

УДК 629.4.017: 625.03

### Сравнение требований стандартов разных стран к оценке динамических качеств и воздействия на путь грузовых вагонов

А. В. Саидова<sup>1</sup>, А. В. Гусев<sup>2</sup>, Е. А. Рудакова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

<sup>2</sup>ООО «Всесоюзный научно-исследовательский центр транспортных технологий», Российская Федерация, 197046, Санкт-Петербург, Петроградская набережная, 22а

**Для цитирования:** Саидова А. В., Гусев А. В., Рудакова Е. А. Сравнение требований стандартов разных стран к оценке динамических качеств и воздействия на путь грузовых вагонов // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 1. — С. 147–160. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-147-160

#### Аннотация

**Цель:** Произвести анализ и сравнить требования действующих государственных стандартов России, стран Европы и Северной Америки к оценке динамических качеств грузовых вагонов, их воздействия на рельсовый путь. **Методы:** Обзор и анализ требований разных стран к условиям проведения испытаний грузовых вагонов на динамические качества и их воздействие на путь, требований к допускаемым значениям показателей позволил сформировать наиболее представительные расчетные случаи для моделирования движения железнодорожного экипажа по пути различной конструкции (прямые, криволинейные участки) и провести исследование динамики грузового вагона с помощью имитационного компьютерного моделирования в программном комплексе «Универсальный механизм». **Результаты:** Проведено сравнение требований разных стран к оценке динамического поведения грузовых вагонов. Методами компьютерного моделирования получены осциллограммы различных показателей (сил, ускорений, коэффициентов) для универсального полувагона, установленного на тележки модели 18-100 при его движении по пути различной конструкции. Показаны преимущества и недостатки применяемых подходов к оценке динамических качеств, показателей воздействия экипажа на путь в разных странах. **Практическая значимость:** Полученные результаты работы, а также представленные в заключении предложения в дальнейшем могут быть использованы для совершенствования системы оценки динамического поведения железнодорожного экипажа и его воздействия на путь в целях повышения безопасности движения грузовых вагонов в России.

**Ключевые слова:** Грузовой вагон, полувагон, моделирование движения вагона, динамические качества, воздействие на путь, устойчивость колеса от схода с рельсов.

## Введение

Безопасность движения грузового вагона в процессе эксплуатации зависит от многих факторов, одним из которых является качество хода экипажа. Оно оценивается на этапе проектирования новой конструкции единицы подвижного состава или модернизации существующей и определяется характеристиками самого экипажа, параметрами рельсового пути и условиями эксплуатации.

В комплексе с оценкой ходовых (динамических) качеств экипажа обычно проводят исследование его воздействия на железнодорожный путь с целью предупреждения возникновения повышенных нагрузок на путь, приводящих к его деградации.

Оценка показателей динамических качеств и воздействия грузовых вагонов на путь по результатам натурных испытаний, компьютерного моделирования в специальных программных комплексах, теоретических расчетов в разных странах ведется по существенно отличающимся критериям, устанавливаемым государственными стандартами и нормативными документами. Отличия обусловлены историческим развитием науки в области железнодорожного движения, особенностями конструкций подвижного состава и железнодорожного пути, а также условиями эксплуатации экипажей.

Целью данного исследования является анализ и сравнение методик оценки динамических качеств и воздействия грузовых вагонов на путь, действующих в России, Северной Америке и в европейских странах. Для количественного сравнения показателей динамических качеств и воздействия на путь методами компьютерного моделирования исследовалось движение четырехосного грузового вагона в представительных режимах по пути различной конструкции. В качестве базового экипажа принят универсальный полувагон на тележках 18-100, модель которого разработана в программном комплексе «Универсальный механизм» [1–4] (рис. 1).

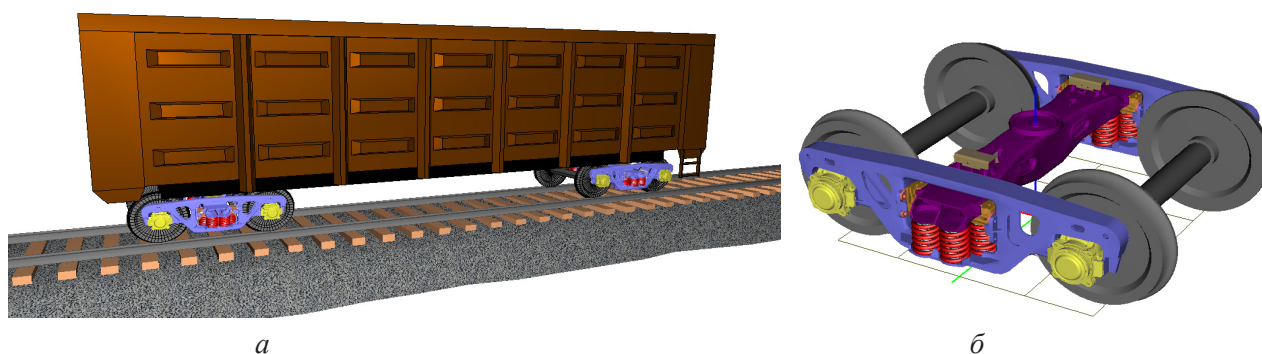


Рис. 1. Модель универсального полувагона (а) и тележки 18-100 (б) в программном комплексе «Универсальный механизм»

## Методика оценки динамических качеств и воздействия на путь грузовых вагонов в России

Требования к динамическим качествам и воздействию грузовых вагонов на путь в РФ устанавливаются стандартами [5–7]. При определении показателей рассматривают движение порожнего и груженого до максимальной грузоподъемности вагона по прямолинейному участку пути и в кривых различного радиуса (от 300 м до 800 м) со скоростями вплоть до конструкционной, увеличенной на 10 %, или до скорости, обеспечивающей непогашенное ускорение в кривой не более  $0,7 \text{ м/с}^2$ . В стрелочном переводе на боковой путь движение экипажа осуществляется со скоростями от 10 км/ч до 40 км/ч с шагом 10 км/ч. Исследование динамических качеств и воздействия на путь ведется при движении экипажа на пути с рельсовыми неровностями, не превышающими допустимые величины отступлений (табл. 7 [5]). При моделировании рекомендуется использовать неровности согласно [8], однако могут использоваться и в соответствии с РД 32.68 [9], отмасштабированные таким образом, чтобы ширина колеи, уровень и просадки рельсовых нитей не превышали II степень отступления от номинальных значений.

В РФ оценка динамических качеств и воздействия на путь ведется по показателям, представленным на рис. 2, 3 (в числителе указаны значения для вагона с минимальной расчетной массой, в знаменателе — с максимальной). Помимо указанных на рис. 3 основных показателей ГОСТ 34759 [7] содержит методику установления допустимых скоростей движения железнодорожного подвижного состава, включающую в себя расчет дополнительных показателей (например, расчетные значения осевых напряжений в подошве рельса от его изгиба, Приложение Б [7]).



Рис. 2. Показатели динамических качеств вагона и их допускаемые значения в РФ (в числителе для вагона с минимальной расчетной массой, в знаменателе — с максимальной)



Рис. 3. Показатели воздействия на путь, их допускаемые значения в РФ

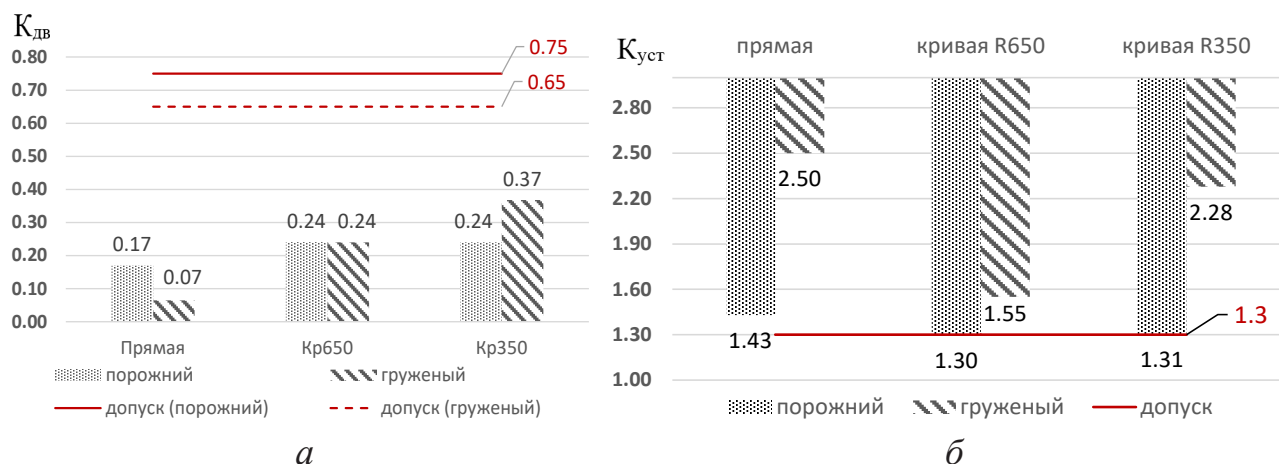


Рис. 4. Показатели динамических качеств порожнего и груженого полувагона при скорости движения 90 км/ч:  
 а) коэффициент динамической добавки обрессоренных частей;  
 б) коэффициент запаса устойчивости от схода колеса с рельса

Примеры результатов расчета некоторых показателей динамических качеств грузового вагона, полученные с помощью базовой модели экипажа на тележках 18-100 в «Универсальном механизме», представлены на рис. 4. Красными линиями отмечены допускаемые стандартами значения показателей.

## Методика оценки динамических качеств и воздействия грузовых вагонов на путь в Америке

Показатели динамических качеств в Северной Америке носят название «эксплуатационные критерии». В соответствии со стандартами [10, 11] их определяют в восьми основных режимах движения вагона:

- hunting — виляние в прямой и кривых большого радиуса ( $1^\circ$  и  $2^\circ$ );
- constant curving — устойчивость в кривых (от  $3^\circ$  до  $12^\circ$ );
- curve resistance — сопротивление повороту в кривых (от  $3^\circ$  до  $12^\circ$ );
- spiral — движение по переходному участку пути;
- twist and roll — скручивание и боковой наклон в прямом участке пути;
- pitch and bounce — галопирование и раскачивание в прямом участке пути;
- yaw and sway — виляние и боковой относ кузова в прямом участке пути;
- dynamic curving — динамическое прохождение кривой (радиус  $12^\circ$ ).

Для каждого режима установлен свой перечень нормируемых показателей (рис. 5), скоростные диапазоны движения вагона (выбор скоростей движения в криволинейных участках пути осуществляется исходя из условия обеспечения дисбаланса от  $-3$  до  $+3$  дюймов), определены условия загрузки вагона (порожний и груженный режимы), конструкция и неровности пути. При движении вагона в криволинейных участках дисбаланс  $U$  вычисляется по формуле:

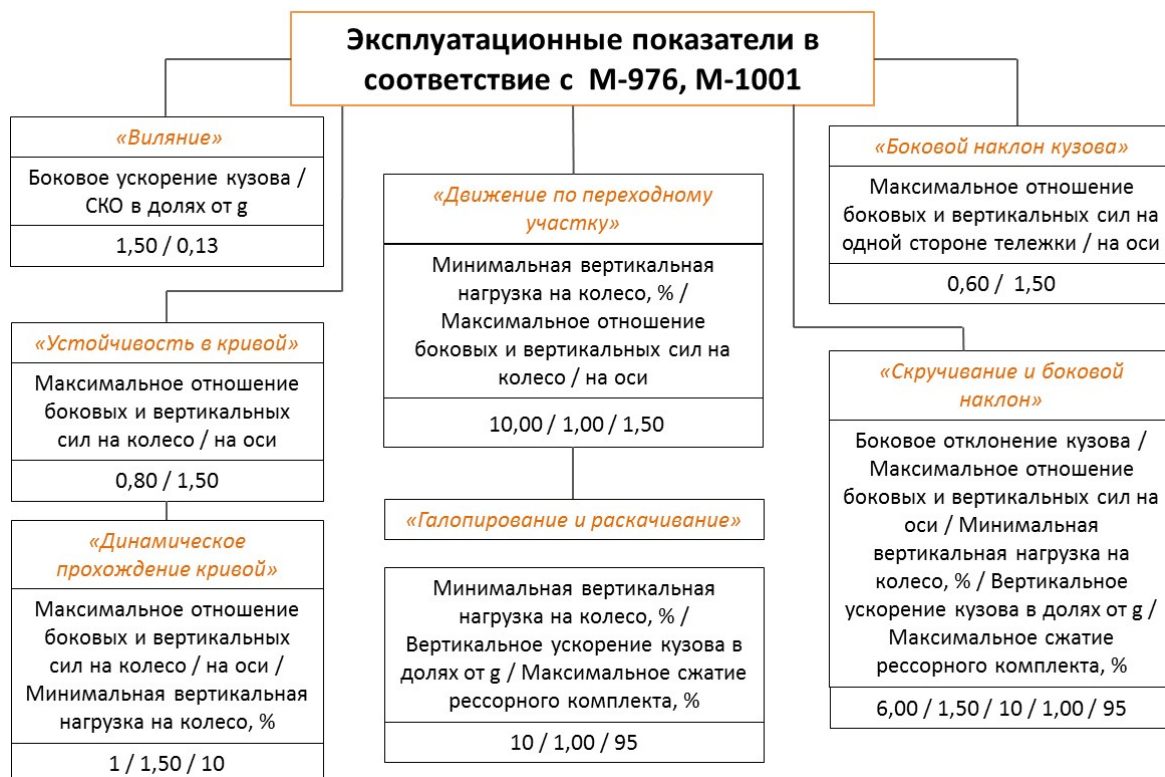


Рис. 5. Показатели динамических качеств и их допустимые значения в Северной Америке

$$U = V^2 \cdot (R/S) - H, \quad (1)$$

где  $V$  — скорость движения, м/с<sup>2</sup>;

$R$  — радиус кривой, м;

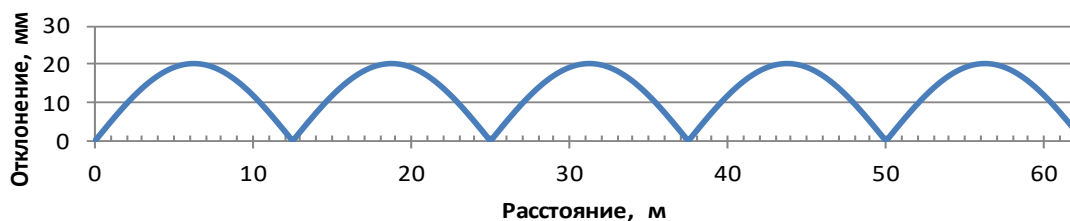
$S$  — ширина колеи, м;

$H$  — возвышение наружного рельса в кривой, м.

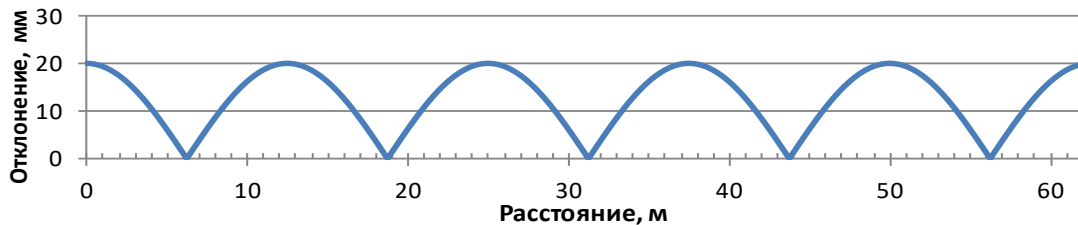
Движение вагона рекомендуется оценивать на пути с унифицированными неровностями рельсовых нитей (примеры представлены на рис. 6) и с натурными, полученными по результатам обмера отклонений рельсовых нитей на полигонах специальными путеизмерительными средствами.

Особенность требований стандартов [10, 11] заключается в полноценной всесторонней оценке динамических качеств грузового экипажа, в том числе в режимах, обуславливающих отдельные формы колебаний вагона, и в эксплуатационных условиях.

Оценка воздействия экипажа на путь отдельно не рассматривается, а ведется косвенно по показателям взаимодействия колес с рельсами (через вертикальные и поперечные силы в пятнах контакта, на колесо, на оси и для одной стороны тележки). Примеры результатов расчета отношения поперечных и вертикальных сил, характеризующих воздействие базового экипажа на путь по требованиям стандартов Северной Америки в кривых, показаны на рис 7.



*а*



*б*

Рис. 6. Унифицированные вертикальные неровности рельсовых нитей в режиме «Скручивание и боковой наклон» для определения динамических качеств в Северной Америке:

*а)* для левого рельса; *б)* для правого рельса



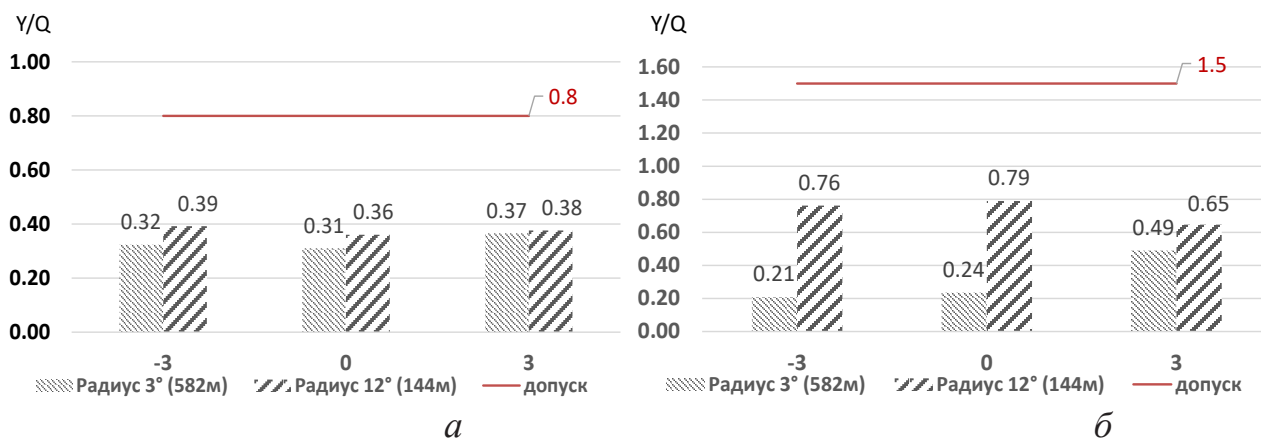


Рис. 7. Результаты расчета отношения поперечных ( $Y$ ) и вертикальных ( $Q$ ) сил для груженого вагона согласно требованиям стандартов Северной Америки: а) на колесе; б) на оси

### Методика оценки динамических качеств и воздействия грузовых вагонов на путь в странах Европы

В европейских странах согласно описанным в [12, 13] методикам динамические качества грузовых экипажей оценивают при их движении по прямым участкам пути, в односторонних кривых радиусами от 250 м и в  $S$ -образных кривых со скоростями вплоть до конструкционной, увеличенной в 1,1 раза. Стандарт [12] предусматривает два способа оценки показателей — обычный и упрощенный. В любом из этих случаев обязательно измеряются силы взаимодействия колеса и рельса в поперечном и вертикальном направлениях, боковые силы, измеренные на уровне буксовых узлов, и ускорения кузова вагона. Стандартом [13] дополнительно рекомендовано проводить проверку безопасности движения вагона против схода с рельсов при наиболее критичных условиях (например, при радиусе кривой 150 м).

В табл. 1, 2 приведены показатели динамических качеств (ride characteristics), безопасности движения (running safety) и их допускаемые значения в соответствии с требованиями стандартов [12, 13].

По аналогии с применяемым в Северной Америке подходом воздействие грузового экипажа на путь в странах Европы отдельно не исследуют. В рамках динамических испытаний оценивают величины горизонтальных (поперечных) и вертикальных сил, возникающих в контакте колес с рельсами, и их отношения. Для примера возможными к оценке показателями (track loading) являются квазистатические направляющие (поперечные и вертикальные) силы от колеса на рельс (допускаемые значения составляют 60 кН и 155 кН соответственно).

ТАБЛИЦА 1. Показатели динамических качеств в странах Европы

Показатель	Допускаемое значение
Боковая нагрузка на буксу, кН	$k_{п/гр} \cdot 0,8 \cdot (10 + P_{F0} / 3)$ , где $k_{п} = 0,80$ для порожнего вагона; $k_{гр} = 0,75$ для груженого вагона; $P_{F0}$ — максимальная статическая осевая нагрузка, кН
Боковое ускорение на раме тележки над буксой, $m/c^2$	$12 - (m / (5 \cdot t))$ , где $m$ — номер тележки
Боковое ускорение на кузове вагона над ходовой частью, $m/c^2$	3
Вертикальное ускорение на кузове вагона над ходовой частью, $m/c^2$	5

Таблица 2. Показатели безопасности движения в странах Европы

Показатель	Допускаемое значение
Сумма направляющих сил левого и правого колеса, кН	$0,85 \cdot (10 + P_{F0} / 3)$
Коэффициент схода с рельсов (критерий Надаля — отношение поперечной силы, действующей от колеса на рельс, к вертикальной)	не более 1,2
Угол набегания ведущей колесной пары, рад	0,017
Высота поднятия испытуемого колеса ведущей колесной пары, мм	не более 5

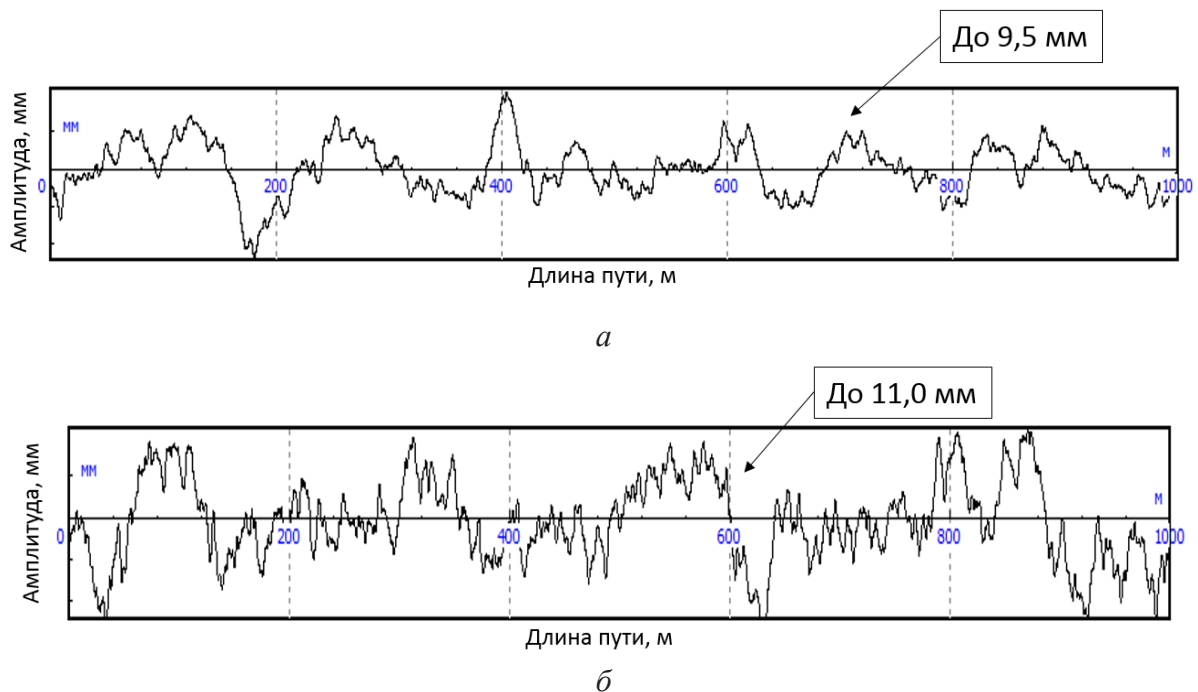


Рис. 8. Горизонтальные (а) и вертикальные (б) неровности рельсовых нитей для определения динамических качеств в Европе, соответствующие «хорошему» состоянию пути



Рекомендуемые к использованию неровности рельсовых нитей условно делят на соответствующие «хорошему» и «плохому» состоянию пути. На рис. 8 представлены горизонтальные и вертикальные отклонения рельсовых нитей для «хорошего» состояния пути.

Пример результатов расчета критерия Надаля [14] — показателя устойчивости колеса от схода с рельса (отношение поперечных и вертикальных сил между колесом и рельсом) по требованиям стандартов Европы при движении базового экипажа со скоростью 90 км/ч показан на рис. 9.

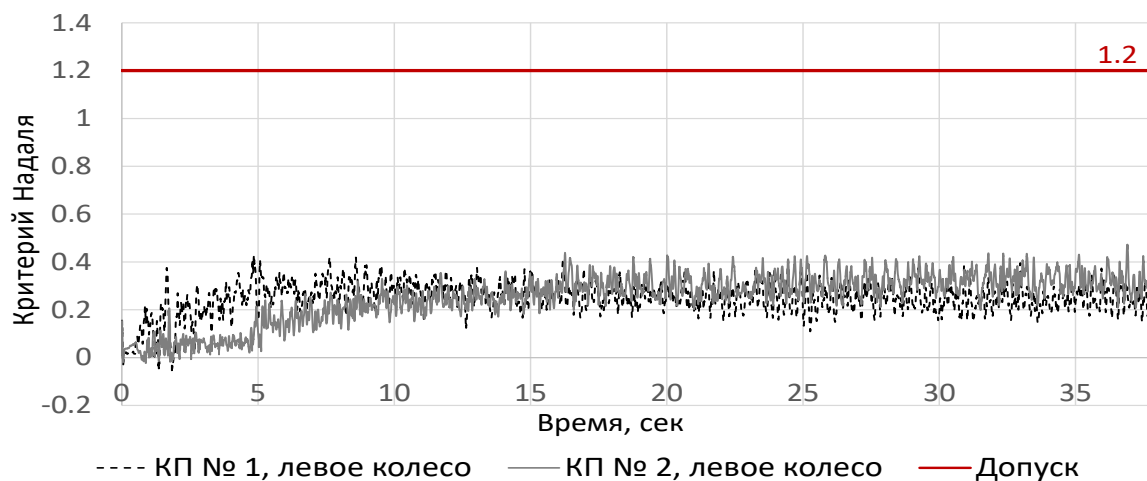


Рис. 9. Результаты расчета коэффициента устойчивости от схода колеса с рельса по требованиям европейских стандартов

### Сравнение требований к оценке динамического поведения экипажа

В табл. 3 представлено комплексное сравнение требований стандартов разных стран к оценке показателей динамических качеств грузовых вагонов и их воздействия на путь.

Помимо отличия показателей между собой, их допустимых значений, для разных стран существует разница в подходе к обработке получаемых результатов. Так, в стандартах Европы и Северной Америки максимальные значения большинства показателей получают с вероятностью 95 %, в России — 99,85 % (минимальное значение коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельса — с вероятностью 0,15 %), причем при обработке временных зависимостей рамных сил, коэффициентов динамической добавки и ускорений учитывают частоты от 0 до 20 Гц. Кроме того, в РФ существует разделение качества хода грузового вагона на «допустимое» (предельно допускаемые значения показателей), «удовлетворительное», «хорошее» и «отличное».

Анализ требований к оценке взаимодействия грузовых железнодорожных экипажей с рельсовым путем позволил установить, что:

ТАБЛИЦА 3. Сравнение параметров, характеризующих взаимодействие экипажа и пути

Параметр	Описание параметра в соответствии со стандартами		
	России	Европы	Северной Америки
Максимальная скорость движения, км/ч	Конструкционная + 10 %		Конструкционная / скорости, обеспечивающие дисбаланс (от -3 до +3 дюймов)
Тип участка пути	прямая; кривые среднего радиуса (300–400 м и 600–800 м); стрелочный перевод на боковой путь	прямая; S-образные кривые; кривая большого радиуса (более 1000 м); кривая малого радиуса (400–600 м); кривая очень малого радиуса (250–400 м)	прямая; кривые (с возвышением наружного рельса от 1 до 12 дюймов); переходный участок (спиралевидный)
Неровности пути	Соответствуют натурным, принимаются согласно [8]	Соответствуют натурным, делятся на «хороший»/«плохой» путь (максимальное отклонение рельсовой нити до 11 мм/16 мм)	Соответствуют натурным/специальные, обеспечивающие определенную форму колебаний элементов экипажа (скручивание, боковая качка, галопирование и т. д.)
Оцениваемые показатели	Динамические качества: рамные силы; ускорения обрессоренных частей; коэффициенты динамической добавки обрессоренных/необрессоренных частей; коэффициенты запаса устойчивости от схода колеса с рельса, от выжигания и опрокидывания в кривых. Воздействие на путь: динамические напряжения в элементах пути; динамическая погонная нагрузка от тележки на путь; боковые и вертикальные силы от колес на рельс/на шпалу; рамные силы; коэффициент устойчивости рельсошпальной решетки от поперечного сдвига по балласту	Динамические качества: суммы направляющих сил левого и правого колес; коэффициенты от схода колес с рельсов; углы набегания ведущих колесных пар; высоты поднятия колес; боковые нагрузки на буксу; ускорения обрессоренных/необрессоренных частей. Воздействие на путь: вертикальные и боковые силы в контакте колес с рельсами	Динамические качества: боковые/вертикальные ускорения кузова; отношения боковых и вертикальных сил на колесе/оси/стороне тележки; минимальные вертикальные нагрузки на колеса; сжатия рессорных комплектов. Воздействие на путь: вертикальные и боковые силы в контакте колес с рельсами

1. Оценка безопасности эксплуатации грузового железнодорожного подвижного состава, его качество хода, воздействие на путь в России, странах Европы и в Северной Америке ведется по существенно отличающимся показателям.

2. Требования стандартов Северной Америки позволяют наиболее полно оценивать динамическое поведение экипажа и включают режимы, обуславливающие отдельные виды колебаний элементов конструкции, и полноценные режимы, соответствующие реальным условиям эксплуатации.

3. Оценка воздействия экипажа на путь выделена в отдельный вид исследований (и испытаний) только в России. Представляет собой расчет комплекса показателей (динамических напряжений в конструкции пути, погонной нагрузки, коэффициента устойчивости рельсошпальной решетки от поперечного сдвига по балласту и т. д.) на основании результатов моделирования движения экипажа по пути (по значениям вертикальных, поперечных сил в контакте колес с рельсами, коэффициентов динамической добавки обрессоренных частей, рамных сил). Существующие методики оценки воздействия на путь требуют унификации [15, 16].

4. В странах Европы и в Северной Америке оценка воздействия на путь ведется косвенно по показателям взаимодействия колес с рельсами (через вертикальные и поперечные силы в пятнах контакта, углы набегания колесных пар и т. д.).

## **Заключение**

Сравнение методов оценки безопасности движения железнодорожного подвижного состава в РФ, Северной Америке и Европе позволило установить, что подходы к определению взаимодействия экипажа и пути, приведенные в регулирующих документах этих стран, отличаются. По результатам сравнительного анализа показателей безопасности движения, а также методов их определения разработаны рекомендации для усовершенствования системы оценки качества хода грузового экипажа в РФ и его воздействие на путь за счет:

– введения дополнительных режимов со специально подобранными неровностями рельсового пути, обуславливающих отдельные виды колебаний элементов конструкции (скручивание, боковой наклон и т. д.), которые могут использоваться на начальном этапе проектирования новых конструкций для подтверждения безопасности движения;

– перехода от многопараметризованной оценки воздействия экипажа на путь к оценке вертикальных и горизонтальных сил взаимодействия колес с рельсами.

## **Библиографический список**

1. Бороненко Ю. П. Особенности динамики вагона-цистерны с жидким грузом / Ю. П. Бороненко, Ю. Б. Житков // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС. — 2017. — Т. 14. — № 4. — С. 597–604.

2. Гончаров С. Е. Сравнительная оценка воздействия на путь и сопротивления движению инновационных вагонов и вагонов устаревших конструкций методами компьютерного

моделирования / С. Е. Гончаров, Д. Ю. Погорелов, В. А. Симонов // Вестник Брянского государственного технического университета. — 2019. — № 1. — С. 36–45.

3. Саидова А. В. Современные методы моделирования динамики подвижного состава: электронное учебное пособие / А. В. Саидова, Ю. Б. Житков. — СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2022. — 52 с.

4. Черкашин Ю. М. Влияние параметров экипажей и пути на безопасность движения поездов / Ю. М. Черкашин, Д. Ю. Погорелов, В. А. Симонов // Вестник ВНИИЖТ. — 2010. — № 2. — С. 3–9.

5. ГОСТ 33211—2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. — М.: Стандартинформ, 2014.

6. ГОСТ 33788—2016. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества. — М.: Стандартинформ, 2016.

7. ГОСТ 34759—2021. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний. — М.: Стандартинформ, 2022.

8. ПНСТ 511—2020. Вагоны грузовые. Расчетные неровности железнодорожного пути для оценки показателей динамических качеств грузовых вагонов расчетными методами. — М.: Стандартинформ, 2021.

9. РД 32.68—96. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов. — М.: МПС, 1996.

10. Specification M-976. Truck Performance for Rail Cars (Last Revised: 2019).

11. Specification M-1001. Design, Fabrication, and construction of freight cars (Last Revised: 2019).

12. UIC Code 518. Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour — Safety — Track fatigue — Running behaviour, 4th edition, 2009.

13. DIN EN 14363:2016. European Standard Railway applications — Testing and Simulation for the acceptance of running characteristics of railway vehicles — Testing of running behavior and stationary tests.

14. Блохин Е. П. Графическое представление критерия Надаля / Е. П. Блохин, М. Л. Коротенко, И. В. Клименко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. — 2010. — № 35. — С. 7–9.

15. Антонов А. Ю. О внесении изменений в расчетные формулы методики оценки воздействия подвижного состава на путь по условию обеспечения его надежности / А. Ю. Антонов, И. И. Иванов // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2019 — Т. 16. — Вып. 1. — С. 31–36.

16. Орлова А. М. К вопросу об установлении допускаемых скоростей движения железнодорожных экипажей на сети дорог РФ / А. М. Орлова, А. В. Саидова, Е. А. Рудакова и др. // Вестник ИПЕМ: Техника железных дорог. — 2019. — Вып. 3(47). — С. 52–60.

Дата поступления: 09.02.2023

Решение о публикации: 28.02.2023

#### **Контактная информация:**

САИДОВА Алина Викторовна — канд. техн. наук; av-saidova@yandex.ru

ГУСЕВ Артем Владимирович — канд. техн. наук; agusev@tt-center.ru

РУДАКОВА Екатерина Александровна — канд. техн. наук; erudakova@tt-center.ru

# Comparison of Requirements for Standards of Different Countries to Assessment of Freight Car Dynamic Qualities and Impact on Track

A. V. Saidova<sup>1</sup>, A. V. Gusev<sup>2</sup>, E. A. Rudakova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

<sup>2</sup>All-Union Research and Development Centre for Transport Technologies, LLC, 22, Liter A, Petrogradskaya Naberezhnaya, Saint Petersburg, 197046, Russian Federation

**For citation:** Saidova A. V., Gusev A. V., Rudakova E. A. Comparison of Requirements for Standards of Different Countries to Assessment of Freight Car Dynamic Qualities and Impact on Track. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 1, pp. 147–160. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-147-160

## Summary

**Purpose:** To analyze and compare the requirements of State Standards of Russia, countries of Europe and North America to assessment of dynamic qualities of freight cars, their impact on railway track. **Methods:** Review and analysis of requirements of various countries to conditions to pursue testing of freight cars on dynamic qualities and their impact on a track, requirements to indicator permissible values made it possible to form the most representative calculated cases for simulation of railway crew motion along various construction tracks (straight, curve sections) and to pursue the study of freight car dynamics with the help of computer simulation modelling in program complex “Universal Mechanism”. **Results:** The comparison of various country’s requirements to the assessment of freight car dynamic behavior is made. Using computer simulation methods, oscillograms of various indicators (forces, accelerations, coefficients) for universal gondola car, installed on bogies of 18-100 model, at its motion along various construction tracks were obtained. The advantages and flaws of used approaches to assess dynamic qualities, indicators of crew impact on various country’s track are shown. **Practical significance:** The work obtained results can be used to improve the system of railway crew dynamic behavior assessment and its impact on a track with the purpose to improve the safety of freight car motion in Russia.

**Keywords:** Freight car, gondola car, car motion simulation, dynamic qualities, impact on track, wheel derailment resistance.

## References

1. Boronenko Yu. P., Zhitkov Yu. B. Osobennosti dinamiki vagona-tcisternyi s zhidkim gruzom [The specificities of dynamics of a tank car with liquid consignment]. *Izvestiya Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2017, vol. 14, Iss. 4, pp. 597–604. (In Russian)
2. Goncharov S. E., Pogorelov D. Yu., Simonov V. A. Sravnitel’naya otsenka vozdeistviya na put’ i soprotivleniya dvizheniyu innovatcionnikh vagonov i vagonov ustarevshih konstruktcii metodami komp’yuternogo modelirovaniya [Comparative assessment of the impact on the track and resistance to movement of innovative cars and cars of obsolete designs using computer simulation methods]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Bryansk State Technical University], 2019, Iss. 1, pp. 36–45. (In Russian)
3. Saidova A. V., Zhitkov Yu. B. *Sovremennye metody modelirovaniya. Dinamiki podvizhnogo sostava: elektronnoe uchebnoe posobie* [Modern methods for modeling the dynamics of rolling stock: electronic textbook]. PGUPS [Petersburg State Transport University]. St. Petersburg: FGBOU VO PGUPS Publ., 2022, 52 p. (In Russian)
4. Cherkashin Yu. M., Pogorelov D. Yu., Simonov V. A. Vliyanie parametrov ekipazheyi i puti na bezopasnost’ dvizheniya poezdov [Influence of vehicle and track parameters on train traffic safety]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik VNIIZHT]. 2010, Iss. 2, pp. 3–9. (In Russian)



5. GOST 33211—2014. *Vagonyi gruzoviye. Trebovaniya k prochnosti I dinamicheskim kachestvam* [GOST 33211—2014. Freight wagons. Requirements for strength and dynamic qualities]. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian)

6. GOST 33788—2016. *Vagonyi gruzoviye I passazhirskie. Metodyi ispyitaniyi na prochnost' i dinamicheske kachestva* [GOST 33788—2016. Freight and passenger cars. Test methods for strength and dynamic qualities]. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian)

7. GOST 34759—2020. *Zheleznodorozhnyi podvizhnoi sostav. Normyi dopustimogo vozdeystviya na zheleznodorozhnyiy put' I metodyi ispyitaniyi* [GOST 34759—2020. Railway rolling stock. Norms of permissible impact on the railway track and test methods]. Moscow: Standartinform Publ., 2021. (In Russian)

8. PNST 511—2020. *Vagonyi gruzoviye. Raschetnyie nerovnosti zheleznodorozhnogo puti dlya otcenki pokazateleyi dinamicheskikh kachestv gruzovih vagonov raschetnimi metodami* [PNST 511—2020. Freight wagons. Estimated railway track irregularities for assessing the dynamic qualities of freight cars by calculation methods]. Moscow: Standartinform Publ., 2021. (In Russian)

9. RD 32.68—96. *Raschetnyie nerovnosti zheleznodorozhnogo puti dlya ispolzovaniya pri issledovaniyah I proektirovanii passazhirskih I gruzovih vagonov* [RD 32.68—96. Estimated railway track irregularities for use in research and design of passenger and freight cars]. Moscow: MPS Publ., 1996. (In Russian)

10. Specification M-976. Truck Performance for Rail Cars (Last Revised: 2019).

11. Specification M-1001 Design, Fabrication, and construction of freight cars (Last Revised: 2019).

12. UIC Code 518. Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour — Safety — Track fatigue — Running behaviour, 4th edition, 2009.

13. DIN EN 14363:2016. European Standard Railway applications — Testing and Simulation for the acceptance of running characteristics of railway vehicles — Testing of running behavior and stationary tests.

14. Blohin E. P., Korotenko M. L., Klimenko I. V. Graficheskoe predstavlenie kriteriya Nadalya [Graphical representation of the Nadal criterion]. *Visnik Dnipropetrovs'kogo natsional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu im. akademika V. Lazaryana* [Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport of Academician V. Lazaryan]. 2010, Iss. 35, pp. 7–9.

15. Antonov A. Yu., Ivanov I. I. O vnesenii izmenenii v raschetniye formulyi metodiki otcenki vozdeystviya podvizhnogo sostava na put' po usloviyu obespecheniya ego nadezhnosti [On introduction of changes in calculation formulas of impact assessment method of the rolling stock influence on the track by the condition of its reliability]. *O vnesenii izmeneniy v raschetnye formuly metodiki otcenki vozdeystviya podvizhnogo sostava na put' po usloviyu obespecheniya ego nadezhnosti* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2019, vol. 16, Iss. 1, pp. 31–36. (In Russian)

16. Orlova A. M., Saidova A. V., Rudakova E. A. et al. K voprosu ob ustanovlenii dopuskaemih skorostei dvizheniya zheleznodorozhnykh ekipazheyi na seti dorog RF [On the issue of establishing permissible speeds of movement of railway carriages on the track network of the Russian Federation]. *Vestnik IPPEM: Tekhnika zheleznykh dorog* [Vestnik IPPEM: Technique of Railways]. 2019, Iss. 3(47), pp. 52–60. (In Russian)

Received: February 09, 2023

Accepted: February 28, 2023

#### **Author's information:**

Alina V. SAIDOVA — PhD in Engineering; av-saidova@yandex.ru

Artyom V. GUSEV — PhD in Engineering; agusev@tt-center.ru

Ekaterina A. RUDAKOVA — PhD in Engineering; erudakova@tt-center.ru