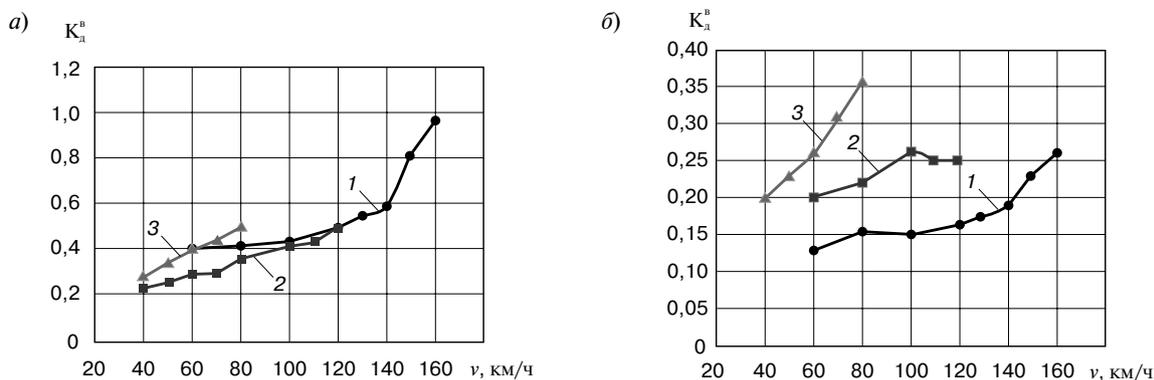


Рис. 1. Коэффициент вертикальной динамики K_d^n первой ступени рессорного подвешивания при движении в порожнем (а) и груженом (б) режимах:
 1 — прямая; 2 — кривая $R = 650$ м; 3 — кривая $R = 350$ м
 Fig. 1. Coefficient of vertical dynamics K_d^n of the first stage of spring suspension when driving in unloaded (a) and loaded (b) modes:
 1 — tangent section; 2 — curve $R = 650$ m; 3 — curve $R = 350$ m

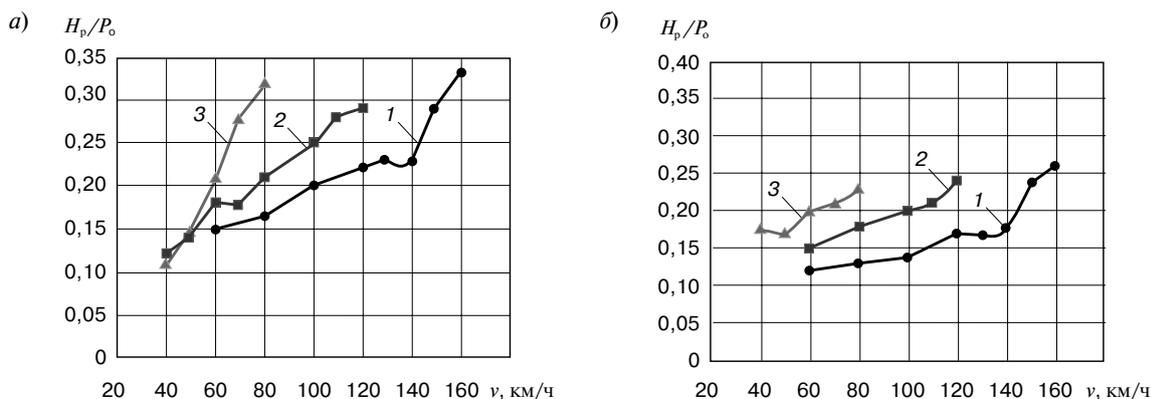


Рис. 2. Рамные силы H_p в долях от осевой нагрузки P_0 при движении в порожнем (а) и груженом (б) режимах:
 1 — прямая; 2 — кривая $R = 650$ м; 3 — кривая $R = 350$ м
 Fig. 2. Frame forces H_p in parts of the axle load P_0 when driving in unloaded (a) and loaded (b) modes:
 1 — tangent section; 2 — curve $R = 650$ m; 3 — curve $R = 350$ m

рассчитанный на конструкционную скорость 160 км/ч [7]. На вагоне-платформе применена двухосная тележка модели 18-6960, являющаяся аналогом тележки прицепных вагонов электропоездов ЭД4 и ЭД9, в которой для обеспечения необходимой величины статического прогиба были специально подобраны пружины в буксовой и центральной ступенях рессорного подвешивания.

Для оценки динамических качеств вагона-платформы проведены ходовые испытания на скоростном испытательном полигоне Белореченская—Майкоп Северо-Кавказской железной дороги [8]. Результаты испытаний показали соответствие всех динамических качеств платформы требованиям, установленным в ГОСТ 33211–2014 [9], но только при скорости до 140 км/ч. Анализ графиков (рис. 1 и 2) показывает, что при скорости выше 140 км/ч наступает резкое ухудшение динамических качеств. Коэффициент запаса устойчивости против схода колеса с рельса K_{yc} , являющийся

одним из основных показателей, по которому оценивается безопасность движения железнодорожного подвижного состава, в порожнем режиме при скорости 140 км/ч составил 1,48 (рис. 3).

Вместе с тем по условиям проведения испытаний динамические качества должны обеспечиваться и при скоростях, превышающих конструкционную на 10%. Так, при скорости 150 км/ч коэффициент запаса устойчивости снизился до 1,22, что ниже нормативного значения (не менее 1,3). В ходе испытаний коэффициент запаса устойчивости против схода колеса с рельса определялся по формуле [10]:

$$K_{yc} = \frac{\tan\beta - \mu \langle P_B \rangle}{1 + \mu \tan\beta \langle P_B \rangle} \geq [K_{yc}], \quad (1)$$

где β — угол наклона образующей гребня колеса к горизонтالي; μ — коэффициент трения поверхностей колеса и рельса; $\langle P_B \rangle$ — скользящее среднее

вертикальной силы от набегающего колеса на рельс, N ; $\langle P_6 \rangle$ — скользящее среднее боковой силы взаимодействия гребня набегающего колеса и рельса, N .

Из формулы (1) видно, что уровень безопасности зависит от параметров колесной пары, боковых и вертикальных сил.

Анализ результатов испытаний и формулы (1) показывает, что снижение значения K_{yc} стало следствием резкого повышения уровня вертикальной динамики и рамных сил при скорости выше 140 км/ч.

Испытания показали необходимость продолжения поиска технических решений, позволяющих снизить вертикальные и боковые динамические силы, чтобы создать тележку для скоростных грузовых вагонов с конструкционной скоростью 140 км/ч.

Данную задачу следует решать путем проведения комплекса опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ с применением компьютерного моделирования, при помощи которого представляется возможным осуществить подбор рациональных характеристик связей колесной пары с рамой тележки, горизонтальной связи кузова с рамой тележки и характеристик рессорного подвешивания, от значений которых зависят ходовые качества вагона.

Обзор исследований по выбору упругодиссипативных связей системы «кузов—тележка—колесные пары». Горизонтальная связь колесной пары с рамой тележки. При скорости движения свыше 100 км/ч увеличивается интенсивность извилистого движения тележек, что вызывает рост динамических сил взаимодействия колес с рельсами и усиление боковых колебаний кузова [11]. Таким образом, извилистое движение вагона является одним из важнейших факторов, влияющих на ходовые качества, воздействие которого необходимо снизить.

Проведенные специалистами АО «ВНИИЖТ» исследования вагонов показали, что снижение «подвижности» колесных пар относительно рамы тележки в горизонтальной плоскости благоприятно отражается на плавности хода [11]. На рис. 4 даны показатели плавности хода в вертикальном и горизонтальном направлениях с устройством, исключающим перемещение колесных пар относительно рамы тележки в горизонтальном направлении (кривая 1), и без устройства (кривая 2). Из анализа графиков (рис. 4) следует, что оптимальной конструкцией связи колесной пары с рамой тележки является такая конструкция буксовых направляющих, которая создает в горизонтальной плоскости упругую связь с начальной затяжкой. Величина начальной затяжки устанавливается исходя из условий неизменяемости геометрии тележки в горизонтальной плоскости при движении по прямым участкам пути.

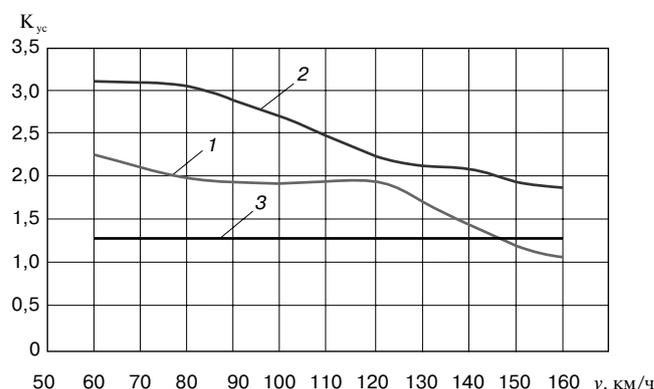


Рис. 3. Коэффициент запаса устойчивости против схода колеса с рельса K_{yc} при движении в разных режимах: 1 — порожний режим; 2 — грузный режим; 3 — норматив
Fig. 3. Coefficient of safety factor K_{yc} against wheel derailment from the rail when driving in different modes: 1 — unloaded mode; 2 — loaded mode; 3 — standard

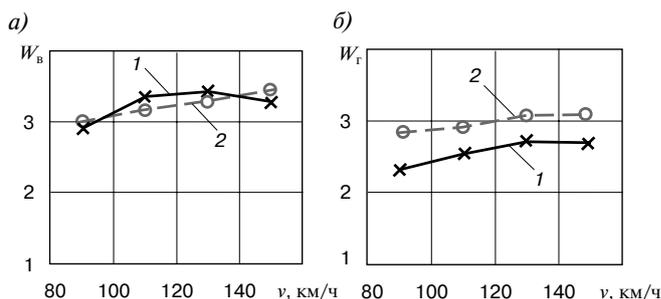


Рис. 4. Средние арифметические показатели плавности хода W по вертикальным (а) и горизонтальным (б) ускорениям: 1 — с устройством; 2 — без устройства
Fig. 4. Arithmetic mean indicators of running smoothness W for vertical (a) and horizontal (b) accelerations: 1 — with the device; 2 — without device

В стандарте на тележки пассажирских вагонов локомотивной тяги [12] величины горизонтальной жесткости связи буксы колесной пары с рамой тележки в поперечном и продольном направлениях составляют 1,5...5,0 и 1,5...35,0 МН/м соответственно.

Примером конструктивного решения буксового рессорного подвешивания, в котором реализованы результаты исследований, может служить подвешивание тележки типа КВЗ-ЦНИИ пассажирского вагона (рис. 5) [13].

Горизонтальная связь кузова с рамой тележки предназначена для передачи горизонтальных поперечных инерционных сил от кузова на рельсы и наоборот.

Исследования, проведенные специалистами АО «ВНИИЖТ» на отечественных опытных локомотивах с маятниковым и люлечным подвешиванием кузова, показали возможность достижения хороших динамических качеств при высокой скорости движения с обеспечением низкого уровня воздействия на путь в кривых [14]. По результатам исследований

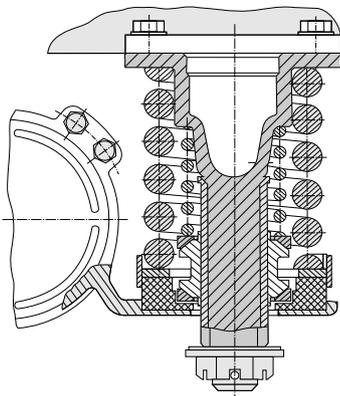


Рис. 5. Буксовое рессорное подвешивание тележек типа КВЗ-ЦНИИ
Fig. 5. Axle-box spring suspension of bogies of the KVZ-TsNII type

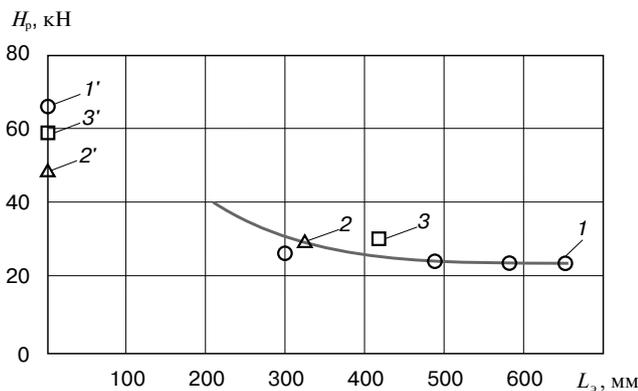


Рис. 6. Зависимость максимальных рамных сил H_p от длины эквивалентного маятника L_p :

1 — тепловоз ТЭ7-001 с экспериментальной экипажной частью, $v = 140$ км/ч; 2 — электровоз ВЛ80-003, $v = 120$ км/ч; 3 — тепловоз ТЭ50-0001, $v = 100$ км/ч; 1', 2', 3' — ТЭ7-001, ВЛ80-003 и ТЭ50-0001 при жестком шкворне

Fig. 6. Dependence of the maximum frame forces H_p on the length of the equivalent pendulum L_p :

1 — diesel locomotive TE7-001 with an experimental undercarriage, $v = 140$ km/h; 2 — electric locomotive VL80-003, $v = 120$ km/h; 3 — diesel locomotive TE50-0001, $v = 100$ km/h; 1', 2', 3' — TE7-001, VL80-003 and TE50-0001 with a rigid center pin

Нормативные минимальные значения длины эквивалентного маятника L_p [12, 15]
Standard minimum values of the length of the equivalent pendulum L_p [12, 15]

Тип вагона	Тип тележки	Длина эквивалентного маятника L_p , мм, не менее	
		ГОСТ Р 55821–2013 [12]	ГОСТ 34093–2017 [15]
Пассажирский	Люлочный	400	400
	Безлюлочный	350	
Почтовый, багажный и специальный	—	250	300

установлено, что выполнять упругую связь кузова с тележкой, жесткость которой обычно выражают длиной эквивалентного маятника L_p , менее 200 мм нецелесообразно. Влияние значения L_p на ходовые каче-

ства, выявленные в этих исследованиях, отражено на рис. 6. В таблице приведены значения L_p из стандартов [12, 15], устанавливающих требования к ходовым частям вагонов пассажирского типа.

Вертикальная связь колесной пары с рамой тележки. Для снижения динамического взаимодействия в системе «вагон—путь» колесные пары связывают с рамой тележки через рессорное подвешивание. Наиболее общей характеристикой его качества является статический прогиб. На основании анализа опытных данных получена зависимость коэффициента вертикальной динамики от скорости движения и статического прогиба [16], которая описывается следующей формулой:

$$K_d^B = 0,1 + \left(0,2 \frac{v}{f_{ст}} \right), \quad (2)$$

где v — скорость движения, км/ч; $f_{ст}$ — расчетный статический прогиб рессорного подвешивания, мм.

Из формулы (2) видно, что с увеличением статического прогиба динамические качества вагона улучшаются [16]. Повышение скорости приводит к увеличению коэффициента вертикальной динамики. Для его снижения необходимо стремиться увеличивать статический прогиб. Снижение коэффициента вертикальной динамики приведет к уменьшению разгрузки колесной пары, что, в свою очередь, благоприятно скажется на устойчивости колеса против схода с рельса. На рис. 7 приведены графики, отражающие зависимость коэффициента запаса устойчивости K_{yc} от уровня рамных сил и коэффициента вертикальной динамики. Расчеты выполнены для экипажа с нагрузкой на ось 17 тс по формуле 9.11 [10], позволяющей определять мгновенное значение K_{yc} .

При исследованиях влияния характеристик рессорного подвешивания на динамические качества локомотивов выявлено, что при равенстве величин статического прогиба и конструкционной скорости, выраженных в миллиметрах и километрах в час соответственно, наблюдается хорошая вертикальная динамика обрессоренных частей [16]. Вместе с тем следует отметить, что жесткие значения динамических качеств в локомотивах в отличие от грузовых вагонов обусловлены присутствием на нем локомотивной бригады.

Демпфирование горизонтальных и вертикальных колебаний в тележке. Для предотвращения резонансных явлений и гашения колебаний надрессорного строения при проезде подвижным составом неровностей пути совместно с рессорным подвешиванием и упругой горизонтальной связью тележки с кузовом предусматривают фрикционные или гидравлические демпферы. С целью определения потребной мощности гидравлических демпферов специалистами АО «ВНИКТИ»

проводились исследования опытных тепловозов с различным уровнем коэффициента относительного демпфирования вертикальных колебаний и колебаний отбоя [17]. По результатам исследований рекомендовано использовать в расчетах коэффициент сопротивления демпфера вертикальным деформациям упругих элементов β^B , который принимается равным 0,2...0,3 от критической величины коэффициента сопротивления демпфера $\beta_{кр}^B$, определяемой по формуле

$$\beta_{кр}^B = 2\sqrt{mc}, \quad (3)$$

где m — масса обрессоренных частей, поддерживаемая рессорным подвешиванием, кг; c — жесткость рессорного подвешивания, кН/м.

Коэффициент относительного демпфирования колебаний отбоя рекомендуется принимать равным 0,3...0,4 [17]. Аналогичные рекомендации даны в [15, 18].

Особенности проектирования рессорного подвешивания грузового вагона. При проектировании рессорного подвешивания существует ряд вопросов, несвойственных для других типов подвижного состава, которые необходимо решать в комплексе:

- наличие режимов «тара» (порожний режим) и «брутто» (груженный режим);
- соблюдение уровня автосцепки на нормированной высоте в режимах «тара» и «брутто», в том числе при эксплуатационных износах;
- компоновка рессорного комплекта, обладающего необходимым статическим прогибом в режимах «тара» и «брутто» для получения удовлетворительных ходовых качеств.

Для решения поставленных вопросов в комплексе представляется возможным применение рессорного подвешивания с билинейной или кусочно-линейной характеристикой.

В стандарте на тележки двухосные грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 мм [19], принятом в 2004 г., минимальный статический прогиб под тарой вагона был рекомендован не менее 38 мм (сейчас действует редакция 2013 г., где установлена величина прогиба не менее 13 мм). Статический прогиб при расчетной нагрузке от колесной пары на рельсы 196 кН (20 тс), регламентированный исходя из соблюдения уровня автосцепки на нормированной высоте в режимах «тара» и «брутто», не должен превышать 70 мм. Вместе с тем, используя соответствующие конструкторские решения, позволяющие выдержать уровень автосцепки, статический прогиб можно увеличивать.

Техническое решение тележки для грузового вагона скоростного поезда. На основании анализа результатов испытаний вагона-платформы модели 13-6954 на двухосных тележках модели 18-6960 и выбора связей

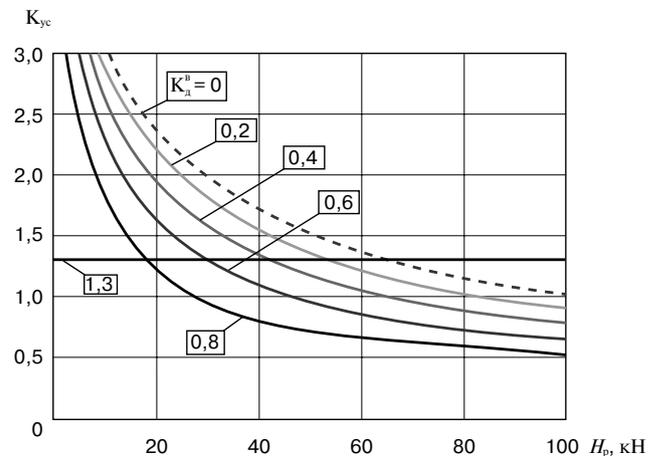


Рис. 7. Зависимость коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса K_{yc} от рамных сил H_p и коэффициента вертикальной динамики K_d^B

Fig. 7. Dependence of the safety factor of stability against derauling of the wheel from the rail K_{yc} on the frame forces H_p and the coefficient of vertical dynamics K_d^B

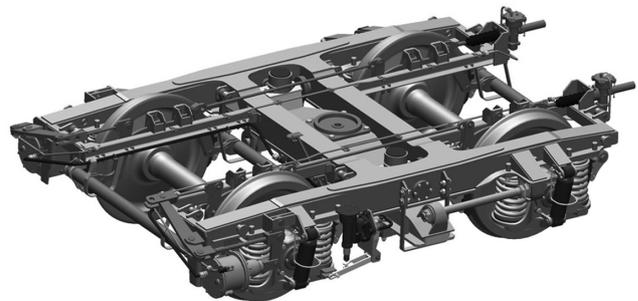


Рис. 8. Тележка модели 18-6981 для грузового вагона скоростного поезда

Fig. 8. Bogie model 18-6981 for high-speed train freight car

системы «кузов—тележка—колесные пары» разработана новая тележка оригинальной конструкции модели 18-6981, предназначенная для применения в вагонах для грузовых перевозок со скоростью до 140 км/ч (рис. 8).

Основные отличия разработанной тележки, оказывающие влияние на динамические качества, от ранее испытанной тележки модели 18-6960 следующие:

- нагрузка от шкворневого бруса на раму передается через люлечное подвешивание с наклонными подвесками;
- рессорное подвешивание буксовое, билинейное, одноступенчатое с увеличенным статическим прогибом;
- демпфирование колебаний в буксовой ступени рессорного подвешивания и в люлечном подвешивании осуществляется гидравлическими демпферами.

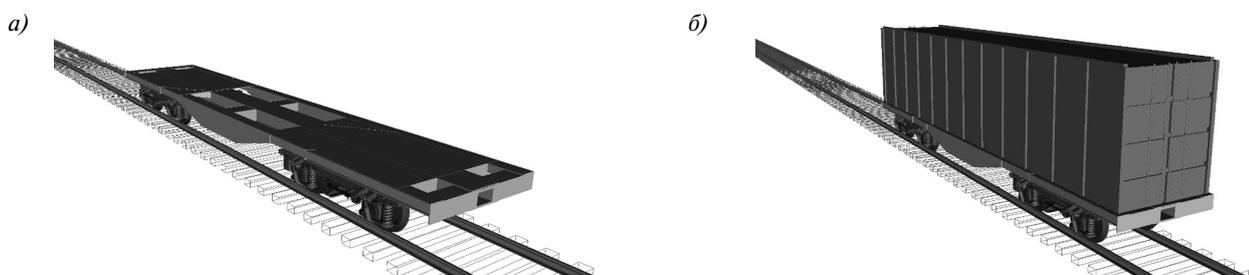


Рис. 9. Вагон-платформа модели 13-6990 в порожнем (а) и груженом (б) режимах
 Fig. 9. Platform car model 13-6990 in unloaded (a) and loaded (b) modes

Теоретические исследования динамических качеств грузового вагона. Для определения динамических качеств тележки в составе вагона-платформы проведены теоретические исследования методом компьютерного моделирования в программном комплексе «Универсальный механизм». Разработана модель вагона-платформы, образованная двумя твердотельными подсистемами: 1) тележка; 2) главная рама (в груженом варианте с контейнером, при этом рама платформы и контейнер принимались за единое тело). Общий вид компьютерной модели вагона-платформы приведен на рис. 9.

Анализ результатов компьютерного моделирования показывает, что максимальное значение коэффициента вертикальной динамики в порожнем состоянии, полученное на прямом участке пути, составляет 0,59 при скорости 160 км/ч. В груженом режиме максимальное значение 0,40 зафиксировано в кривом участке пути радиусом 350 м при скорости 80 км/ч. Значения коэффициента вертикальной динамики в других условиях показаны на рис. 10.

Следует отметить, что уровень вертикальной динамики в новом проекте ниже, чем при испытаниях

вагона-платформы модели 13-6954 [8]. Определяющим фактором снижения уровня вертикальной динамики является увеличенный до 42 мм статический прогиб буксовой ступени одноступенчатого рессорного подвешивания тележки. Коэффициент вертикальной динамики соответствует оценке «хорошо» в порожнем режиме на прямом участке пути и «удовлетворительно» в груженом режиме в кривой радиусом 350 м [9].

Качество горизонтальной динамики вагона-платформы оценивалось по величине рамной силы в долях от осевой нагрузки. На рис. 11 приведены значения коэффициента горизонтальной динамики, которые в порожнем и груженом режимах соответствуют оценке «удовлетворительно» [9].

Результаты расчета коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса, выполненного по формуле (1), при одновременном действии вертикальных и горизонтальных сил показаны на рис. 12. Минимальный запас устойчивости (безопасности) зафиксирован в прямом участке кривой при скорости 160 км/ч в порожнем состоянии, и он составил 1,35, что соответствует требованию [7] (не менее 1,3).

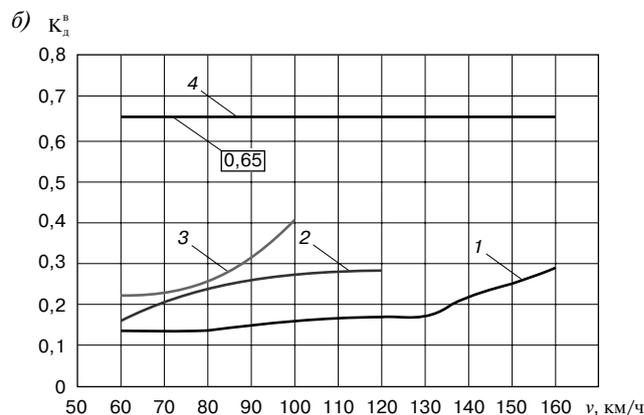
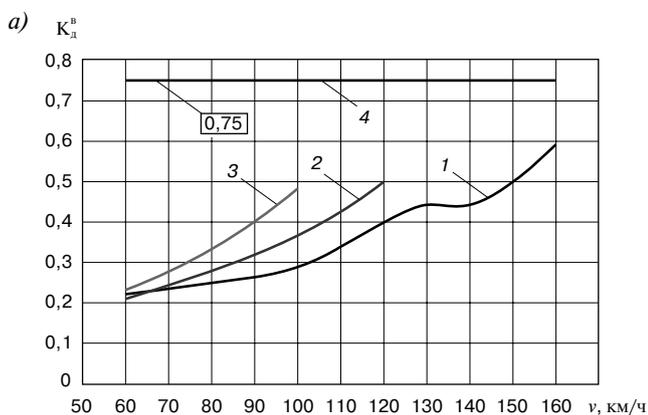


Рис. 10. Коэффициент вертикальной динамики K_d^n при моделировании движения в порожнем (а) и груженом (б) режимах:

1 – прямая; 2 – кривая $R=650$ м; 3 – кривая $R=350$ м; 4 – норматив

Fig. 10. Coefficient of vertical dynamics K_d^n when simulating driving in unloaded (a) and loaded (b) modes:

1 – tangent section; 2 – curve $R=650$ m; 3 – curve $R=350$ m; 4 – standard

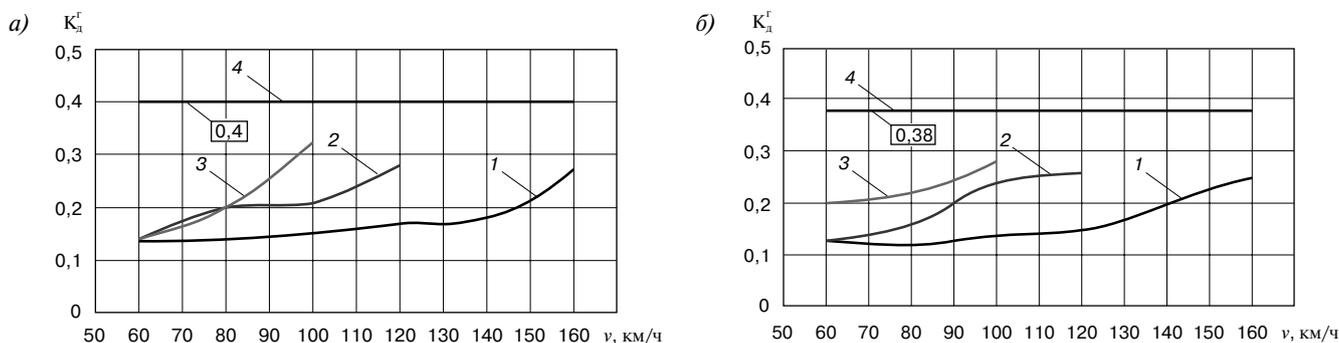


Рис. 11. Коэффициент горизонтальной динамики K_d^r при моделировании движения в порожнем (а) и груженом (б) режимах: 1 – прямая; 2 – кривая $R = 650$ м; 3 – кривая $R = 350$ м; 4 – норматив

Fig. 11. Coefficient of horizontal dynamics K_d^r when simulating driving in unloaded (a) and loaded (б) modes: 1 – tangent section; 2 – curve $R = 650$ m; 3 – curve $R = 350$ m; 4 – standard

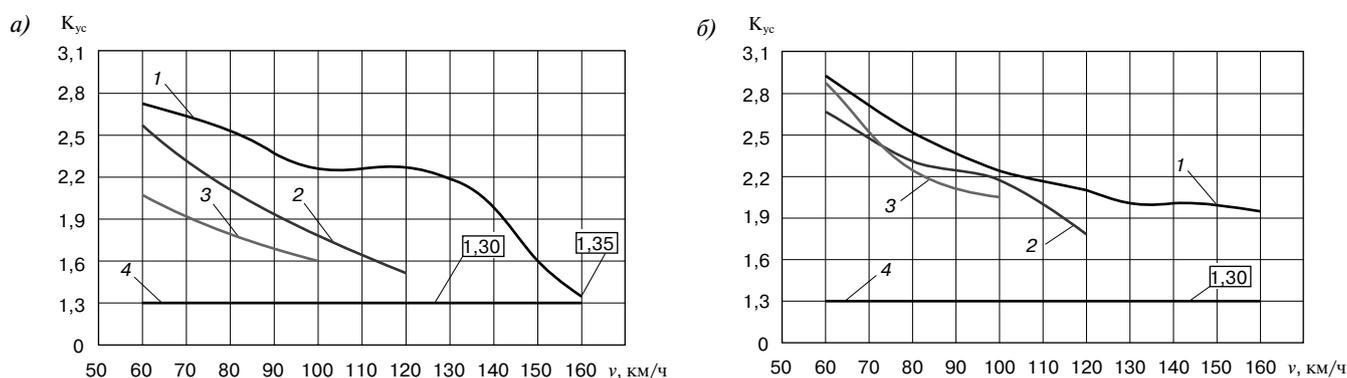


Рис. 12. Коэффициент запаса устойчивости против схода колеса с рельса K_{yc} при моделировании движения в порожнем (а) и груженом (б) режимах: 1 – прямая; 2 – кривая $R = 650$ м; 3 – кривая $R = 350$ м; 4 – норматив

Fig. 12. Coefficient of safety factor K_{yc} against wheel derailing from the rail when simulating driving in unloaded (a) and loaded (б) modes: 1 – tangent section; 2 – curve $R = 650$ m; 3 – curve $R = 350$ m; 4 – standard

Выводы. Проведенный анализ исследований по влиянию конструкторских решений на динамические качества подвижного состава и теоретические исследования вагона-платформы модели 13-6990 показывают:

- выбранные характеристики вертикальных и горизонтальных упругодиссипативных связей в тележке модели 18-6981 обеспечивают динамические качества вагона в пределах безопасных значений, установленных ГОСТ 33211–2014, при конструкционной скорости 140 км/ч, в том числе с превышением ее на 10 %;
- для снижения расстройств пути при эксплуатации грузовых вагонов со скоростью до 140 км/ч возможно применение конструкторских решений, позволяющих улучшить их динамические качества по сравнению с эксплуатируемыми грузовыми вагонами на трехэлементных тележках;
- на основании проводимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ необходимо разработать нормативный документ, устанавливающий технические требования к грузовым вагонам скоростных поездов и позволяющий оценить их безопасность, в том числе при проведении сертификации;

- необходимо продолжить исследования по определению динамических качеств вагона при проведении натурных испытаний на скоростном испытательном полигоне Белореченская—Майкоп, провести валидацию компьютерной модели и продолжить расчетные исследования при эксплуатационных режимах нагружения и вождения поездов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 года [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 г. № 466-р. URL: <https://rulaws.ru/government/Rasporyazhenie-Pravitelstva-RF-ot-19.03.2019-N-466-r> (дата обращения: 10.06.2020 г.).
2. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [Электронный ресурс]: утв. приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 21 дек. 2010 г. № 286 (с изм. и доп.). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_110021/2f7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdadff518 (дата обращения: 10.06.2020 г.).
3. Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм

[Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 8 нояб. 2016 г. № 2240р (ред. от 23 авг. 2018 г.). URL: cssrzd.ru/orders/2240.docx (дата обращения: 16.06.2020 г.).

4. Коссов В. С., Березин В. В., Быков В. А. Факторы устойчивости порожних вагонов // Мир транспорта. 2012. № 2. С. 168–177.

5. Певзнер В. О., Ромен Ю. С. Основы разработки нормативов содержания пути и установления скоростей движения. М.: Интекст, 2013. С. 174–197. (Сб. тр. ученых ОАО «ВНИИЖТ»).

6. Харыбин И. А., Орлова А. М., Додонов А. В. Совершенствовать ходовую часть грузовых вагонов // Вагоны и вагонное хозяйство. 2009. № 2. С. 26–29.

7. Скоростная платформа для перевозки контейнеров / В. А. Никонов [и др.] // Вагоны и вагонное хозяйство. 2017. № 2. С. 25–27.

8. Платформа для скоростных перевозок контейнеров: испытания, результаты, новые направления / М. А. Кимасов [и др.] // Вагоны и вагонное хозяйство. 2018. № 2. С. 41–43.

9. 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. 59 с.

10. ГОСТ 33788–2016. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 июля 2016 г. № 856-ст: дата введения 2017-05-01. М.: Стандартинформ, 2016. 50 с.

11. Долматов А. А. Динамика и основные технические требования к конструкции ходовых частей пассажирских вагонов для скорости движения до 160 км/ч // Тр. ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1965. Вып. 307: Исследование динамики вагонов. С. 121–137.

12. ГОСТ Р 55821–2013. Тележки пассажирских вагонов локомотивной тяги. Технические условия: нац. стандарт Российской Федерации: утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 нояб. 2013 г. № 1755-ст: дата введения 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 20 с.

13. Быков В. В. Конструкция тележек грузовых и пассажирских вагонов: учеб. пособие. М.: Маршрут, 2004. 36 с.

14. Исследования динамики локомотивов / С. М. Голубятников [и др.] // Тр. ВНИИЖТ. Коломна, 1967. Вып. 30. С. 281–344.

15. ГОСТ 34093–2017. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. 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 13 июня 2017 г. № 537-ст: дата введения 2018-01-01. М.: Стандартинформ, 2017. 46 с.

16. Тележечные экипажи локомотивов для повышенных скоростей движения / под ред. К. П. Королева. М.: Трансжелдориздат, 1962. 304 с. (Тр. ВНИИЖТ; вып. 248).

17. Повышение надежности экипажной части тепловозов / А. И. Беляев [и др.]; под ред. Л. К. Добрынина. М.: Транспорт, 1984. 248 с.

18. Вериго М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт, 1986. 559 с.

19. ГОСТ 9246–2004. Тележки двухосные грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации от 9 фев. 2005 г. № 19-ст: дата введения 2005-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2005. 11 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ГАДЖИМЕТОВ Гаджимет Исамединович,
руководитель испытательного центра, АО «ВНИКТИ»

ПЕТРОВ Геннадий Иванович,
д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство», ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)

ПАНИН Юрий Алектинович,
канд. техн. наук, заведующий отделом динамики,
АО «ВНИКТИ»

ИЛЬИН Илья Евгеньевич,
заведующий лабораторией, отдел динамики, АО «ВНИКТИ»

Статья поступила в редакцию 14.07.2020 г., принята к публикации 25.09.2020 г.

Для цитирования: К вопросу выбора вертикальных и горизонтальных связей в тележке для грузовых вагонов скоростных поездов / Г. И. Гаджиметов [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 6. С. 351–359. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-351-359>.

On the issue of choosing vertical and horizontal connections in a bogie for freight cars of high-speed trains

G. I. GADZHIMETOV¹, G. I. PETROV², Yu. A. PANIN¹, I. E. IL'IN¹

¹Joint Stock Company "Research and Development Institute of Rolling Stock" (JSC "VNIKTI"), Kolomna, 140402, Russia

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport" (FGAOU VO "RUT" (MIIT)), Moscow, 127994, Russia

Abstract. To increase the competitive advantages of rail freight transportation, the long-term development program of the Russian Railways provides for an increase in the speed of freight trains. The design speed of freight cars currently operating on the railway network is mainly 120 km/h, and the permitted speed is limited to 90 km/h. One of the possible solutions to the problem is the introduction of freight cars with an increased speed. At JSC "VNIIZHT" and JSC "VNIKTI", work is being carried out on the selection of structures, the development of safety requirements, theoretical and experimental studies of freight traffic at increased speeds.

In 2017–2018 at the Belorechenskaya–Maikop high-speed test range of the North Caucasian Railway, specialists of JSC "VNIIZHT" carried out running tests of a prototype of a platform car for transporting containers with a design speed of 160 km/h, developed by JSC "VNIKTI". In the design of the platform car, a bogie is used, which is an analogue of the bogie of trailed cars of electric trains ED4 and ED9, with the selection of the stiffness of the springs in the spring suspension steps to comply with the difference in the level of the automatic coupler from the rail head in the "container" and "gross" modes.

Analysis of the results of running tests allows determining the ways to improve the design of the bogie. To select design solutions for the purpose of ensuring safety, a review of the studies of domestic scientists aimed at studying the dynamic properties of railway rolling stock with various designs of the carriage part was carried out. Tests were carried out on prototypes of rolling stock having different elastic-dissipative connections in the "body-bogie-wheelsets" system. Based on the results of the analysis, design solutions have been determined that allow achieving satisfactory dynamic qualities for a freight car at a speed of up to 140 km/h. The adopted design solutions were tested on the basis of the results of theoretical studies of the dynamic properties of a platform car with a new bogie, carried out by the method of computer simulation. Increasing the flexibility of the spring suspension and the horizontal connection of the body with the bogie made it possible to improve the dynamic qualities of freight cars. To assess the safety during certification, it is required to develop a standard that would take into account the design features of car bogies, designed for increased speed.

Keywords: bogie; freight car; high-speed train; static deflection; equivalent pendulum; dynamic qualities

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-351-359>

REFERENCES

1. Long-term development program of the JSC "Russian Railways" until 2025. Approved by order of the Government of the Russian Federation dated March 19, 2019 No. 466-r. URL: <https://rulaws.ru/government/Rasporyazhenie-Pravitelstva-RF-ot-19.03.2019-N-466-r> (retrieved on 10.06.2020) (in Russ.).
2. Rules for the technical operation of the railways of the Russian Federation. Approved by order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated December 21, 2010 No. 286 (with amendments and additions). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_110021/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1dda fdaddf518 (retrieved on 10.06.2020) (in Russ.).
3. Norms of permissible operation speeds of rolling stock on railway tracks of 1520 (1524) mm gauge. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated November 8, 2016 No. 2240r (as amended dated August 23, 2018). URL: cssrd.ru/orders/2240.docx (retrieved on 16.06.2020) (in Russ.).
4. Kossov V.S., Berezin V.V., Bykov V.A. Stability factors of empty cars. World of Transport and Transportation, 2012, no. 2, pp. 168–177.
5. Pevzner V.O., Romen Yu.S. Fundamentals of developing track maintenance standards and establishing operation speeds. Moscow, Intext Publ., 2013, pp. 174–197.
6. Kharybin I.A., Orlova A.M., Dodonov A.V. Improve running gear of freight cars. Vagony i vagonnoe khozyaystvo, 2009, no. 2, pp. 26–29.
7. Nikonov V.A., Meshcherin Yu.V., Kimasov M.A., Shcheklein N.I., Konurov V.A. High-speed platform for the transportation of containers. Vagony i vagonnoe khozyaystvo, 2017, no. 2, pp. 25–27.
8. Kimasov M.A., Shcheklein N.I., Nazarov I.V., Gorskiy D.V., Krasnobayev O.A., Nikonov V.A., Meshcherin Yu.V., Zubkov V.F. Platform for high-speed container transportation: tests, results, new directions. Vagony i vagonnoe khozyaystvo, 2018, no. 2, pp. 41–43.
9. 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, 59 p. (in Russ.).

10. GOST 33788–2016. Freight and passenger cars. Test methods for 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 July 19, 2016 No. 856-st. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 50 p.

11. Dolmatov A. A. Dynamics and basic technical requirements for the design of undercarriage of passenger cars for a speed of up to 160 km/h. Proceedings of the VNIIZhT. Moscow, Transport Publ., 1965, no. 307, pp. 121–137.

12. GOST R 55821–2013. Bogies of passenger cars on locomotive traction. Specifications. National standard of the Russian Federation. Approved and put into effect by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 22, 2013 No. 1755-st. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 20 p. (in Russ.).

13. Bykov B. V. Konstruktsiya telezhek gruzovykh i passazhirskikh vagonov. Ucheb. posobie [Design of bogies for freight and passenger cars. Textbook]. Moscow, Marshrut Publ., 2004, 36 p.

14. Golubyatnikov S. M., Dobrynin L. K., Kokorev A. I., Ly-sak V. A., Fomin E. P., Evstratov A. S., Grigor'yev N. I., Savushkin S. S., Nagornyy B. V. Issledovaniya dinamiki lokomotivov. Trudy VNITI [Studies of the dynamics of locomotives. Proceedings of the VNITI]. Kolomna, 1967, no. 30, pp. 281–344.

15. GOST 34093–2017. Passenger cars on locomotive traction. Requirements for 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 13, 2017 No. 537-st. Moscow, Standartinform Publ., 2017, 46 p. (in Russ.).

16. Korolev K. P. Telezhechnye ekipazhi lokomotivov dlya povyshennykh skorostey dvizheniya [Bogie carriages of locomotives for increased speeds]. Trudy VNIIZhT; vyp. 248 [Proceedings of the VNIIZhT, no. 248]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1962, 304 p.

17. Belyaev A. I., Bunin B. B., Golubyatnikov S. M., Dobrynin L. K. Improving the reliability of the undercarriage of diesel locomotives. Moscow, Transport Publ., 1984, 248 p.

18. Verigo M. F., Kogan A. Ya. Interaction of track and rolling stock. Moscow, Transport Publ., 1986, 559 p.

19. GOST 9246–2004. Four-wheel bogies of freight cars for 1520 mm gauge mainline railways. Specifications. Interstate standard, put into effect as national standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of the Russian Federation dated February 9, 2005 No. 19-st. Moscow, IPK Publishing house of standards, 2005, 11 p. (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Gadzhimet I. GADZHIMETOV,
Head of the Test Center, JSC "VNIKI"

Gennadiy I. PETROV,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department "Cars and Car Facilities", FGAOU VO "RUT" (MIIT)

Yuriy A. PANIN,
Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department of Dynamics, JSC "VNIKI"

Il'ya E. IL'IN,
Head of the Laboratory, Department of Dynamics, JSC "VNIKI"

Received 14.07.2020

Accepted 25.09.2020

■ E-mail: gajimetov-gi@vnikti.com (G. I. Gadzhimetov)

For citation: Gadzhimetov G. I., Petrov G. I., Panin Yu. A., Il'in I. E. On the issue of choosing vertical and horizontal connections in a bogie for freight cars of high-speed trains // VNIIZHT Scientific Journal. 2020. 79 (6): 351–359 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-351-359>.