

В.С. КОССОВ, д-р техн. наук, ФГУП ВНИКТИ МПС (Россия)  
Э.М. СОРОЧКИН, инженер, ФГУП ВНИКТИ МПС (Россия)  
Г.С. МИХАЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор, БГТУ (Россия)  
Д.Ю. ПОГОРЕЛОВ, д-р физ.-мат. наук, профессор, БГТУ (Россия)  
В.А. СИМОНОВ, канд. техн. наук, доцент, БГТУ (Россия)

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ТРЕХЭЛЕМЕНТНОЙ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕГО ДИНАМИКИ

В роботі приводяться результати досліджень розробленої у ВНИКТИ МПС конструкції візка вантажного вагона с підвищенням до 250 кН навантаженням від осі на рейку.

В работе приводятся результаты исследований разработанной во ВНИКТИ МПС конструкции тележки грузового вагона с повышенной до 250 кН нагрузкой от оси на рельс.

Some results of designing a three-piece bogie of a freight coach with the help of a precise computer model are presented. The computer model is developed using the Universal Mechanism software. The Hierarchy Analysis Process is applied to choose the rational solution in the parameter space of the model.

При разработке конструкции тележки грузового вагона с повышенной до 250 кН нагрузкой от оси на рельс во ВНИКТИ МПС (Коломна) для обоснования выбора технических решений использовалась компьютерная модель вагона (рис. 1), созданная средствами UMLoco, входящего в состав программного комплекса «Универсальный механизм», разработанного в Брянском государственном техническом университете [1].

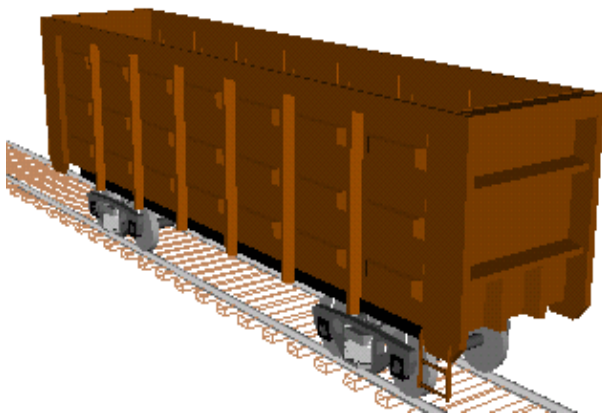
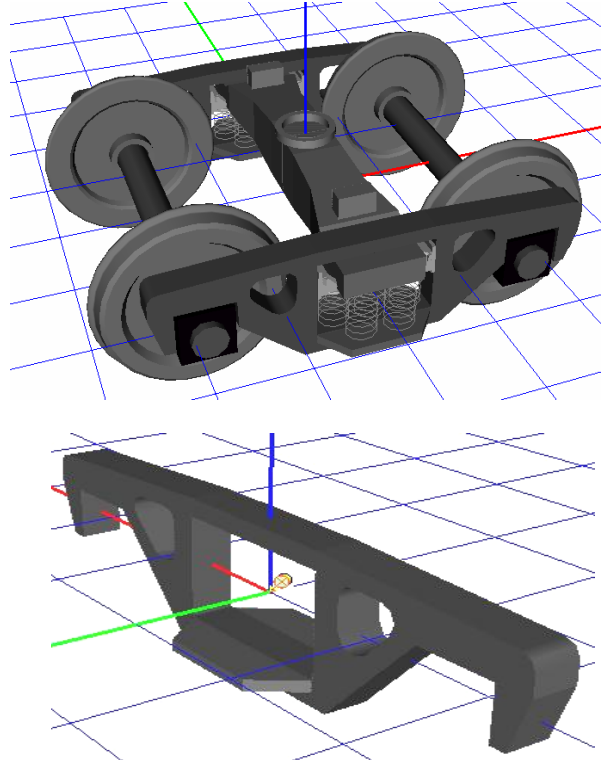


Рис. 1. Модель полувагона

Модель построена с учетом основных особенностей конструкции трехэлементной тележки грузового вагона и включает 19 абсолютно твердых тел (кузов, две надрессорные балки, 4 боковых рамы, 8 клиньев, 4 колесные пары) и имеет 114 степеней свободы (по 6 степеней свободы для всех тел).

В модели предусмотрены: билинейная характеристика рессорного подвешивания, упруго-роликовые опоры (УРО) в скользящих надрессорной балки, упругие элементы между буксой и боковиной.



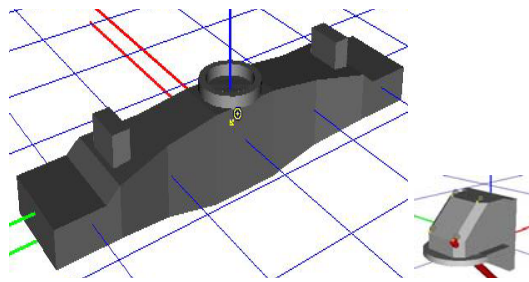


Рис. 2. Модель тележки, боковины, наддрессорной балки и клина

На основе специально разработанных алгоритмов моделируется фрикционное контактное взаимодействие в пятниковом узле, в клиновой системе, в скользунах и опорах боковин на буксы (в случае жесткого опирания) [2]. Представление каждого клина тележки отдельным твердым телом позволяет изучать влияние его геометрии и фрикционных свойств рабочих поверхностей на динамику экипажа. Для моделирования взаимодействия в контакте «колесо – рельс» доступными являются средства, использующие как упрощенную теория на основе алгоритма FASTSIM, так и негерцевскую модель контакта [3]. Это, в свою очередь, позволяет выполнять оценку работы сил трения в зонах скольжения контакта и использовать ее как один из показателей износа профилей колес.

В процессе проектирования тележки анализу подвергались: а) параметры, определяющие фрикционные свойства на рабочих поверхностях клина; б) варианты конструктивного исполнения клиновых пружин рессорного подвешивания вагона; в) конструктивные варианты опирания боковин на буксы с использованием специальных промежуточных элементов с различными упруго-диссипативными свойствами; г) фрикционные параметры опор кузова на наддрессорную балку в пятниковом узле и на скользуны.

Для обоснования выбора технических решений применялась новая методика [4], позволяющая использовать одновременно несколько показателей динамических качеств (например: боковые и рамные силы, коэффициенты динамики, коэффициенты безопасности по всползанию колеса на рельс, работа сил трения гребней о рельс и т.д.) с учетом различных условий функционирования объекта (разные скорости движения, прямые и кривые участки пути, порожний или груженный режимы движения, различные профили колес и т.д.). Далее кратко приводятся некоторые результаты, полученные с помощью компьютерного моделирования.

## Обоснование выбора коэффициентов трения на поверхностях клина и типа клиновых пружин

Рассмотрены различные сочетания коэффициентов трения на наклонной  $f_n$  и вертикальной  $f_v$  трущихся поверхностях клина для двух вариантов конструктивного исполнения рессорного подвешивания. Первый – с билинейной характеристикой всех, в том числе и клиновых пружин, второй имеет клиновые пружины с линейной характеристикой. В данном случае тележки рассмотрены без буксовых упругих элементов, но предусмотрены упругие роликовые опоры в скользунах с поджатием 10 кН. Ниже приведены результаты интегрированного анализа, выполненного при движении вагона по прямым участкам пути по следующим пяти показателям: 1) боковые силы; 2) рамные силы; 3) коэффициент устойчивости по всползанию колеса на рельс (КУ); 4) коэффициент динамики пружин по прогибам (КД); 5) поперечные ускорения кузова в районе пятника ( $a_y$ ).

При этом учтены следующие условия функционирования: скорости движения: 60, 80, 100 и 120 км/ч.; порожний и груженный режимы движения. Альтернативные варианты, из которых предстояло сделать выбор (10 альтернатив), приведены в табл. 1.

Таблица 1

### Альтернативные варианты конструкции

Исходный вариант клиновых пружин		A1	A2	A3	A4	A5
	$f_n$	0,3	0,1	0,1	0,15	0,15
$f_v$	0,3	0,2	0,4	0,2	0,4	
Новый вариант клиновых пружин		A6	A7	A8	A9	A10
	$f_n$	0,3	0,1	0,1	0,15	0,15
$f_v$	0,3	0,2	0,4	0,2	0,4	

Векторы приоритетов показателей на множестве условий функционирования (табл. 2) получены с учетом их относительных значений и последующей нормировкой (сумма элементов вектора равна 1). Относительные значения показателей рассчитывались путем деления фактических значений на предельно допустимые (по Нормам МПС РФ).

Таблица 2

### Векторы приоритетов показателей на множестве условий функционирования

V, км/ч	Порожний				
	боков.	рамные	КУ	КД	$a_y$
60	0.0921	0.2005	0.3569	0.1628	0.1878
80	0.0822	0.1973	0.3242	0.2003	0.1960
100	0.0563	0.1344	0.2390	0.3937	0.1766

120	0.0453	0.1331	0.2421	0.4089	0.1706
V, км/ч	Груженный				
	боков.	Рамные	КУ	КД	a <sub>y</sub>
60	0.2957	0.1756	0.2700	0.1338	0.1249
80	0.2622	0.1575	0.2343	0.1912	0.1549
100	0.2298	0.1226	0.2293	0.2764	0.1420
120	0.2024	0.1490	0.2068	0.2385	0.2033

При формировании вектора приоритетов скоростей (табл. 3) учитывались данные вероятностного распределения скоростей порожнего и груженого вагонов в эксплуатации.

Как видно из табл. 3, скорость 100 км/ч для порожнего вагона не учитывается (имеет нулевой приоритет) при получении результата, поскольку некоторые показатели динамики на ней для ряда альтернатив превышают допустимые.

Таблица 3

Векторы приоритетов скоростей			
Порожний вагон			
40 км/ч	60 км/ч	80 км/ч	100 км/ч
0,4	0,4	0,2	0,0
Груженный вагон			
40 км/ч	60 км/ч	80 км/ч	100 км/ч
0,3	0,4	0,25	0,05

Ниже приведены гистограммы, отражающие предпочтения альтернатив для порожнего и груженого режимов движения вагонов. Минимальным значениям соответствует лучшее качество (решается задача минимизации).

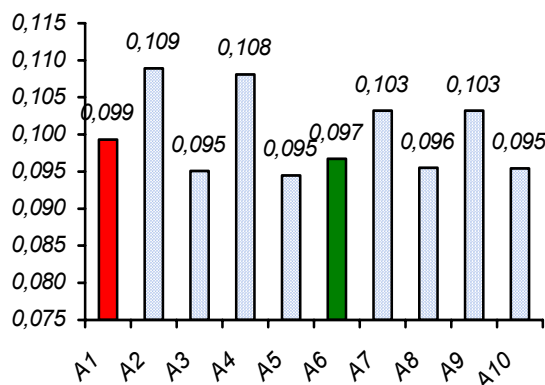


Рис. 3. Порожний вагон. Предпочтения альтернатив для прямых участков пути

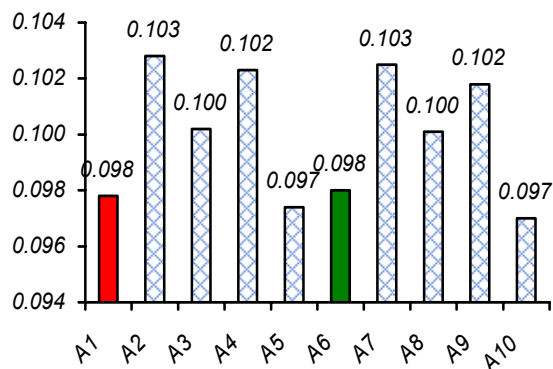


Рис. 4. Груженный вагон. Предпочтения альтернатив для прямых участков пути

Как следует из графиков на рис. 3 и 4, наиболее предпочтительными как для порожнего, так и для груженого вагона являются пятая и десятая альтернативы, которым соответствует наибольший коэффициент трения на вертикальной поверхности клина (пара трения клин-боковина). При этом выборе оба рассмотренных типа клиновых пружин выглядят эквивалентными.

#### Анализ характеристик опор кузова на наддресорную балку

Целью этого этапа проектирования был выбор характеристики упругих элементов УРО и коэффициентов трения в скользящих и пятниковом узле. Один из планов эксперимента включал два варианта УРО: с мягкой и жесткой характеристикой упругих элементов (рис. 5) с двумя возможными значениями их преднатяга (10 и 20 кН).

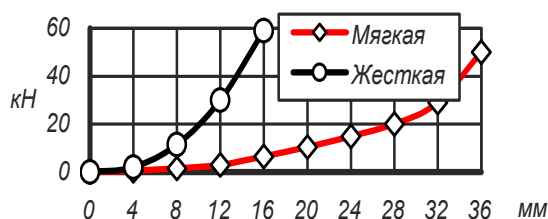


Рис. 5. Упругие характеристики УРО

Предварительный анализ показал, что при преднатяге 20 кН возможен отрыв пятника от подпятника при движении порожнего вагона со скоростями выше 80 км/ч по пути удовлетворительного состояния. В дальнейшем рассматривались лишь опоры с преднатягом 10 кН и мягкой характеристикой упругих элементов. Поэтому план дальнейших исследований предусматривал анализ четырех альтернативных вариантов, полученных варьированием на двух

уровнях коэффициентов трения в опорах (0,2 и 0,4) и пятнике (0,1 и 0,3). В качестве пятой альтернативы для сравнения рассмотрен вагон на серийных тележках типа 18-100 с нагрузкой от оси на рельс 230 кН. Условия эксперимента предусматривали изучение порожнего и груженого режима движения по прямому и кривому участкам пути радиусом 300 м с различными скоростями.

При моделировании принята величина коэффициента трения в скользунах 0,4, а в пятнике – 0,3. Эти значения получены, как и при выборе фрикционных параметров клиньев, на основе обоснования по иерархической схеме [4], позволяющей в наглядной форме интерпретировать результаты, содержащиеся в большом объеме информации, при наличии противоречивых показателей качества. Выбор осуществлен с учетом ускорений пятника, рамных и боковых сил, коэффициентов безопасности по всползанию, работы сил трения гребней при прохождении кривой.

#### Анализ параметров упругих буксовых амортизаторов

Изучалось влияние продольной  $C_x$  и поперечной  $C_y$  жесткости упругих буксовых амортизаторов. Установлено, что заметное влияние на динамические показатели и показатели износа гребней колёс в кривых участках пути оказывает продольная жёсткость. В численном эксперименте она варьировалась в пределах 1,6...9,4 МН/м.

Влияние параметра  $C_x$  при движении в прямых участках пути заметно проявляется при изменении его от 1,6 до 4,7 кН/м (улучшение на 18...23% по рамным силам и ускорениям и 9% по боковым силам). Увеличение этого параметра от 4,7 до 9,4 кН/м не приводит к существенным изменениям динамических показателей. Параметр поперечной жесткости  $C_y$  при его варьировании в пределах от 4,7 до 9,4 МН/м, не оказывает заметного влияния на динамику движения в прямых участках пути как порожнего, так и груженого вагона.

При движении в кривых основным критерием служила работа сил трения гребней при прохождении кривой, которая характеризует их износ.

Установлено, что он зависит от параметра  $C_x$  и не зависит от параметра  $C_y$  при варьировании их в указанных выше пределах. Лучшие (на 12...17 % по набегаящим осям) условия при вписывании в кривые обеспечивает минимальное значение параметра  $C_x=1,6$  МН/м. По сум-

марной работе сил трения улучшение составляет 9 %. График на рис. 6 иллюстрирует распределение работы сил трения гребней колесных пар вагона для двух значений параметра  $C_x$ .

В заключение были проведены численные эксперименты с вагоном на серийных тележках типа 18-100 и нагрузкой от оси 230 кН и вагона на новых тележках с осевыми нагрузками 250 кН, билинейным рессорным подвешиванием и выбранными рациональными параметрами упругих буксовых элементов и упруго-роликовых опор.

Установлено, что при движении в кривых участках пути проектный экипаж имеет лучшие динамические показатели, чем вагон на тележках типа 18-100 с нагрузкой от оси 230 кН, а в прямых – практически одинаковые. В частности, в кривой  $R=300$  м вагон на новых тележках имеет преимущество по коэффициенту безопасности по всползанию на 30 % для порожнего вагона и на 16% для груженого. При движении в кривой  $R=600$  м груженный вагон на новых тележках имеет преимущество по работе сил трения гребней колес на 34 %, а порожний по коэффициенту безопасности – на 20 %.

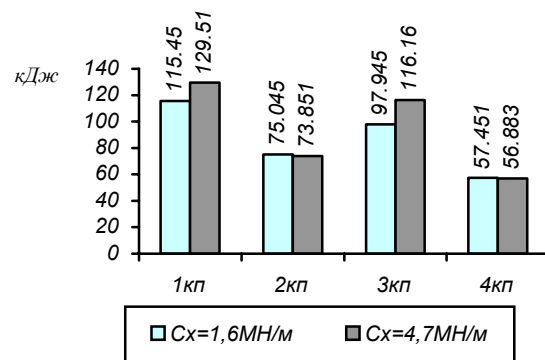


Рис. 6. Работа сил трения бандажей колесных пар вагона при прохождении кривой  $R = 300$  м со скоростью 70 км/ч

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михальченко Г.С., Погорелов Д.Ю., Симонов В.А. Совершенствование динамических качеств подвижного состава железных дорог средствами компьютерного моделирования // Тяжелое машиностроение. – 2003. – № 12. – С. 2-5.
2. Погорелов Д.Ю., Павлюков А.Э., Юдакова Т.А., Котов С.В. Моделирование контактных взаимодействий в задачах динамики систем тел // Динамика, прочность и надежность транспортных машин. – Брянск: БГТУ. – 2001. – С. 11-23.
3. R. Kovalev, V.N. Yazykov, G.S. Mikhalchenko, and D. Yu. Pogorelov Railway Vehicle Dynamics: Some Aspects of Wheel-Rail Contact Modeling and Optimization of Running Gears //Mechanics

Based Design of Structures and Machines, Volume 31, Number 3, 2003, pp. 315-335.

4. Симонов В.А. Иерархическая схема формирования комплексных показателей, определяю-

щих ходовую динамику подвижного состава // Вестник Восточно-укр. нац. ун-та. – 2003. – № 9. – С. 46-52.