

Во время испытаний производилась непрерывная регистрация данных с частотой дискретизации 1200 Гц (1200 отсчетов в секунду).

Из полученных результатов следует, что показатели плавности хода вагона во всех направлениях (вертикальном, продольном и поперечном) и во всех скоростных диапазонах, а также уровни вибрации вагона во всех направлениях (вертикальном, продольном и поперечном) и во всех частотных и скоростных диапазонах соответствуют нормативным требованиям.

Результаты испытаний показывают, что применение данной системы контроля вибраций является прогрессивным направлением в области исследований железнодорожного подвижного состава.

УДК 629.423; 534.1

ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КУЗОВА САМОХОДНОГО ВАГОНА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Р. В. ГУЧИНСКИЙ

ООО «ТМХ Инжиниринг», Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Новые и модернизируемые кузова самоходных вагонов должны удовлетворять требованиям по динамическим качествам, в том числе включающим ограничение первой частоты собственных изгибных колебаний (ПЧСИК). ПЧСИК является важной характеристикой кузова, связанной с вертикальной вибрацией, показателями плавности хода и уровнем комфорта пассажиров. Согласно нормам РФ для пассажирских несамоходных вагонов, вагонов мотор-вагонного подвижного состава и метрополитена она должна быть не менее 8 Гц для полностью оборудованного кузова брутто.

На начальной стадии проектирования до построения конечно-элементной модели кузова может быть полезным предварительный оценочный расчет ПЧСИК кузова. Такой расчет позволяет вовремя принять стратегически важные конструктивные решения и сократить в дальнейшем число испытаний. В нормативных документах РФ для расчета и проектирования пассажирских несамоходных вагонов приведена формула для предварительного расчета ПЧСИК кузова как безопорной балки при равномерно распределенной нагрузке:

$$v = k \frac{\alpha^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} = \frac{3,027}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}, \quad (1)$$

где L – длина кузова, м; m – масса единицы длины кузова брутто, кг/м; I – момент инерции среднего сечения кузова, м⁴; E – модуль Юнга, Па; $k = 0,85$ – опытный поправочный коэффициент; $\alpha = 4,73$ – корень частотного уравнения.

Однако из-за большой погрешности, обусловленной различиями в характере деформирования балки постоянного сечения и действительной конструкции кузова вагона, формула (1) не нашла отражения в нормах для самоходных вагонов. В настоящей работе предлагается показать перспективы ее применения для таких вагонов.

Основными отличиями кузова вагона от балки постоянного сечения являются деформирование контура поперечных сечений и сдвиговая податливость боковых стен. Эти факторы обуславливают заметное снижение действительной жесткости кузова на изгиб в сравнении с жесткостью, определяемой по среднему поперечному сечению, что подтверждается сопоставлением вертикальных перемещений при изгибе.

Для оценки влияния каждого фактора на частоту и жесткость рассматривались четыре модели кузова вагона электропоезда в трех исполнениях. Исполнения отличались длиной кузова, базой вагона и расположением дверных и оконных проемов. В основной модели каждого исполнения, максимально приближенной по характеру деформирования к балке постоянного сечения, были устранены основные факторы, связанные с понижением частоты: а) в поперечных сечениях между окнами и в шкворневых сечениях установлены жесткие перегородки; б) оконные и дверные проемы заделаны жесткими мембранами. В следующих двух моделях указанные мероприятия рассматривались отдельно. Для сопоставления также использовалась основная модель кузова (рисунок 1). Во всех случаях были рассчитаны ПЧСИК с помощью модального анализа методом конечных элементов (МКЭ). Для отдельного учета двух факторов бы-

ли рассчитаны два парциальных коэффициента снижения частоты: для модели с податливостью боковых стен (а) и податливостью контура поперечных сечений (б). Затем определены коэффициенты снижения частоты с учетом взаимосвязи факторов и пересчитаны в коэффициенты для жесткости, так как первопричиной снижения частоты является именно жесткость. Для упрощения расчетов использованы осредненные значения коэффициентов для оборудованного и необорудованного кузова.

По результатам расчетов для учета изменения жесткости предлагается использовать в формуле (1) ее эквивалентное значение:

$$v = \frac{\alpha^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{k_0 k_1 k_2 EI}{m}}, \quad (2)$$

где k_0 – поправочный коэффициент; k_1 – коэффициент жесткости контура поперечного сечения кузова; k_2 – коэффициент совместности работы рамы и крыши. Необходимость введения коэффициента k следует установить по данным экспериментальной проверки формулы (2), целесообразно объединение коэффициентов k и k_0 .

Результаты расчета ПЧСИК с помощью МКЭ и по формуле (2) с использованием осредненных коэффициентов $k_{0,2}$ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет ПЧСИК по МКЭ и формуле (2)

Исполнение	М, т	Частота для кузова, МКЭ, Гц	Частота по (2), Гц $k_0 = 0,77$; $k_1 = 0,77$; $k_2 = 0,6$	Погрешность, %
1	52,9 6	9,37	10,48	+11,8
	14,9	17,73	19,76	+11,4
2	67,0 2	6,6	6,08	-7,9
	14,0	14,65	13,28	-9,3
3	67,0 2	6,03	6,08	+0,8
	14,1	13,57	13,24	-2,4

Формула (2) при использовании осредненных коэффициентов позволяет определять значения собственных частот оборудованных и необорудованных кузовов самоходных вагонов с погрешностью до 12 %, что как минимум в три раза точнее, чем с применением формулы (1). Также возможно использование уточненной формулы для расчета частот колебаний пассажирских и специальных вагонов.

Коэффициент k_0 зависит от неоднородности жесткости конструкции, формы поперечного сечения, степени неравномерности распределения нагрузки.

Коэффициент k_1 зависит от жесткости шпангоутов в поперечных сечениях кузова, наличия межконных перегородок и их жесткости.

Коэффициент k_2 зависит от ширины межконных проемов, жесткости межконных стоек, этажности вагона.

Представлена уточненная формула для расчета ПЧСИК кузовов самоходных вагонов. С помощью коэффициентов снижения жесткости вводится ее эквивалентное значение из-за отличий оболочечной конструкции кузова от балки постоянного сечения. Показано, что фактическая жесткость кузова вагона электропоезда классической конструкции отличается от жесткости, определяемой поперечным сечением кузова, в 3–4 раза. Предполагается, что коэффициенты снижения жесткости зависят от жесткости контура межконных и шкворневых поперечных сечений, а также сдвиговой податливости боковых стен. Значения коэффициентов следует уточнить в рамках дальнейших расчетных и экспериментальных исследований. Расчет частоты для кузовов самоходных вагонов по уточненной формуле позволяет получить в три раза более точные результаты по сравнению с известной формулой для пассажирских вагонов.

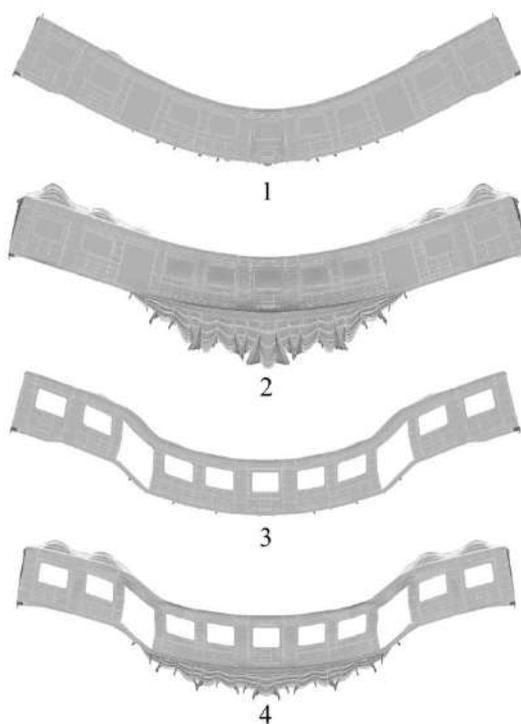


Рисунок 1 – Формы изгибных колебаний оборудованного кузова самоходного вагона (вариант исполнения 3):

1 – при имитации балки (случаи а, б); 2 – с учетом податливости контура поперечных сечений (случай б); 3 – с учетом сдвиговой податливости боковых стен (случай а); 4 – при фактической податливости