

УДК 629.463.63.004.65 : 539.422.24.001.5

А.В. Донченко, Д.В Федосов-Никонов, О.В. Орлов, М.И. Соляник, С.В. Долинский

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЛИННОБАЗНОЙ ПЛАТФОРМЫ ПО КРИТЕРИЮ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ

Изложены результаты экспериментальных исследований прочностных качеств длиннобазной платформы модели 13-4147 по критерию сопротивления усталости, приведены коэффициенты запаса сопротивления усталости, полученные теоретическим и эмпирическим методами, сделаны выводы о соответствии показателей усталостной долговечности нормативным значениям.

С целью удовлетворения потребностей перевозочного процесса и расширения номенклатуры выпускаемой продукции многими вагоностроительными заводами были разработаны и созданы различные конструкции длиннобазных платформ для перевозки крупнотоннажных контейнеров. Однако в процессе эксплуатации длиннобазных вагонов-платформ различных заводов-изготовителей были выявлены поперечные трещины усталостного характера в несущих узлах рам. Данный факт ставит под угрозу безопасность движения на железнодорожном транспорте. Поэтому работы, направленные на создание рациональной конструкции длиннобазной платформы, обеспечивающей безопасность движения и сохранность груза при различных режимах эксплуатации, являются актуальными.

Специалистами ПАО «Днепрвагонмаш» разработан и изготовлен вагон-платформа модели 13-4147 для перевозки крупнотоннажных контейнеров. Данная модель вагона-платформы позволяет перевозить 40-футовые и 20-футовые контейнеры в различных комбинациях. Основой конструкции платформы является хребтовая балка, состоящая из 2-х Z – профилей переменного по высоте сечения, связанная в единую конструктивно-силовую схему с поперечными и боковыми балками. Общий вид платформы показан на рис. 1.

При создании данной конструкции был учтён опыт ведущих производителей длиннобазных платформ и применены прогрессивные конструкторские методы проектирования вагонов.

Одно из основных требований при проектировании - недопущение усталостного разрушения элементов вагона в процессе эксплуатации. К мерам по обеспечению недопущения данных разрушений относились: исключение геометрических концентраторов напряжений, сварных швов в зоне высоких напряжений, конструктивная минимализация количества поперечных сварных швов по всей длине рамы, повышение энергоёмкости демпфирующих узлов, рациональный выбор конструкционных материалов. Проект был реализован на основе программно-вычислительного комплекса, реализующего метод конечных элементов.

© *А.В. Донченко, Д.В Федосов-Никонов, О.В. Орлов, М.И. Соляник, С.В. Долинский, 2014*

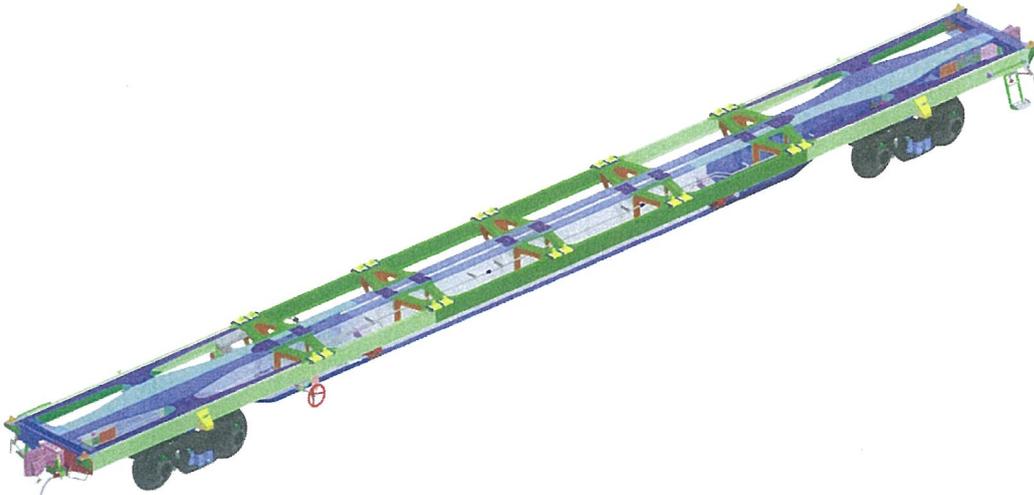


Рис. 1. Общий вид универсальной длиннобазной платформы

Для проверки усталостной прочности был произведен расчет рамы на сопротивление усталости при многоцикловом нагружении. Он показал, что коэффициенты запаса сопротивления усталости в наиболее нагруженных элементах, в которых наиболее вероятно образование усталостных трещин в процессе эксплуатации, в частности в наиболее опасном сечении - посередине рамы, обеспечивают сопротивление усталости рамы на весь назначенный срок службы.

Влияние таких факторов, как характер остаточного напряженного состояния, градиент изменения механических свойств по сечению, структуре, состоянию поверхности, концентрации напряжений в зоне сопряжения различных сечений, многообразие эксплуатационных нагрузок на истинную величину усталостной прочности зачастую можно определить только при проведении комплекса экспериментальных исследований. По результатам исследований оценивается рациональность конструкции.

Усталостная прочность конструкции вагона-платформы для крупнотоннажных контейнеров модели 13-4147 подтверждалась результатами экспериментальных исследований. Исследования проводились на стенде с пневмомеханическим возбуждением колебаний резонансного типа. При выборе режима исследований оценивались различные схемы погрузки платформы с целью обеспечения наиболее неблагоприятного сочетания максимальных сил, возникающих во время эксплуатации.

Исследования проводились в три этапа:

- 1) статические;
- 2) по сбрасыванию с клиньев;
- 3) стендовые усталостные исследования.

Обработка и оценка результатов исследований осуществлялась на основании:

- линейной гипотезы суммирования повреждений;
- кривой усталости напряжения в виде:

$$\sigma_i^m N_i = const, \quad (1)$$

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

где: N_i - количество циклов колебаний с амплитудой σ_i (без учета асимметрии цикла);

m - показатель степени в уравнении кривой усталости.

Расчетное количество циклов определялось (с учетом уравнения кривой усталости) по формуле:

$$N_{исч}^p = \left(\frac{\sigma_{a,N}^p}{\sigma_{a,исч}^{max}} \right)^m N_0 \quad (2)$$

где: $\sigma_a^p N$ - расчетный предел выносливости по амплитуде при базовом числе циклов. Для корпусных несущих деталей вагонов базовое число циклов принимается $N_0 = 10^7$ циклов [1].

$\sigma_{a,исч}^{max}$ - амплитуда динамических напряжений в исследуемой зоне конструкции вагона при усталостных испытаниях.

$m = 4$ - показатель степени в уравнении кривой усталости [1].

Расчет выполнялся для различных амплитуд прогиба (амплитуд напряжений в центральном сечении) при различных вариантах загрузки. По результатам расчета было выбрано оптимальное значение амплитуды прогиба, обеспечивающее расположение расчетных значений $N_{исч}^p$ в области многоциклового усталости.

Оценка усталостной прочности конструкции вагона производилась по коэффициенту запаса сопротивления усталости n :

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,\gamma}} \geq [n], \quad (3)$$

где: $\sigma_{a,\gamma}$ - приведенная к базе амплитуда динамических напряжений в исследуемой зоне рамы, эквивалентная по повреждающему воздействию реальному режиму эксплуатационных случайных напряжений за проектный срок службы вагона.

Из формулы (3)

$$\sigma_{a,N}^p \geq [n] \cdot \sigma_{a,\gamma} \quad (4)$$

Величина приведенной к базе амплитуде динамических напряжений $\sigma_{a,\gamma}$ в исследуемой зоне определялась по формуле:

$$\sigma_{a,\gamma} = \frac{\sigma_{a,кл}^H}{\sigma_{a,кл}^H} \sigma_{a,\gamma}^H, \quad (5)$$

где: $\sigma_{a,кл}$ - амплитуда динамического напряжения, зарегистрированная в исследуемой зоне рамы при испытаниях по сбрасыванию вагона с клиньев;

$\sigma_{a,кл}^H$ - амплитуда динамического напряжения, зарегистрированная в центральном сечении рамы при испытаниях по сбрасыванию вагона с клиньев (приведена на рис. 2);

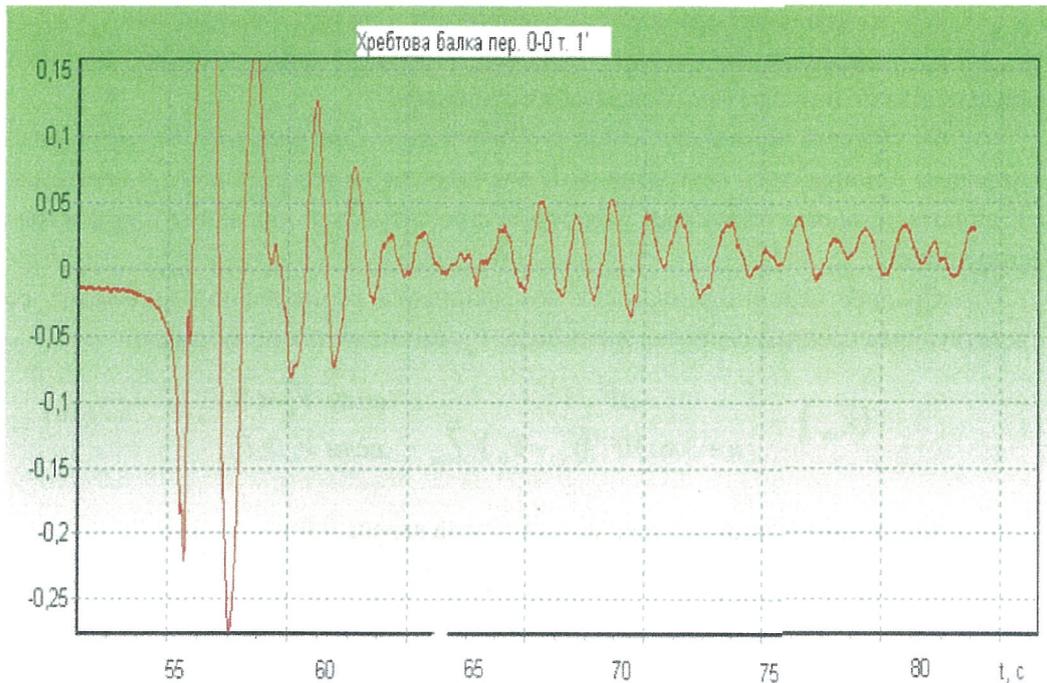


Рис. 2. Амплитуда динамического напряжения, зарегистрированная в центральном сечении рамы при испытаниях по сбрасыванию вагона с клиньев

$\sigma_{a,з}^y$ - расчетная эквивалентная приведенная амплитуда динамических напряжений в центральном сечении рамы при движении вагона в эксплуатации:

$$\sigma_{a,з}^y = \sigma_{ст}^y \cdot K_{d,з}, \quad (6)$$

где: $\sigma_{ст}^y$ - статическое напряжение в центральном сечении рамы;
 $K_{d,з}$ - эквивалентный приведенный коэффициент вертикальной динамики вагона:

$$K_{d,з} = \sqrt{\frac{N}{N_0} \sum_k (\bar{K}_{d,з})^n P_k(V)}, \quad (7)$$

где: $(\bar{K}_{d,з})_k$ - среднее вероятное значение коэффициента вертикальной динамики для k -ого интервала скорости;

$P_k(V)$ - частота повторения скоростей в k -ом диапазоне (табл. 1.1 [1]);

N - количество циклов вертикальных колебаний груженого вагона, возникающих за его срок службы:

$$N = f_z T_p, \quad (8)$$

T_p - суммарное время действия динамических нагрузок за расчетный срок службы, сек.:

$$T_p = \frac{\bar{L}}{\bar{V}} (1 - K_{п})$$

где: \bar{L} - проектный пробег вагона за расчетный срок службы;

\bar{V} - проектная средняя техническая скорость движения вагона (для вагонов с конструкционной скоростью 120 км/ч в соответствии с [1] $\bar{V} = 22,4$ м/с);

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

K_{II} - коэффициент порожнего пробега вагона. Для вагонов платформ $K_{II}=0,4$.

f_s - эффективная частота процесса изменений динамических нагрузок, определенная по результатам сбрасывания с клиньев.

В качестве исходного спектра нагружения центрального сечения рамы платформы принималось статистическое распределение коэффициентов вертикальной динамики, соответствующее распределению скоростей движения платформы в эксплуатации.

Среднее вероятное значение коэффициента вертикальной динамики, соответствующее средней скорости интервала, V_k , вычисляется по формуле:

$$(\overline{K_{da}})_k = \begin{cases} a\overline{V}_k / V_0, & \text{если } \overline{V}_k < V_0, \\ a + 3.6 \cdot 10^{-4} (\overline{V}_k - V_0) \tilde{f}_{cm}, & \text{если } \overline{V}_k \geq V_0 \end{cases}, \quad (10)$$

где: a – коэффициент, равный для кузова вагона 0,05;

V_0 - пороговое значение скорости, $V_0 = 15$ м/с;

\tilde{f}_{cm} - приведенный статический прогиб платформы при загрузке до полной грузоподъемности:

$$\tilde{f}_{cm} = f_{cm} - 0.5f_p, \quad (11)$$

f_{cm} – измеренный статический прогиб рессорного подвешивания вагона, загруженного до номинальной грузоподъемности;

f_p – измеренный статический прогиб рамы вагона, загруженного до номинальной грузоподъемности.

В результате исследований выявлены несоответствия показателей усталостной прочности, полученных расчетным и экспериментальным путем. В частности в элементах консольной части рамы коэффициент запаса сопротивления усталости находился пределах (1,3 - 1,32) при расчетном значении 1,96 и допускаемом не менее 1,5 согласно [1] и 1,8 согласно [4]. Данный факт актуализирует совершенствование методов оценки сопротивления усталости в расчетах длиннобазных вагонов и подтверждает необходимость экспериментальных исследований.

Выполненные исследования свидетельствуют, что теоретический расчет конструкции в недостаточной степени отражает фактическое напряженно-деформированное состояние конструкции по критерию обеспечения усталостной прочности.

В конструкцию вагона-платформы модели 13-4147 были внесены серьезные изменения: усилены боковые балки, модернизирован узел заделки концевой балки, сокращено общее количество сварных швов, после чего были проведены дополнительные экспериментальные исследования.

Консольная часть вагона модели 13-4147 1-го и 2-го варианта конструкции (до и после доработки) показаны на рис. 3, 4.

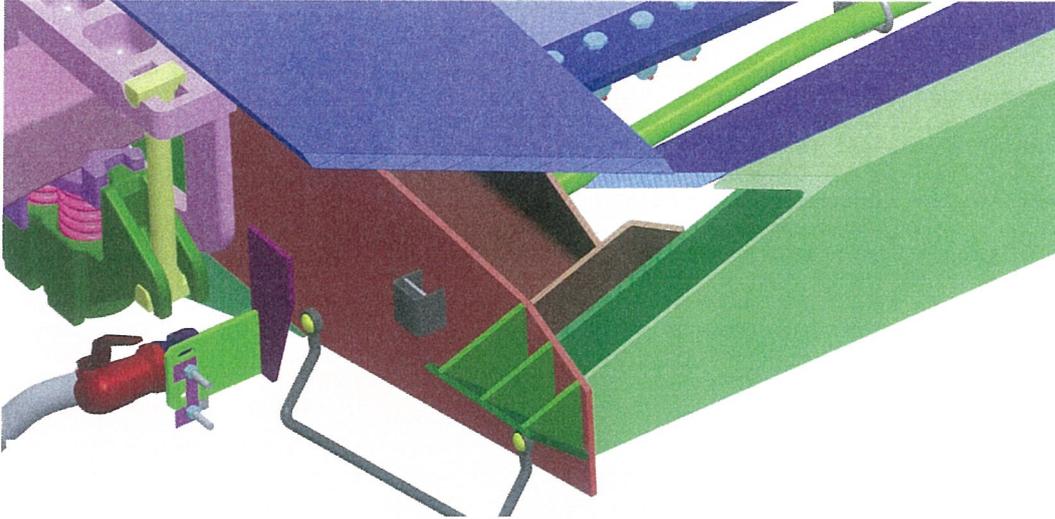


Рис. 3. Консольная часть вагона модели 13-4147 (разрез боковой балки в районе установки упора под. контейнер) 1-го варианта конструкции



Рис. 4. Консольная часть вагона модели 13-4147 (разрез боковой балки в районе установки упора под. контейнер) 2-го варианта конструкции

Коэффициент запаса сопротивления усталости металла в различных сечениях консольной части рамы после доработки конструкции получен в пределах (2,1 - 2,12). Повторные экспериментальные исследования показали, что конструкция выдерживает действующие нагрузки с достаточными запасами усталостной прочности и может эксплуатироваться железными дорогами.

Также следует отметить целесообразность совершенствования методов оценки сопротивления усталости длиннобазных вагонов-платформ.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 260 с.
2. РД 24.050.37-95 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – М.: ГосНИИВ, 1995. - 101 с.
3. Гусев А.С. Сопротивление усталости и живучесть конструкции при случайных нагрузках / А.С. Гусев. - М.: Машиностроение, 1989. - 246 с.
4. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. - 260 с.