

УДК 629.457.4  
DOI: 10.12737/17089

В.А. Лебедев, В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, С.Д. Коршунов

## ОБОСНОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРУГОГО КУЗОВА ДВУХЭТАЖНОГО ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

Выполнена оценка адекватности компьютерной модели кузова двухэтажного купейного пассажирского вагона для расчета собственной частоты первого тона изгибных колебаний в вертикальной плоскости. Исследования проведены на основе аналитических зависимостей нормативных документов, методов математического моделирования вибраций кузова, экспериментальных данных.

**Ключевые слова:** двухэтажный пассажирский вагон, упругий кузов, динамическая модель, математическое моделирование, метод конечных элементов, вибрационные испытания, собственная частота, изгибные колебания.

V.A. Lebedev, V.V. Kobishchanov, D.Ya. Antipin, S.D. Korshunov

## DYNAMIC MODEL SUBSTANTIATION OF ELASTIC BODY IN BILEVEL CAR

The aim of this work consists in choosing a rational way for the definition of self-resonant frequency in car body bending vibrations of a bilevel car.

A test subject is the car body of a bilevel car of the model 61-4465 manufactured by the Company «Tver Wagon Works».

The vibration tests of a bilevel car were modeled. Test results were compared to the data of actual test and a computation on the recommendations of regulations.

There is developed a lamellar finite-element model of a bilevel car carcass with its stiffness corresponding to a real car body. The assessment of self-resonant frequency in car body bending vibrations was carried out on basis of three variants of its model dif-

fered with the distribution of car body gross weight: uniformly throughout the whole of metalware; throughout the parts of metalware in accordance with mass position in a real car; taking into account the influence of partition rigidity in compartments and service rooms. The comparison of modeling results with the use of models described and results of actual tests shows their satisfactory correspondence that allows approaching to dynamic values of a real car body at the investigation of its loading by the methods of computer simulation.

**Key words:** bilevel car, elastic car body, dynamic model, mathematic modeling, finite element, vibration test, self-resonant frequency, bending vibrations.

Для предварительной оценки параметров проектируемого вагона (прочности, надежности, динамических показателей и т. д.) выполняют моделирование его нагруженности.

Металлоконструкции кузовов одноэтажных и двухэтажных пассажирских вагонов отличаются по весовым и жесткостным характеристикам: кузов двухэтажного вагона тяжелее и выше кузова одноэтажного, к тому же в средней части он имеет понижение, что делает его более жестким. В связи с этим целесообразно оценить влияние указанных конструктивных особенностей на собственные частоты изгибных колебаний кузова и соответствие их п. 5.12 «Норм...» [1].

Целью работы является выбор рационального способа определения методами

математического моделирования собственных частот изгибных колебаний кузова двухэтажного пассажирского вагона.

Объектом исследования служит кузов двухэтажного пассажирского купейного вагона модели 61-4465 (рис. 1) производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод» [2]. Вагон предназначен для эксплуатации в составе пассажирских поездов постоянного формирования на участках электрифицированных железных дорог колеи 1520 мм со скоростями до 160 км/ч.

Моделировались вибрационные испытания двухэтажного пассажирского купейного вагона. При этом определялись собственные частоты изгибных колебаний кузова в вертикальной плоскости с учетом жесткостных параметров перегородок и

фактического распределения массы брутто по модели металлоконструкции кузова.

Полученные результаты сравнивались с результатами натурных испытаний и расчетом по условиям «Норм...».



Рис. 1. Двухэтажный купейный пассажирский вагон модели 61 – 4465

На основе метода конечных элементов разработана пластинчатая модель несущей конструкции кузова двухэтажного пассажирского вагона (рис. 2) в среде графического ядра моделирования Siemens PLM Femap 10.3 расчетного программного комплекса NX Nastran [3]. Модель состоит из  $7,2 \cdot 10^4$  трех- и четырехузловых пластинчатых элементов, объединенных  $6,3 \cdot 10^4$  узлами, и обладает  $4,3 \cdot 10^5$  степенями свободы. По параметру жесткости модель соответствует реальному кузову, что было определено в работе [4].

Оценка собственных частот изгибных колебаний кузова проводилась на

основе конечноэлементной модели тремя способами:

- 1) распределения массы брутто кузова (59,1 т) по всей металлоконструкции;
- 2) распределения массы брутто кузова по частям металлоконструкции в соответствии с положением масс в реальном вагоне;
- 3) распределения массы брутто кузова по частям металлоконструкции в соответствии с положением масс в реальном вагоне и с учетом влияния жесткости межкупейных перегородок, перегородок служебных помещений.

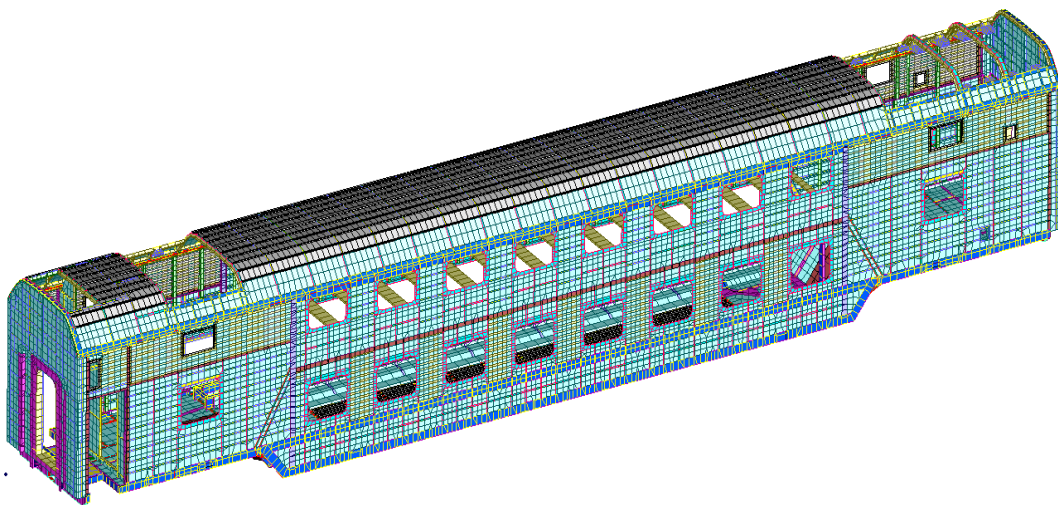


Рис. 2. Пластинчатая конечноэлементная модель кузова двухэтажного пассажирского вагона

Первый способ самый простой и достаточно быстрый, но он не учитывает локальное размещение масс в кузове вагона.

Второй способ более сложный, он предполагает уточненное размещение масс оборудования, элементов отделки, полезной нагрузки и т. д. по модели кузова в зависимости от их зоны расположения [5]. Для упрощения моделирования кузов был разделен на три части: среднюю (салонную, с понижением) и две концевые.

Третий способ в дополнение ко второму учитывает влияние жесткости перегородок пассажирских купе, служебных помещений. Перегородки моделировались конечно-элементными пластинами, по упругости и толщине имитирующими реальные перегородки. Крепление перегородок к модели кузова осуществлялось при помощи специальных абсолютно жестких стержневых элементов.

При всех способах масса брутто кузова распределяется путем изменения плотности материала конечных элементов модели. При проведении расчетов закрепление расчетных схем в пространстве осуществлялось в соответствии с условиями испытаний [6]. Связь в вертикальном направлении выполнена в зоне расположения скользунов, в горизонтальном поперечном направлении – в зоне пятников. Горизонтальная продольная связь кузова расположена в середине его длины.

В работе выполнялся предварительный расчет собственной частоты первого тона изгибных колебаний в вертикальной плоскости по требованиям «Норм...», в соответствии с которыми частота колебаний кузова должна быть не менее 10 Гц.

Результаты моделирования и расчета по «Нормам...» сопоставлены в таблице с результатами натуральных стендовых испытаний вагона [6-9].

Таблица

Расчетные и экспериментальные значения частоты изгибных колебаний кузова вагона

Параметр	Моделирование МКЭ			Натурные стендовые испытания	Расчет по «Нормам...»
	Способ 1	Способ 2	Способ 3		
Частота изгибных колебаний кузова вагона, Гц	8,7	9,6	10,3	11,3	13,1

Сопоставление результатов моделирования вибрационных испытаний кузова третьим способом с результатами натуральных стендовых испытаний показывает их удовлетворительное соответствие (расхождение не превышает 8,8%).

Таким образом, использование динамической модели двухэтажного вагона

с упругим кузовом, распределение его масс по длине и высоте с учетом жесткости перегородок пассажирских купе и служебных помещений позволяют приблизиться к динамическим показателям реального кузова, в том числе при моделировании движения вагона по неровностям пути.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. – 260 с.
2. ОАО «Тверской вагоностроительный завод». – Режим доступа: <http://www.tvz.ru/>.

3. Шимкович, Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows/Д.Г. Шимкович. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 448 с.
4. Лебедев, В.А. Напряжения в элементах двухэтажного пассажирского вагона/ В.А. Лебедев, Н.А. Заглядова // Мир транспорта. – 2012. – № 6.
5. Вагон пассажирский двухэтажный купейный со спальными местами модели 61-4465. Определение массы и координат центра тяжести кузова: отчет о НИР. – Тверь: Твер. вагоностроит. з-д, 2010. – 38 с.
6. Предварительные испытания. Металлоконструкция кузова пассажирского купейного вагона со спальными местами модели 61-4465.
1. Standards for Computation and Design of New and Rebuilt Railway Cars of RM with Railway Track of 1520 mm (non-self-propelled). – М.: VNIIV-VNIIRT, 1983. – pp. 260.
2. Company “Tver Wagon Works”. – Access Mode: <http://www.tvz.ru/>.
3. Shimkovich, D.G., Design Calculation in MSC/NASTRAN for Windows/D.G. Shimkovich. – М.: ДМК Press, 2001. – pp. 448.
4. Lebedev, V.A., Stresses in elements of bilevel car/ V.A. Lebedev, N.A. Zaglyadov // World of Transport. – 2012. – No 6.
5. Bilevel sleeping car of model 61-4465. Definition of Mass and Coordinates of Body Center of Gravity: SRW Report. – Tver: Tver Wagon Works. 2010. – pp. 38.
- Определение собственной частоты изгибных колебаний: отчет о НИР. – Тверь: Твер. ин-т вагоностроения, 2012. – 11 с.
7. Коршунов, С.Д. Современные методы испытаний железнодорожного подвижного состава, прошедшего ремонт различных объемов и вновь построенного/ С.Д. Коршунов, С.Л. Самошкин// Вагонный парк.- 2012.- №7.- С.15-18.
8. РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества.- М.: ГосНИИ вагоностроения, 1995. -100 с.
9. ОСТ 24.050.37. Плавность хода.- М.: ГосНИИ вагоностроения, 1995. -10 с.
6. Preliminary tests. Metalware of bilevel sleeping car of model 61-4465. Definition of Self-Resonant Frequency of Bending Vibrations: SRW Report. – Tver: Tver Institute of Carriage Engineering. 2012. – pp. 11.
7. Korshunov, S.D., Current test methods of rolling-stock subjected to various kinds of repair and rebuilt/ S.D. Korshunov, S.L. Samoshkin// Car Fleet. – 2012. – No 7.- pp. 15-18.
8. RD 24.050.37-95. Freight and Passenger Cars. Test Methods for Strength and Ride performance. – М.: State SII of Carriage Engineering, 1995. – pp. 100.
9. ARS 24.050.37. Motion Smoothness. – М.: StateSII of Carriage Engineering. 1995. – pp. 10.

*Материал поступил в редколлегию  
14.05.15.*

*Рецензент: д.т.н., профессор  
Брянского государственного технического  
университета В.П. Тихомиров*

#### Сведения об авторах:

**Кобищанов Владимир Владимирович**, д.т.н., профессор кафедры «Подвижной состав железных дорог» БГТУ, e-mail: [adya24@rambler.ru](mailto:adya24@rambler.ru).

**Антипин Дмитрий Яковлевич**, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Подвижной состав железных дорог» БГТУ, e-mail: [adya24@rambler.ru](mailto:adya24@rambler.ru).

**Kobishchanov Vladimir Vladimirovich**, D.Eng., Prof. of the Dep. «Rolling-Stock» BSTU, e-mail: [adya24@rambler.ru](mailto:adya24@rambler.ru).

**Antipin Dmitry Yakovlevich**, Can.Eng., Assistant Prof., Head of the Dep. «Rolling-Stock» BSTU, e-mail: [adya24@rambler.ru](mailto:adya24@rambler.ru).

**Лебедев Владимир Александрович**, аспирант кафедры «Подвижной состав железных дорог» БГТУ, e-mail: [lva170487@yandex.ru](mailto:lva170487@yandex.ru).

**Коршунов Сергей Дмитриевич**, к.т.н., зав. лабораторией «Динамико-прочностные испытания вагонов» ЗАО НО «Тверской институт вагоностроения», e-mail: [tiv-5@yandex.ru](mailto:tiv-5@yandex.ru).

**Lebedev Vladimir Alexandrovich**, Post graduate of the Dep. «Rolling-Stock» BSTU, e-mail: [lva170487@yandex.ru](mailto:lva170487@yandex.ru).

**Korshunov Sergey Dmitrievich**, Can.Eng., Head of the Lab. «Dynamic-Strength Tests of Cars» Joint-Stock Co. “Tver Institute of Carriage Engineering”, e-mail: [tiv-5@yandex.ru](mailto:tiv-5@yandex.ru).