



Напряжения в элементах двухэтажного вагона



Владимир ЛЕБЕДЕВ
Vladimir A. LEBEDEV

Надежда ЗАГЛЯДОВА
Nadejda A. ZAGLIADOVA



Лебедев Владимир Александрович — аспирант кафедры «Вагоны» Белгородского государственного технического университета.

Заглядова Надежда Александровна — аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

Представление анализа компьютерной конечно-элементной модели и аналитической модели по схеме многослойной балки кузова двухэтажного пассажирского вагона 61-4465 Тверского вагоностроительного завода. Соответствие их данных натурным испытаниям проверено Тверским институтом вагоностроения. Стендовые испытания кузова проводились при его нагружении продольными сжимающими усилиями, действующими по осям автосцепок и составляющими 2МН.

Ключевые слова: железная дорога, двухэтажный пассажирский вагон, конечно-элементная модель, кузов, напряжения, проверка.

Двухэтажный пассажирский купейный вагон модели 61-4465 (рис. 1) предназначен для эксплуатации в составе поездов постоянного формирования на участках электрифицированных железных дорог колеи 1520 мм. Вместимость — 64 пассажира и один проводник (восемь купе). Длина кузова по раме — 25,1 м. База вагона — 19 м.

Кузов вагона представляет собой несущую цельнометаллическую сварную оболочку с регулярными вырезами для окон, дверей и люков, подкрепленную продольными и поперечными элементами жесткости.

Рама вагона состоит из продольных и поперечных балок (хребтовая, боковые продольные, шкворневые, поперечные, балки пола), на которые устанавливается гофрированная обшивка пола. Хребтовая балка выполняется из двух швеллеров № 30В ГОСТ 5267.1-90 и установлена только в консольных частях на участках от концевой до шкворневой балки. Для постепенного включения в работу боковых продольных балок, пола и оболочки кузова за шкворневой балкой на длине 4000 мм как продолжение хребтовой установлена система балок

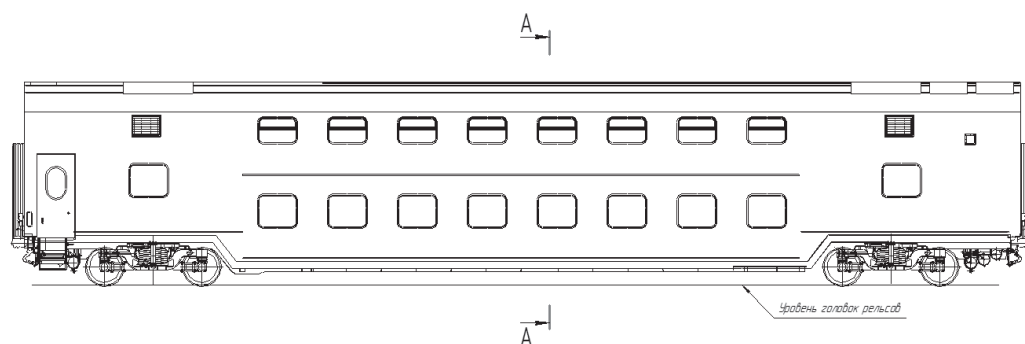


Рис. 1. Двухэтажный пассажирский вагон.

и раскосов, распределяющих силовой поток от продольных нагрузок. Боковые продольные балки в зоне шкворневого сечения имеют изгиб в вертикальной плоскости со смещением продольной оси на 670 мм и изготовлены из швеллера № 20.

Для лучшей передачи продольной нагрузки листы настила пола выполнены со сплошной гофрировкой и подкреплены рядом поперечных балок, установленных с шагом 900 мм. Толщина листов пола средней части кузова – 1,5 мм со сплошной гофрировкой, на консолях и в тамбурах листы гладкие, толщиной 2,5 и 4,0 мм соответственно.

Пол первого этажа выполнен в двух уровнях: на участке пассажирских купе он имеет понижение на 670 мм по сравнению со служебными помещениями консольных частей вагона, что позволило вписать кузов в габарит $T_{пр}$ (по ГОСТ 9238). Металлоконструкция пола второго этажа состоит из двух продольных опорных уголков (100×100×7,5), установленных на боковины настила пола и набора поперечных балок. Шкворневые балки вагона традиционно имеют коробчатое переменное сечение, горизонтальные листы толщиной 10 мм, вертикальные – 8 мм.

Боковые стены являются несущими элементами кузова и представляют собой конструкцию, в которой обшивка подкреплена стойками Z-образного сечения и продольными элементами жесткости (обвязки, опорные уголки пола второго этажа, подоконные подкрепляющие элементы и пр.). Обшивка стен первого этажа двухслойная: наружная гладкая, толщиной 2,0 мм, внутренняя гофрированная, толщиной 1,0 мм. Обшивка второго этажа

Таблица 1

Основные технические характеристики вагона модели 61-4465

Масса вагона тара, т	63,1
Масса вагона брутто, т	72,0
Длина вагона по зеркалам сцепок, мм	26232
Высота вагона от уровня головки рельса, мм	4460
Высота оси автосцепки от уровня головки рельсов под массой тары, мм	1060±20
База вагона, мм	19000
Ширина колеи, мм	1520
Ширина кузова по раме, мм	3150
Количество спальных мест для пассажиров	64
Количество спальных мест для проводников	1
Тележки безлюлочные с базой, мм	2500
Конструктивная скорость, м/сек	160
Габарит вагона по ГОСТ 9238:	
для кузова	$T_{пр}$
для тележек	1-ВМ

стрингерная гладкая, толщиной 2,0 мм. Для установки окон и технологических люков в боковинах выполнены вырезы, в зоне пассажирских купе обоих этажей они регулярные с шагом 900 мм.

Крыша кузова демонстрирует собой конструкцию, состоящую из гофрированной обшивки, подкрепленной дугами Z-образной формы, выполненными по трем радиусам: в средней части – 12000 мм, на скатах – 500 мм и 5000 мм. Дуги установлены с шагом 900 мм. Толщина листов средней части крыши – 1,5 мм, на скатах – 2,0 мм.

Основные несущие элементы рамы изготовлены из низколегированной стали



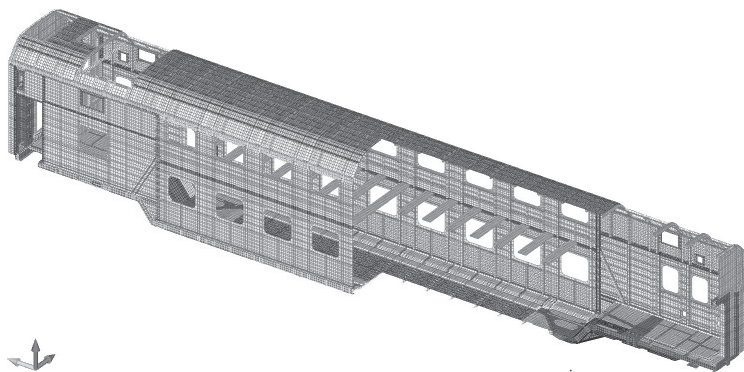


Рис. 2. Детализированная пластинчатая конечно-элементная модель кузова двухэтажного пассажирского вагона (190 тыс. элементов, 180 тыс. узлов, 1 млн 140 тыс. степеней свободы).

09Г2С (09Г2Д) по ГОСТ 19281, обшивка и каркас кузова — из нержавеющей стали AISI 321, EN 10088-2-X6CrNiTi18-10+2В.

С учётом приведенного описания конструкции вагона были рассчитаны геометрические характеристики несущих поясов кузова — нижнего (пол первого этажа, подоконная зона первого этажа), среднего (надоконная зона первого этажа, пол и подоконная зона второго этажа) и верхнего (надоконная зона второго этажа и крыша). К числу этих характеристик относятся площади сечений и моменты инерции относительно осей, проходящих через центры тяжести сечений перпендикулярно боковым стенам. Они для первого этажа первого пояса составляют $I_1 = 189400 \text{ см}^4$, для второго $I_2 = 118600 \text{ см}^4$, для третьего $I_3 = 106400 \text{ см}^4$. Соответственно площади сечений поясов: $F_1 = 182 \text{ см}^2$, $F_2 = 102 \text{ см}^2$, $F_3 = 100 \text{ см}^2$. Суммарный момент инерции относительно оси, перпендикулярной к продольной оси, проходящей через центры тяжести сечений вагона, составил $I = 12,8 \cdot 10^6 \text{ см}^4$, а суммарная площадь $F = 384 \text{ см}^2$. Центр тяжести всего сечения отстоит от плоскости пола на расстоянии 201 см. Для этих исходных данных сделан аналитический расчёт.

Анализ напряжённо-деформированного состояния несущей конструкции, как сказано во вступлении, выполнялся по двум моделям. Детализированная пластинчатая конечно-элементная модель кузова вагона построена при помощи программного комплекса Siemens PLM Femap 10.1.1 (рис. 2), во втором варианте модели-

рования использовались схема и уравнения, приведенные в статье [1].

В обеих расчётных схемах продольные усилия сжатия прикладывались к задним упорным угольникам по двум концам вагона. Вертикальная нагрузка в расчётах не учитывалась.

Принимая во внимание, что вторая модель использует многослойную балочную схему для формирования расчётных зависимостей, сравнивались расчётные нормальные напряжения в нижнем и верхнем несущих поясах по среднему сечению кузова — между собой и с результатами испытаний. Данные расчёта конечно-элементной модели приведены на рис. 3.

Так, в верхнем волокне верхнего несущего пояса по конечно-элементной модели напряжения в среднем составляют +10 МПа, в балочном расчёте +14,7 МПа, в эксперименте они равны +13 МПа. В нижнем волокне нижнего несущего пояса по конечно-элементному расчёту их средний уровень (–98) МПа, по балочному расчёту (–106) МПа, в эксперименте напряжения равны (–108) МПа.

Как следует из рис. 3, напряжения в конечно-элементном расчёте меняются практически линейно по высоте сечения кузова, в балочном расчёте изменение значений напряжений от нижнего волокна к верхнему, согласно гипотезе Бернулли, также меняется линейно.

Напряжения, рассчитанные для среднего сечения кузова по двум различным методам, близки друг к другу и по модулю, и по харак-

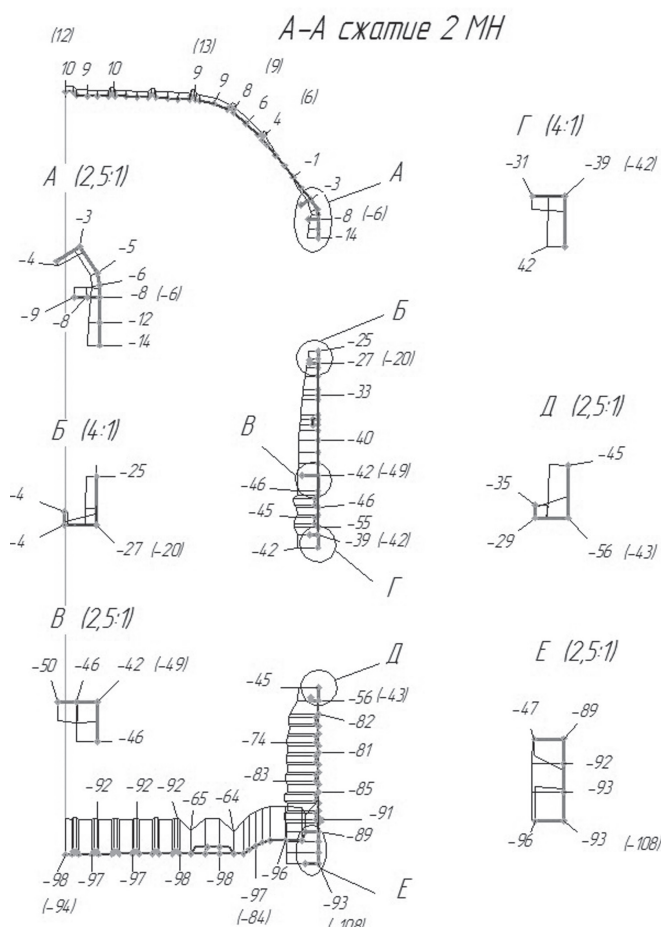


Рис. 3. Картина распределения напряжений по среднему сечению А-А.

теру распределения по высоте сечения, и достаточно хорошо совпадают с экспериментальными данными. Однако можно предположить, что такое совпадение характерно именно для данного сечения, в опорных же зонах кузова расчёт его конечно-элементной модели будет обеспечивать результат, более адекватный экспериментальному.

Таким образом, в целом при оценке общего напряжённо-деформированного состояния кузовов можно рассматривать как

балку Бернулли с жёстким контуром поперечного сечения, но в зонах воздействия локальных нагрузок конечно-элементное представление даёт более полную оценку напряженно-деформированного состояния этих зон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заглядова Н. А. Моделирование напряжённо-деформированного состояния кузова двухэтажного пассажирского вагона по схеме многослойной балки. // Мир транспорта. – 2011. – № 4. ●

TENSIONS IN THE ELEMENTS OF DOUBLE-DECK RAILWAY COACH

Lebedev, Vladimir A. – Ph. D. student at the department of railway vans of Belgorod State Technical University.
Zaglyadova, Nadejda A. – Ph. D. student at the department of railway vans and wagon facilities of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The authors publish analysis of computer-aided finite-element simulation and analytic model of multilayer beam of the body of double-deck passenger coach 61–4465 of Tvier rail carriage building works. The conformity of the received data to the tests on location has been confirmed by Tvier institute of rail car building. The bench-test of the body was conducted under the longitudinal 2 meganewton compression along automatic coupling axes.

Key words: railway, double-deck passenger coach, finite-element model, body, tension, testing.

Координаты авторов (contact information): Лебедев В. А. – lva170487@yandex.ru, Заглядова Н. А. – zag872007@yandex.ru.

