

УДК 629.463.66-192.001.55: 001.891.5

Канд. техн. наук А.В.Донченко,  
інженери Д.В. Федосов-Никонов,  
В.А. Серета, О.В. Орлов (ГП «УкрНИИВ»)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ БУНКЕРНОГО ВАГОНА ПРИ СОУДАРЕНИИ

Представил д-р техн. наук, профессор И.Э. Мартынов

**Постановка задачи.** Вагоны-хопперы имеют существенные отличительные особенности от грузовых вагонов других типов – наличие разгрузочных бункеров и наклонных торцевых стен кузова. Указанные отличия во многом определяют прочностные качества бункерных вагонов. В эксплуатации эти вагоны получают различные виды повреждений, основные из которых обусловлены воздействием

ударных нагрузок при роспуске вагонов с горок. Поэтому задачи, направленные на повышение прочности и надежности бункерных вагонов, являются актуальными.

**Основной материал.** Исследованиям прочности подвергался бункерный вагон для технического углерода модели 25-4046 (основные технические характеристики представлены в таблице) при ударном воздействии продольной силы 3,5 МН.

Таблица

Наименование показателя	Величина показателя
Ширина колеи, мм	1520
Количество осей	4
Грузоподъемность, т, не более	60
Масса тары, т	25,4
Длина по осям сцепления автосцепок, мм	17500
Объем кузова, м <sup>3</sup>	146
Конструкционная скорость, км/ч, не более:	120
Габарит (по ГОСТ 9238)	1-Г
Тип тормоза	Пневматический, колодочный

Экспериментальные исследования выполнены тензометрическим методом, причем особое внимание уделялось измерению деформаций в шкворневом узле, как наиболее нагруженном.

Обработка данных статических прочностных испытаний выполнялась с использованием автоматизированных комплексов обработки опытных данных с использованием статистических методов.

Измеряемая величина при статических испытаниях определялась по

разности показаний средств измерительной техники до нагружения и после него

$$\sigma = (\Delta - \Delta_0) \cdot K, \quad (1)$$

где  $\Delta$  – показания средств измерительной техники в нагруженном состоянии объекта испытаний;

$\Delta_0$  – показания средств измерительной техники в порожнем состоянии объекта испытаний;

К – калибровочный коэффициент средств измерительной техники, определенный по формуле (2).

$$K = \frac{R_{\delta}}{R_{ш} \cdot A_{ш}}, \quad (2)$$

где  $R_{\delta}$  – сопротивление тензорезистора, Ом;  
 $R_{ш}$  – сопротивление калибровочного шунта, Ом;

$A_{ш}$  – амплитуда (отклонение) процесса, измеренная при калибровании, В.

Напряжения  $\sigma$ , МПа, в элементах конструкции в местах установки тензорезисторов определялись по следующим формулам

- для одиночных тензорезисторов

$$\sigma = a \cdot \frac{R_{\delta}}{R_{ш} \cdot A_{ш}} \cdot \frac{E}{K_m}, \quad (3)$$

где  $a$  – амплитуда (отклонение) процесса, В;

$R_{\delta}$  – сопротивление тензорезистора, Ом;

$R_{ш}$  – сопротивление калибровочного шунта, Ом;

$A_{ш}$  – амплитуда (отклонение) процесса, измеренная при калибровании, В;

$E$  – модуль упругости материала исследуемой детали, МПа;

$K_m$  – коэффициент чувствительности тензорезистора;

- для одиночных розеток

$$\sigma = E \times \varepsilon, \quad (4)$$

- для розетки из трех датчиков (веерного типа) определяются деформации в направлении главных напряжений:

первоначально определяется направление главных напряжений по углу  $\alpha$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \cdot \varepsilon_{45} - (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90})}{\varepsilon_0 - \varepsilon_{90}}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – деформации в направлении главных напряжений;

$\varepsilon_0, \varepsilon_{45}, \varepsilon_{90}$  – деформация датчиков под углом соответственно  $0^{\circ}, 45^{\circ}, 90^{\circ}$  в розетке; затем определяют деформации в направлении главных напряжений

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2} \cdot \left( \varepsilon_0 + \varepsilon_{90} + \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{90}}{\cos 2\alpha} \right), \quad (6)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{2} \cdot \left( \varepsilon_0 + \varepsilon_{90} + \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{90}}{\cos 2\alpha} \right) \quad (7)$$

после этого определяются главные напряжения по зависимостям

$$\sigma_1 = E \cdot \frac{\varepsilon_1 + \mu \cdot \varepsilon_2}{1 - \mu^2} \quad (8)$$

$$\sigma_2 = E \cdot \frac{\varepsilon_2 + \mu \cdot \varepsilon_1}{1 - \mu^2} \quad (9)$$

для Т-образной розетки, ссылаясь на то, что направление главных напряжений известно ( $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  имеют направления  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ ),

$$\sigma_x = 1,1\varepsilon_1 \cdot E + 0,33\varepsilon_2 \cdot E, \quad (10)$$

$$\sigma_y = 1,1\varepsilon_2 \cdot E + 0,33\varepsilon_1 \cdot E, \quad (11)$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – относительные деформации;

$E$  – модуль упругости I рода. Для стали  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа.

Эквивалентные напряжения определяются по формуле (12)

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (12)$$

Полученные в результате обработки данных напряжения от статической нагрузки брутто использовались для оценки прочности конструкции вагона при соударении.

Оценка прочности конструкции по результатам испытаний на соударение выполнялась по формуле (13)

$$(\sigma_{\text{верт.}} + \sigma_{\text{уд.}}) \leq \sigma_m \quad (13)$$

где  $\sigma_{\text{верт.}}$  – напряжения от действия вертикальной нагрузки брутто, МПа;

$\sigma_{\text{уд.}}$  – напряжение от действия удара усилием 3,5 МН;

$\sigma_m$  – предел текучести материала, МН.

По результатам экспериментальных исследований было установлено, что максимальные суммарные напряжения в зоне шкворневого узла близки к допускаемым значениям. В частности,

суммарные напряжения на нижнем листе шкворневой балки в зоне соединения с хребтовой балкой составили 282 МПа, что составляет 96,5 % от допускаемого значения [295] МПа. На верхнем листе шкворневой балки в зоне соединения с хребтовой балкой суммарные напряжения составили 259 МПа, что составляет 88 % от допускаемого значения. На рис. 1, 2 показаны напряжения, полученные в данных точках, при испытаниях на прочность при соударении.

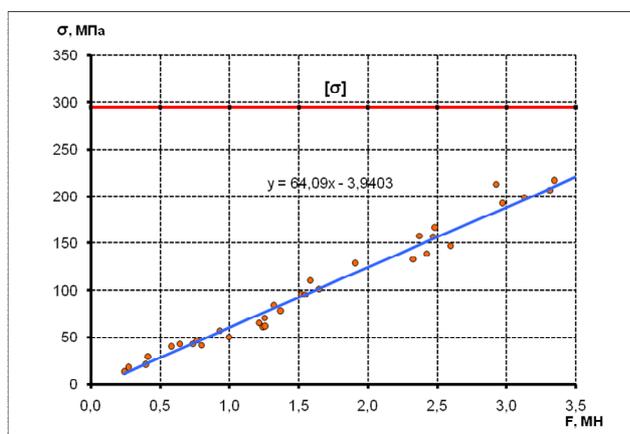


Рис. 1. Напряжения на нижнем листе шкворневой балки от продольной нагрузки

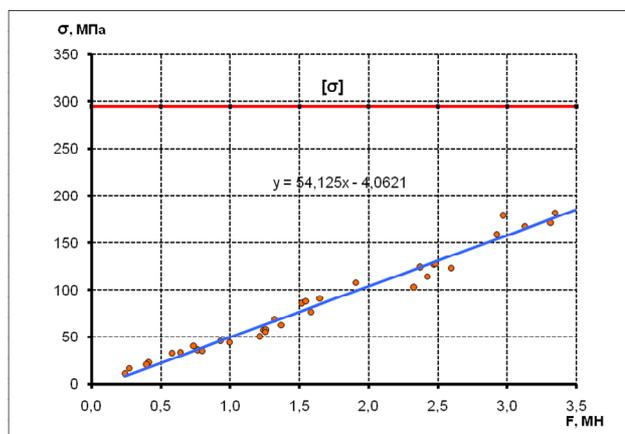


Рис. 2. Напряжения на верхнем листе шкворневой балки от продольной нагрузки

**Выводы.** На основании анализа результатов экспериментальных исследований рекомендуется с целью повышения прочности и надежности несущих узлов и деталей бункерного вагона, работающих в условиях длительного и интенсивного воздействия

динамических нагрузок, использовать материалы повышенной прочности (класс прочности 345 и выше), осуществлять разработку и применение принципиально новых конструктивных форм данных узлов с целью перераспределения нагрузок.

### Список литературы

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ-ВНИИЖТ [Текст]. – [С изменениями и дополнениями 01.02.2000 г. и 01.03.2002 г.]. – М., 1996.
2. РД 24.050.37-95 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества / ГосНИИВ [Текст]. – М., 1995.
3. Исследование динамики и прочности вагонов [Текст] / под ред. С.И. Соколова. – М.: Машиностроение, 1976.

4. Справочник по сопротивлению материалов [Текст] / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – К.: Наукова думка, 1988.

**Ключевые слова:** экспериментальные исследования, конструкция вагона, напряженно-деформированное состояние, бункерный вагон, ударные нагрузки.

### *Аннотации*

Викладено методику та результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану конструкції вагона моделі 25-4046 під час випробувань на співудар, зроблено висновки щодо можливих варіантів перерозподілу напружень.

Изложены методика и результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния конструкции вагона для технического углерода модели 25-4046 при испытаниях на соударение, сделаны выводы о возможных вариантах перераспределения напряжений.

Test procedure and experimental test results of stress-deformed state of wagon structures for carbon black, model 25-4046 at impact tests are presented; conclusions on probable stress redistribution types are drawn.