

**СБОРНИК ТРУДОВ**  
**СЕДЬМОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ**  
**ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ CAD-FEM GMBH**

(23-24 МАЯ 2007 Г.)

Под редакцией А. С. Шадского

*Москва  
2007*

**CADFEM**

## ОЦЕНКА СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ И ФОРМ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КУЗОВА ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

А. Ф. Бойко<sup>1,2</sup>, Я. П. Аузиньш<sup>2</sup>, К. Н. Ляпшин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Балтийский испытательный центр, Рига (Латвия)

<sup>2</sup> Рижский технический университет, Рига (Латвия)

Выполнена расчетная и экспериментальная оценка первых частот и форм собственных изгибных колебаний кузова пассажирского прицепного вагона на соответствие требованиям норм [1] по обеспечению необходимой плавности хода и, как следствие, – снижение утомляемости пассажиров.

В данной работе рассчитаны первые 10 собственных частот и форм колебаний и прогибы элементов кузова пассажирского прицепного вагона.

В конечно-элементной модели, построенной в программе ANSYS, для несущих элементов кузова и рамы использованы пространственные балочные конечные элементы BEAM189 с шестью степенями свободы в каждом узле. Для обшивки крыши, пола, боковых и торцевых стен использованы 8-ми узловые элементы SHELL63 типа оболочки с задаваемой толщиной с шестью степенями свободы в каждом узле. Конечно-элементная сетка использовалась для прочностного анализа, поэтому она имеет сгущения в зонах концентраторов напряжений. Модель вагона включает 15778 конечных элементов и 17786 узлов (рис. 1).

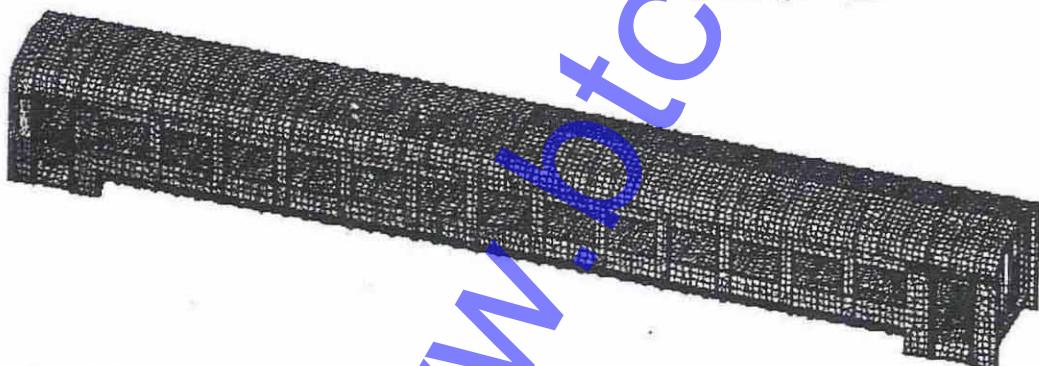


Рис. 1. Конечно-элементная модель кузова прицепного пассажирского вагона

Для перехода от статического (прочностного) к модальному анализу необходимо в меню **войти в блок Solution** и выбрать модальный тип анализа. При выборе метода извлечения форм колебаний был выбран задаваемый программой по умолчанию метод Block Lanczos [2], так как модель большая, состоит из комбинации твердотельных и оболочных элементов и возможно извлечение до 40 собственных форм колебаний. Необходимо отметить, что данный метод работает быстрее, но требует в два раза большего объема памяти компьютера, чем метод Subspace. Отметим, что приложенные к расчетной модели многочисленные нагрузки удалять не нужно, так как они не учитываются (не входят в уравнение движения) при поиске собственных частот и форм колебаний кузова и не могут повлиять на результаты модального расчета.

Результаты расчета первых 10-ти собственных частот кузова прицепного пассажирского вагона при жестком закреплении в вертикальном направлении и при подвешивании кузова на 4 пружинных комплекта с эквивалентной тележкам жесткостью представлены в табл. 1. Для опорных пружин использованы 2-х узловые элементы COMBIN14 с линейной жесткостью.

Таблица 1.  
Собственные частоты кузова прицепного пассажирского вагона

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Частота, Гц	5,357	<b>9,162</b>	9,789	9,805	12,430	12,838	12,846	13,216	13,218	13,437
	0,001	0,012	7,645	<b>9,548</b>	9,789	9,805	12,837	12,846	13,214	13,218

Для более детального рассмотрения в программе ANSYS были построены анимации для соответствующих форм колебаний. Таким образом, определена первая форма изгибных колебаний кузова при жестком его опирании в вертикальной плоскости, соответствующая частоте 9,162 Гц (рис. 2). При пружинном опирании кузова частота несколько выше – 9,548 Гц, первая форма изгибных колебаний кузова при этом закреплении показана на рис. 3.

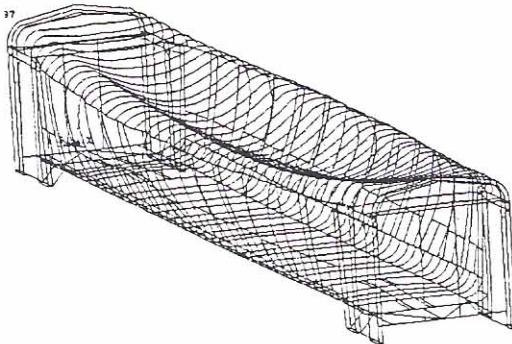


Рис. 2. Первая форма изгибных колебаний кузова при жестком опирании, частота 9,162 Гц

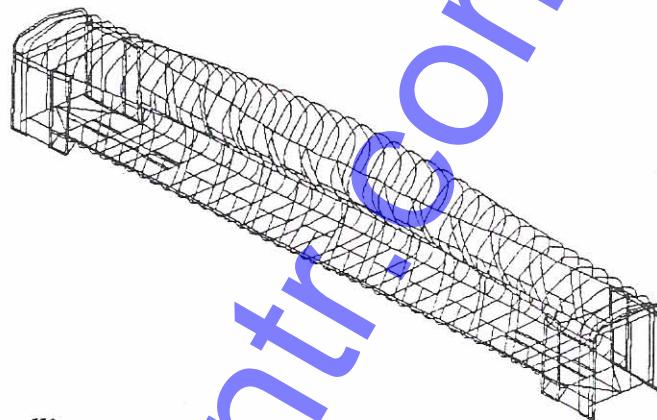


Рис. 3. Первая форма изгибных колебаний кузова при опирании на пружины, частота 9,548 Гц

Экспериментальная оценка первой собственной частоты порожнего кузова прицепного пассажирского вагона, проведенная Балтийским испытательным центром, выполнялась при помощи электромеханического вибратора ЕМ-2, прикрепленного к поперечным балкам пола кузова в средней части.

Для более точного определения резонансной частоты кузова испытания проводились при следующих режимах: набор частоты оборотов вибратора – 5...15 Гц; квазистационарный режим в зоне ожидаемых резонансных изгибных колебаний кузова - 8...10 Гц; сброс частоты оборотов вибратора до минимальных значений. Определение резонансной частоты изгибных колебаний производилось по осциллограммам вертикальных ускорений кузова. Среднее значение частоты после ряда измерений составило – 9,98 Гц для конкретного кузова пассажирского вагона.

Согласно требованиям норм [1] по обеспечению необходимой плавности хода первая собственная частота изгибных колебаний кузова должна иметь значение не менее 10 Гц (при испытаниях 8 Гц). Экспериментальное значение 9,98 Гц соответствует требованиям [1], а расчетное значение 9,548 Гц при подвешивании кузова на 4 пружины показывает результат лучше, чем при жестком опирании кузова, но имеет ошибку  $\approx 4,3\%$ . Величина ошибки связана с отсутствием в расчетной модели оборудования (мелкие элементы, обшивка, крепления-демпферы). Для уточнения результатов необходимо провести динамический расчет с подвешиванием тележек.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов, железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных), Изменения и дополнения № 1 и № 2 ВНИИВ-ВНИИЖТ. - М., 1996. - 317 с.
2. ANSYS Release 9.0 Documentation, Ansys, Inc. USA, 2004.