

Сравнительная оценка сопротивления движению грузовых вагонов на тележках различных типов



А. Н. Комарова,
аспирант кафедры
«Вагоны и вагонное
хозяйство» Петербургского
государственного
университета путей
сообщения Императора
Александра I (ПГУПС)

Одним из путей повышения энергетической эффективности железнодорожного транспорта является снижение расхода топлива и электроэнергии на тягу поездов за счет совершенствования нетягового грузового подвижного состава. Произведена сравнительная оценка сопротивления движению грузового вагона на двух тележках инновационного типа с повышенными осевыми нагрузками и тележки традиционной конструкции, включая анализ потерь энергии в различных узлах тележек.



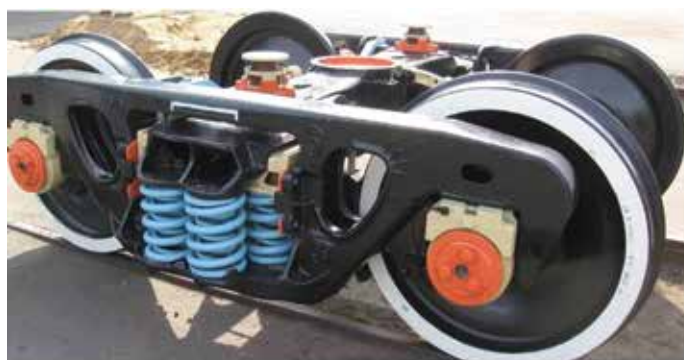
Ю. П. Бороненко,
докт. техн. наук,
профессор, заведующий
кафедрой «Вагоны
и вагонное хозяйство»
ПГУПС, генеральный
директор ОАО «НВЦ
„Вагоны“»

Повышение энергетической эффективности – одна из главных задач в развитии железных дорог России. Среди направлений работы для ее решения – снижение расхода топлива и электроэнергии на тягу поездов за счет совершенствования нетягового грузового подвижного состава. Конструкция вагона и его ходовых частей оказывает значительное влияние на сопротивление движению поезда и, соответственно, на его энергетические потери.

жению вагонов, проводились в середине XX в., они не включали сравнительного анализа тележек различных конструкций.

В данной работе произведена оценка сопротивления движению грузового вагона на двух тележках инновационного типа с повышенными осевыми нагрузками в сравнении с тележкой традиционной конструкции, разработанной в середине XX в. Кроме основного удельного сопротивления движению вагона, были сравнительно оценены потери энергии в различных узлах тележек.

Последние отечественные исследования, касающиеся сопротивления дви-



Тележки грузовых вагонов

Таблица 1. Особенности конструкций исследуемых тележек

Характеристика	Условный номер тележки		
	1	2	3
Осевая нагрузка, т	23,5	25,0	25,0
Характеристика центрального рессорного подвешивания	Линейная	Кусочно-линейная	Кусочно-линейная
Особенности фрикционного клина	Плоский	Пространственный	Плоский
Боковые скользящие	Жесткие	Пост контакта	Пост контакта
Опирающие боковую раму на колесную пару	Жесткое, через буксу	Жесткое через адаптер на кассетный подшипник	Упругое, через адаптер на кассетный подшипник

Таблица 2. Удельное сопротивление движению в различных узлах

Скорость движения, км/ч	Удельное аэродинамическое сопротивление, Н/кН	Удельное сопротивление в подшипниках, Н/кН	Удельное сопротивление от рассеяния энергии в пути	
			Для осевой нагрузки 23,5 т	Для осевой нагрузки 25,0 т
120	1,18	0,1	0,085	0,09
100	1,15			
80	0,75			
60	0,50			
40	0,25			

Условия исследования

Исследование проводилось методом математического моделирования в программном комплексе MEDYNA [1]. Для расчета была создана нелинейная модель груженого полувагона, установленного на тележки и движущегося по прямому участку пути и кривой радиусами 650 и 350 м. Тележки рассматривались с предельно изношенными фрикционными клиньями и с колесами в среднеизношенном состоянии. Износ клиньев моделировался уменьшением коэффициента трения между фрикционным клином и боковой рамой, снижением жесткости на забегание боковых рам и поперечной жесткости подклиновых пружин.

Для сравнительной оценки сопротивления движению были выбраны три тележки. Особенности их конструкции указаны в табл. 1.

При математическом моделировании движения вагона учитывались энергетические потери в следующих основных узлах трения тележки: боковая рама – букса; фрикционный клин – фрикционная пластина; скользящий – опорная пластина; пятник – подпятник, а также в контактах колес с рельсами.

Величины удельного аэродинамического сопротивления, сопротивления трения в подшипниках и сопротивления от диссипации энергии в пути принимались на основании ранее проведенных исследований [2] (табл. 2).

В расчете принималось, что основное удельное сопротивление движе-

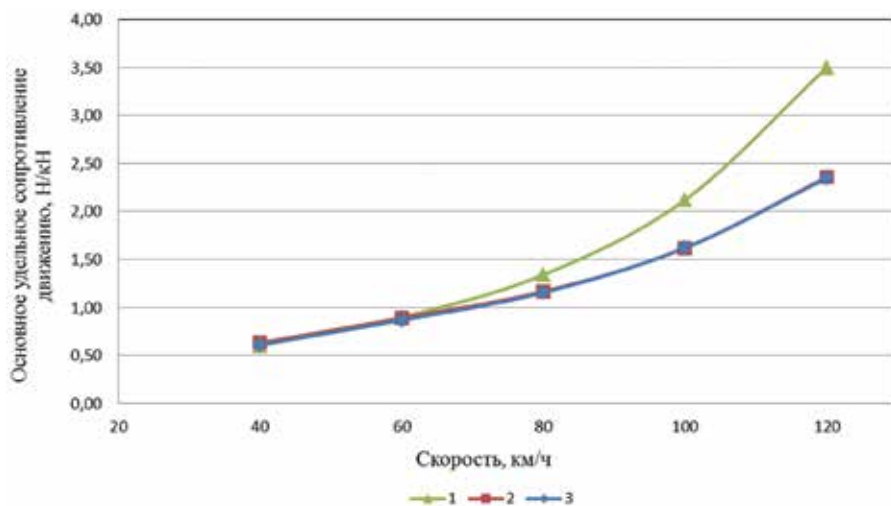


Рис. 1. Удельное сопротивление движению вагона на различных тележках при движении по прямому участку пути

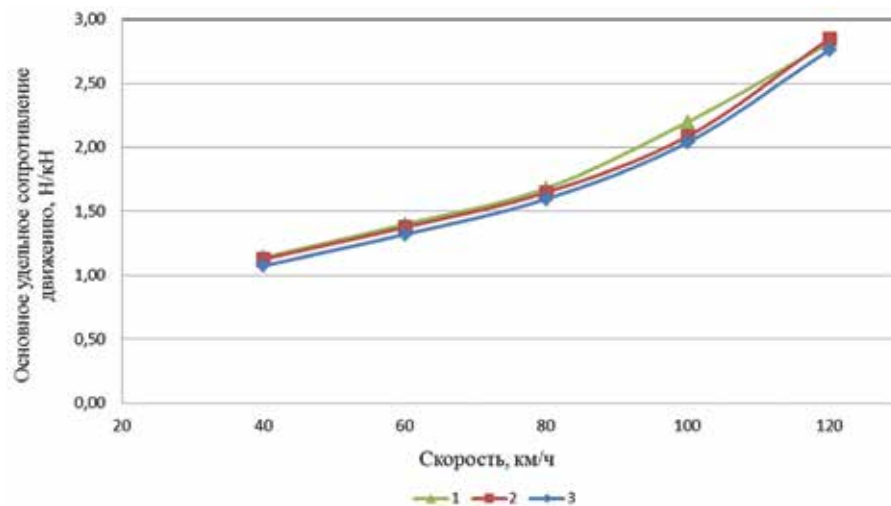


Рис. 2. Удельное сопротивление движению вагона на различных тележках при движении по кривой радиусом 650 м

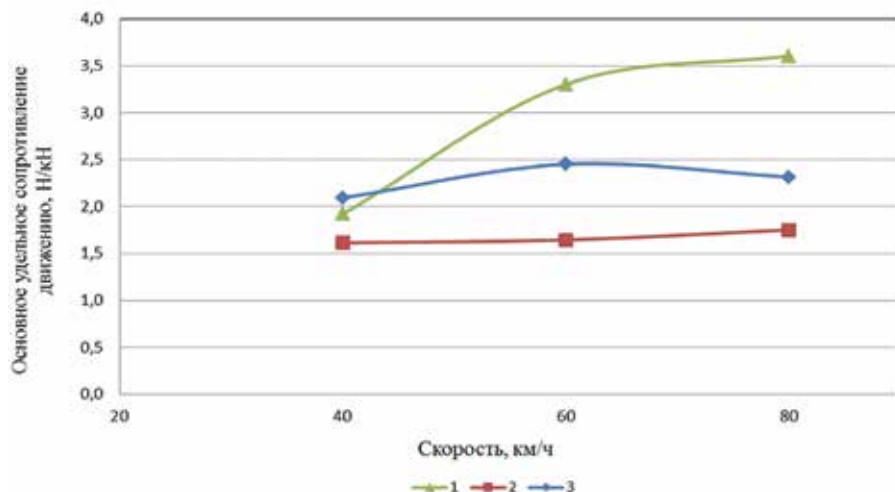


Рис. 3. Удельное сопротивление движению вагона на различных тележках при движении по кривой радиусом 350 м

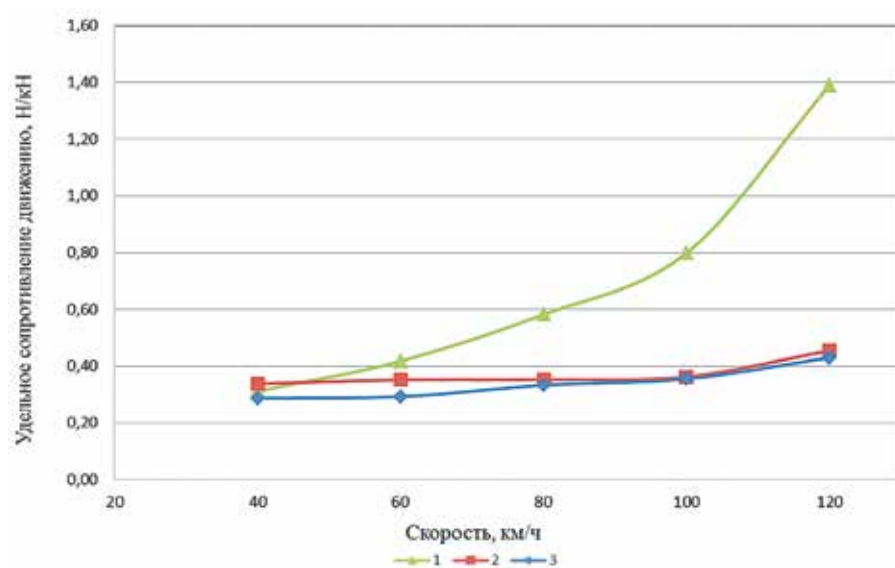


Рис. 4. Удельное сопротивление движению с учетом протяженности участков пути в общей длине железнодорожных линий

нию (w) пропорционально скорости движения и зависит от изменения суммарной средней мощности диссипативных сил в тележке [3].

$$w = \frac{N}{m \cdot V}, \text{ Н/кН,}$$

где N – средняя суммарная мощность диссипативных сил в тележке (кВт);
 m – масса вагона (т);
 V – скорость движения (км/ч).

Результаты расчетов

По результатам расчетов были построены графики зависимости удельного сопротивления движению от скорости движения вагона на прямой (рис. 1), в кривых радиусами 650 м и 350 м (рис. 2 и 3, соответственно).

Анализ результатов расчетов показал, что тележки инновационной конструкции (варианты 2 и 3) позволяют

значительно снижать удельное сопротивление движению вагона во всем диапазоне эксплуатационных скоростей на прямом участке пути и в кривых малого радиуса. При этом в кривых среднего радиуса тележки инновационного типа

не обладают преимуществом по сопротивлению движению.

Для более полной сравнительной оценки энергетических затрат на передвижение вагона на различных тележках было определено удельное сопротивление движению вагона с учетом протяженности участков пути в общей длине железных дорог (рис. 4) по формуле

$$w_q = \sum_{k=1}^3 K_k \cdot w_{qk},$$

где w_{qk} – удельное сопротивление движению на k -м участке пути;

k – счетчик характерных режимов движения (прямая ($k = 1$), кривая радиусом 650 м ($k = 2$), кривая радиусом 350 м ($k = 3$));

K_k – доля протяженности характерных участков пути в общей длине железнодорожных линий. Принимается 0,82 для прямого участка пути, 0,06 – для кривой радиусом 350 м и 0,12 – для кривой радиусом 650 м (значения приняты согласно данным по протяженности участков пути по сети железных дорог России на 1.01.2011 г.).

Тележки инновационной конструкции позволяют значительно снижать удельное сопротивление движению вагона, при этом наличие упругости в буксовом узле не обеспечивает преимуществ по величине энергетических затрат.

Кроме основного удельного сопротивления движению вагона были оценены относительные вклады энергетических потерь в каждом из исследуемых узлов трения тележек в общую мощность энергии, рассеиваемой при движении на скорости 80 км/ч по прямой и в кривой радиусом 650 м. Результаты расчетов представлены на рис. 5, 6.

Анализ результатов исследования вкладов мощностей диссипативных сил в различных узлах трения в общую мощность рассеиваемой энергии продемонстрировал следующее:

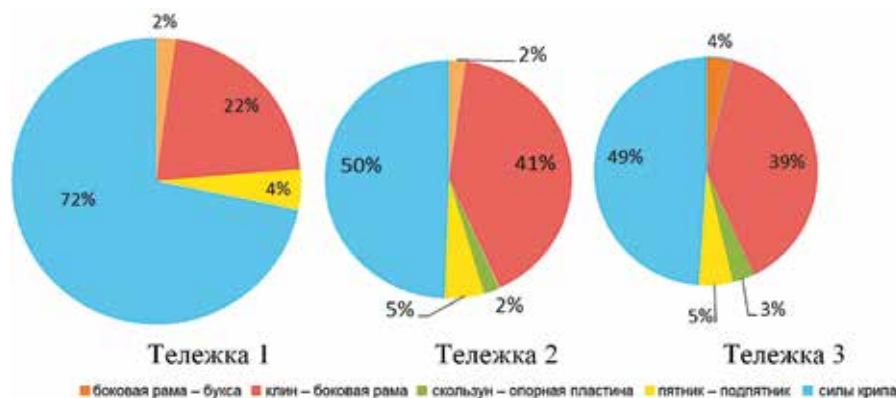


Рис. 5. Относительный вклад энергетических потерь в исследуемых узлах трения тележек в общую мощность энергии, рассеиваемой при движении по прямой

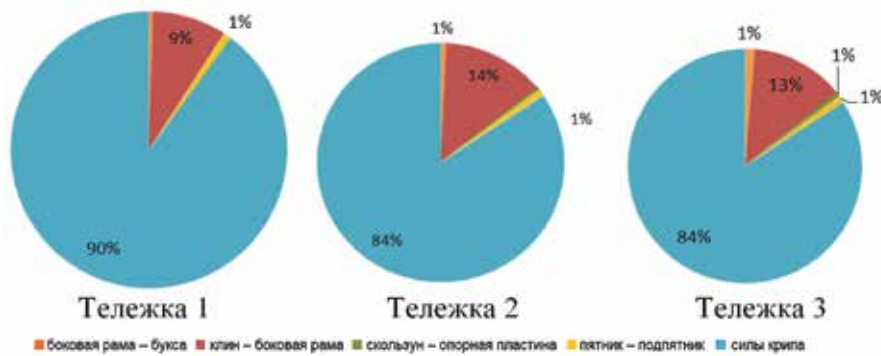


Рис. 6. Относительный вклад энергетических потерь в исследуемых узлах трения тележек в общую мощность энергии, рассеиваемой при движении по кривой радиусом 650 м

- у тележки с условным номером 1 основной вклад в энергетические потери вносит диссипация энергии в контактах колес с рельсами, что показывает ее интенсивные колебания в рельсовой колее (т. е. виляние);

- лишь 20 % энергии, рассеиваемой в узлах трения тележки, приходится на клиновую систему, при этом в тележках инновационного типа (№ 2 и 3) этот показатель равен примерно 40 %. Это показывает недостаточную эффективность клиновой системы тележки № 1 при гашении колебаний;

- наличие упругости в буксовом узле не оказывает значительного влияния на распределение рассеиваемой энергии по узлам трения тележки.

Итак, методом математического моделирования проведена сравнительная оценка сопротивления движению

грузеного полувагона на тележках различных конструкций. Оценены относительные вклады энергетических потерь в каждом из исследуемых узлов трения тележек в общую мощность энергии, рассеиваемой при движении. На основе полученных результатов можно сделать заключение, что исследуемые тележки инновационной конструкции позволяют снижать сопротивление движению вагона по прямым участкам пути и кривым малого и среднего радиуса во всем диапазоне эксплуатируемых скоростей. Определено, что энергетические потери происходят в основном за счет диссипации энергии в контактах колес с рельсами, при этом диссипация энергии в контактах колес с рельсами на скорости 80 км/ч у тележек инновационной конструкции составляет 50 %, а у тележки традиционной конструкции – 72 %, что

показывает ее интенсивные колебания в рельсовой колее.

Показано также, что наличие упругости в буксовом узле не оказывает влияния на величину энергетических затрат при движении вагона и распределение рассеиваемой энергии по узлам трения тележки. ■

Литература

- Лесничий В. С., Орлова А. М. Компьютерное моделирование задач динамики железнодорожного подвижного состава. Ч. 3. Моделирование динамики грузовых вагонов в программном комплексе MEDYNA: учеб. пособие. СПб.: ПГУПС, 2002. 35 с.
- Астахов П. Н. Сопротивление движению железнодорожного подвижного состава // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 311. М.: Транспорт, 1966. 178 с.
- Komarova A., Boronenko Yu., Orlova A., Romen Yu. Calculating rolling resistance of freight wagons using multibody simulation // 23rd Int. Symp. on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks. Program and Abstracts, Qingdao, 19–23 Aug. 2013. Qingdao, 2013. Paper 15.3.
- Гребенюк П. Т. и др. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: Транспорт, 1985. С. 4.
- Комарова А. Н., Бороненко Ю. П. Оценка энергоэффективности нетягового подвижного состава // Наука та прогресс транспорту. 2013. Вып. 1(43). С. 149–153.



Инновационный хоппер-минераловоз модели 19-9870 на грузовых тележках Barber S-2-R