

Оценка прочности рамы скоростного вагона-платформы



К. В. Бондаренко,
аспирант кафедры
«Вагоны и вагонное
хозяйство» Петербургского
государственного
университета путей
сообщения Императора
Александра I,
инженер-конструктор
ОАО «НВЦ „Вагоны“»

Одной из инновационных разработок грузового подвижного состава является сочлененный вагон-платформа для перевозки контейнеров. Испытания на статическую прочность показали, что вагон обладает высоким пределом выносливости. Рассмотрены варианты усиления конструкции, которые обеспечивают вагону-платформе необходимый срок службы.

Результатом работы над совместным проектом ПГУПС, ОАО «НВЦ «Вагоны» и ОАО «Ружиммаш» по созданию инновационного грузового подвижного состава железных дорог явились новые технические решения целого модельного ряда вагонов [1, 2]. Один из разработанных вагонов – сочлененный вагон-платформа для перевозки контейнеров модели 13-9894.

Данный вагон-платформа (рис. 1), обладает увеличенной конструкционной скоростью и сниженной массой тары [3].

Одной из сложных задач при проектировании грузовых вагонов является прогнозирование усталостной прочности конструкции при действии циклических нагрузок. Это связано с недостоверностью методик расчета, поскольку для определения амплитуды напряжений используется метод конечных элементов. Он в свою очередь является лишь приближенным методом при расчете, в результате которого получается погрешность в пределах 15–20 %. Стоит также отметить, что при теоретическом расчете не учитываются технологические особенности изготовления конструкции.

Испытательный центр ОАО «НВЦ „Вагоны“» проводил проверку на стати-

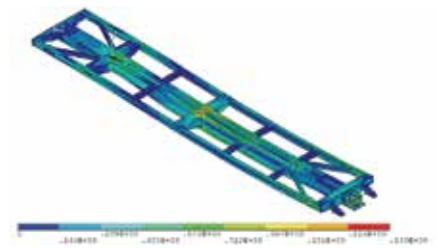


Рис. 2. Общий вид вагона-платформы при действии нагрузки от веса двух груженых контейнеров типа 1СС

ческую прочность разработанного вагона-платформы с целью оценки долговечности основных несущих элементов по критерию сопротивления усталости конструкции и на соответствие их требованиям [4], а также для определения соответствия полученных расчетных данных.

Испытаниям на статическую прочность подвергалась одна полурама сочлененного вагона-платформы, установленная на технологические тележки. Вертикальная нагрузка при этом была создана путем заполнения вагона-платформы гружеными контейнерами до грузоподъемности.

В процессе испытаний полурамы вагона-платформы на статическую прочность были определены статические напряжения в исследуемых точках конструкции вагона-платформы при действии на нее статически приложенных испытательных нагрузок.

На стадии проектирования конструкции теоретические расчеты по оценке сопротивления усталости показали, что коэффициенты запаса сопротивления усталости наиболее напряженных зон вагона больше допустимого – и, следовательно, прочность вагона-платформы обеспечена на расчетный срок службы 32 года.

Однако при испытаниях полурамы вагона-платформы на нагрузку от веса двух контейнеров 1СС (рис. 2, 3) были



Рис. 1. Общий вид сочлененного вагона-платформы для перевозки контейнеров

Таблица 1. Напряжения в верхней полке хребтовой балки в центральной части при различных вариантах усиления при действии статической нагрузки от веса двух контейнеров типа 1СС

| Вариант исполнения полурамы | Эквивалентные напряжения, МПа |
|--|-------------------------------|
| Начальный вариант | 130 |
| Пластина шириной как поперечная балка и с перекрытием вертикальных листов хребтовой балки | 96 |
| Перекрытие листом всей хребтовой балки | 94 |
| Пластина шириной как поперечная балка и с перекрытием вертикальных листов хребтовой и горизонтальная пластина снизу | 93 |
| Пластина шириной как поперечная балка и с перекрытием вертикальных листов хребтовой и горизонтальная пластина снизу с продлением диафрагмы до нижних полок | 92 |
| Перекрытие листом всей хребтовой и горизонтальная пластина снизу | 89 |
| Перекрытие листом всей хребтовой и горизонтальная пластина снизу с продлением диафрагмы до нижних полок | 82 |

обнаружены высокие амплитуды напряжений, не пригодные для долгосрочной службы платформы. Выяснилось, что проведенные ранее теоретические расчеты учитывали не все технологические особенности изготовления конструкции.

Была создана уточненная модель вагона-платформы, и при расчете выяснилось, что наиболее высокие амплитуды напряжений возникли между верхними листами хребтовой балки и накладкой диафрагмы в центральной части полурамы вагона-платформы, а также вследствие перепада жесткости между нижними листами центральной поперечной балки и нижним листом диафрагмы в центральной части. Это превышение оказалось особенно велико в области соединения нижнего листа диафрагмы и вертикального листа хребтовой балки. Кроме того, высокие амплитуды напряжений были замечены в верхних листах хребтовой балки у накладки (верхнего листа диафрагмы) в центральной части полурамы платформы.

Далее был проведен анализ различных вариантов усиления вагона-платформы. Результаты сравнения напряжений в верхней полке хребтовой балки в центральной части при усилениях представлены в табл. 1.

Для уменьшения уровня напряжений было выбрано усиление рамы платформы (рис. 4). Сверху полурама вагона-платформы перекрывается листом по всей длине хребтовой балки. Диафрагма в центральной части продлена до уровня нижних листов центральной поперечной балки. Нижний горизонтальный лист диафрагмы такой же ширины, что и нижний лист центральной поперечной балки.

По полученным данным построены гистограммы (рис. 5) для сравнения значений эквивалентных напряжений,

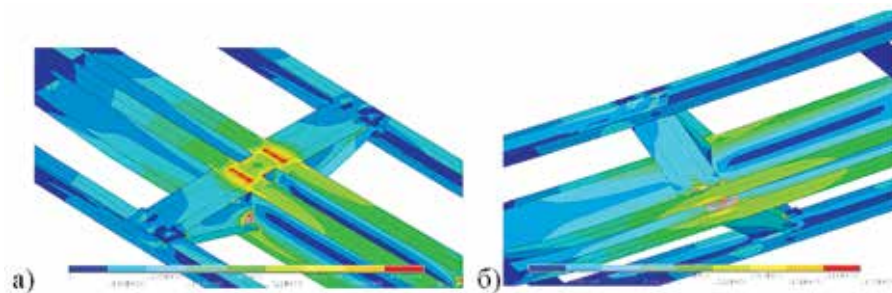


Рис. 3. Центральная зона полурамы вагона-платформы при действии нагрузки от веса двух груженых контейнеров типа 1СС: а) вид сверху; б) вид снизу

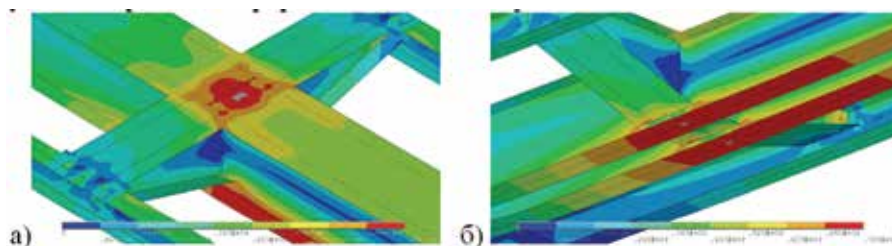


Рис. 4. Центральная зона полурамы вагона-платформы с усилением при действии нагрузки от веса двух груженых контейнеров типа 1СС: а) вид сверху; б) вид снизу

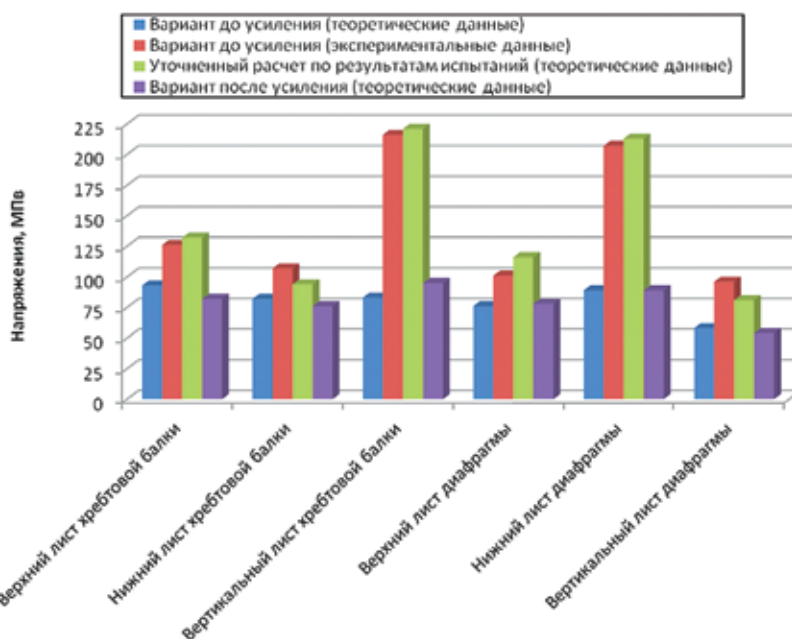


Рис. 5. Гистограмма сравнения значений эквивалентных напряжений, возникающих в зонах полурамы вагона-платформы в средней части при теоретической и экспериментальной оценке

Таблица 2. Расчет предела выносливости полученного экспериментальным путем

| Наименование параметра | Зона полурамы вагона-платформы в средней части | | |
|--|--|-----------------------------|-----------------------------------|
| | Верхний лист хребтовой балки | Нижний лист хребтовой балки | Вертикальный лист хребтовой балки |
| Предел выносливости конструкции, определяемый в соответствии с [4], $\sigma_{a,N_{исп}}$, МПа | 42,31 | 45,83 | 45,83 |
| Значение амплитуды напряжений, полученное при испытании $\sigma_{a,э,исп}$, МПа | 42 | 36 | 38 |
| Предел выносливости конструкции, определяемый по результатам испытаний, $\sigma_{a,N_{исп}}$, МПа | 17,65 | 15,13 | 15,97 |
| Значение амплитуды напряжений, полученное при расчете $\sigma_{a,э,расч}$, МПа | 11,51 | 9,92 | 9,47 |
| Коэффициент запаса сопротивления усталости $n_{исп}$ | 1,53 | 1,53 | 1,69 |

возникающих в зонах полурамы вагона-платформы в средней части при теоретической и экспериментальной оценке.

Для уточненного расчета усталости была проведена оценка предела выносливости по данным натурного эксперимента. Оценка производилась для зоны, в которой обнаружилась трещина. Предел выносливости определялся по формуле

$$\sigma_{a,N_{исп}} = \sqrt[m]{\frac{N_{исп}}{N_0} \cdot \sigma_{a,э,исп}^m}$$

где m – показатель степени в уравнении кривой усталости в амплитудах, $m = 4$;

$N_{исп}$ – суммарное число циклов динамических напряжений при проведении эксперимента, $N_{исп} = 312000$;

N_0 – базовое число циклов, согласно [4] рекомендуется для стальных конструкций принимать $N_0 = 10^7$;

$\sigma_{a,э}$ – значение амплитуды напряжений, полученное при испытании.

Результаты расчета сведены в табл. 2.

Таким образом, видно, что значение предела выносливости, полученного расчетным путем в соответствии с [4], значительно выше предела выносливости, определенного в результате стендовых испытаний в связи с особенностями технологии изготовления конструкции. Расчет на сопротивление усталости усиленной конструкции рамы с учетом экспериментального предела выносливости показал, что коэффициенты запаса сопротивления усталости наиболее напряженных зон вагона больше допустимого $[n] = 1,5$. Следовательно, необходимый срок службы вагона-платформы обеспечен. ■

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ.

Литература

1. Бороненко Ю. П. Инновационный грузовой подвижной состав железных дорог и его высокотехнологичное производство // Наука и транспорт. 2012. №3.
2. Титова Т. С., Бороненко Ю. П., Мишин В. Н. Создание высокотехнологичного производства и инновационного грузового подвижного состава железных дорог // Тезисы докл. VII Междунар. науч.-технич. конф. «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». СПб., 2011.
3. Кожокарь К. В. Особенности разработки скоростного сочлененного вагона-платформы для перевозки контейнеров // Транспорт РФ. 2013. №3 (46).
4. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996.



Е. А. Жарова,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)



Д. А. Мойкин,
старший преподаватель
кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ПГУПС



В. А. Белгородцев,
аспирант кафедры
«Вагоны и вагонное хозяйство» ПГУПС

Совершенствование вагонов-самосвалов для повышения их надежности в эксплуатации

С целью совершенствования вагонов-самосвалов (думпкаров) разработан проект усиления основных элементов конструкции. Благодаря новым конструктивным решениям можно существенно повысить надежность кузова и безопасность эксплуатации, увеличить грузоподъемность, обеспечить сохранность перевозимых грузов.