

В.М. БУБНОВ, д-р техн. наук, профессор, ООО ГСКБВ (Украина)
 П. КУМАР, РИТЕС, Нью Дели, (Индия),
 Г.И. БОГОМАЗ, д-р техн. наук, профессор, ИТМ НАНУ и НКАУ (Украина)
 М.Б. СОБОЛЕВСКАЯ, ст. научн. сотр., ИТМ НАНУ и НКАУ (Украина)
 В.М. ЦЫБУЛЬСКИЙ, ИТМ НАНУ и НКАУ (Украина)
 И.К. ХРУЩ, ИТМ НАНУ и НКАУ (Украина)

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВАГОНА-ЦИСТЕРНЫ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ИНДИИ

Розроблено безрамну конструкцію чотиривісного вагона-цистерни для перевезення нафтопродуктів по залізницях Індії з мінімальними коефіцієнтами тари. На основі розробленої конструкторської документації побудовані кінцево-елементні математичні моделі, проведені дослідження пружньо-деформованого стану елементів вагона-цистерни при різних режимах навантаження і дана оцінка міцнісних якостей конструкції в експлуатації.

Разработана безрамная конструкция четырехосного вагона-цистерны для перевозки нефтепродуктов по железным дорогам Индии с минимальными коэффициентами тары. На основе разработанной конструкторской документации построены конечно-элементные математические модели, проведены исследования напряженно-деформированного состояния элементов вагона-цистерны при различных режимах нагружения и дана оценка прочностных качеств конструкции в эксплуатации.

On the basis of the developed design documentation a tank-car structure finite element mathematical model is created, and the analysis of stresses in elements of frameless tank-car for oil transportation on the Indian railways at various operational loading is carried out. The results of calculations are compared with the data of prototype tests.

В связи с необходимостью повышения провозной способности железных дорог актуальной задачей является создание вагонов-цистерн с минимальным коэффициентом тары, определяющим отношение массы тары к массе перевозимого груза. Снижение массы тары вагона-цистерны может быть достигнуто путем создания безрамной конструкции вагона-цистерны и использования высокопрочных сталей.

Головним спеціалізованим конструкторським бюро вагоностроєння ОАО "МЗТМ" розроблена безрамна конструкція вагона-цистерни моделі 15-1717 для транспортування нафтопродуктів (бензин, дизельне масло, керосинове масло, нафта, авіаційне паливо, легке дизельне масло) по колее індійських залізничних доріг шириною 1676 мм. Схема розробленої конструкції вагона-цистерни показана на рис. 1. Циліндрична обечайка котла, підкріплена для збільшення жорсткості конструкції чотирма шпангоутами, складається з трьох частин: горизонтально розположеної середньої і двох кінцевих, нахилених до середньої частини під кутом 1°. Між кінцевими рамами в нижній частині котла встановлені два стрингери. Котел цистерни з'єднаний з кінцевими рамами продольними і поперечними зв'язями. Основні несучі елементи

вагона-цистерни (котел, рама, опори) виготовлені з високопрочних сталей.

Основні технічні параметри вагона-цистерни приведені в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические параметры вагона

Параметр, размерность	Значение
Вес тары, т	23,44
Грузоподъемность, т	57,84
Общий вес, т	81,28
Нагрузка на ось, т	20,32
Длина по осям автосцепки, мм	12420,00
База цистерны, мм	8391,00
Максимальная высота автосцепки, мм	1105,00
Расстояние между сливными устройствами, мм	4140,00
Длина по концевым балкам, мм	11491,00
Полный объем котла, м ³	76,00
Внутренний диаметр котла, мм	2950,00
Габарит	"X"

Математическая модель рассматриваемой конструкции цистерны построена с использованием программного комплекса, реализующего метод конечных элементов, на основе разработанной и представленной в электронном виде конструкторской документации. Для моделирования цилиндрической обечайки котла, под-

крепляющих ее элементов, концевых рам и опор выбран конечный элемент пластины преимущественно прямоугольной формы, а для торосферических днищ – треугольный элемент пластины. Модель вагона-цистерны (рис. 2) со-

ставлена из 45 946 конечных элементов и имеет 241 332 степени свободы.

Оценка прочности конструкции цистерны проводилась в соответствии с Нормами [1] и заданиями индийской стороны.

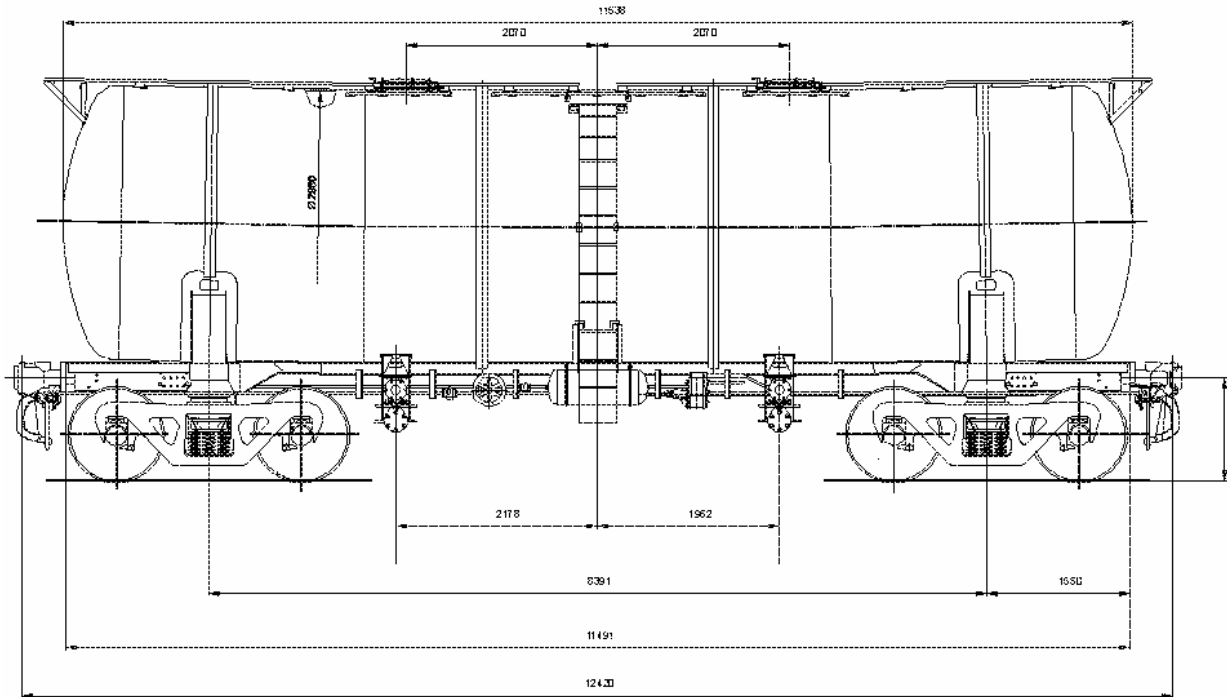


Рис. 1. Вагон-цистерна безрамной конструкции для железных дорог Индии

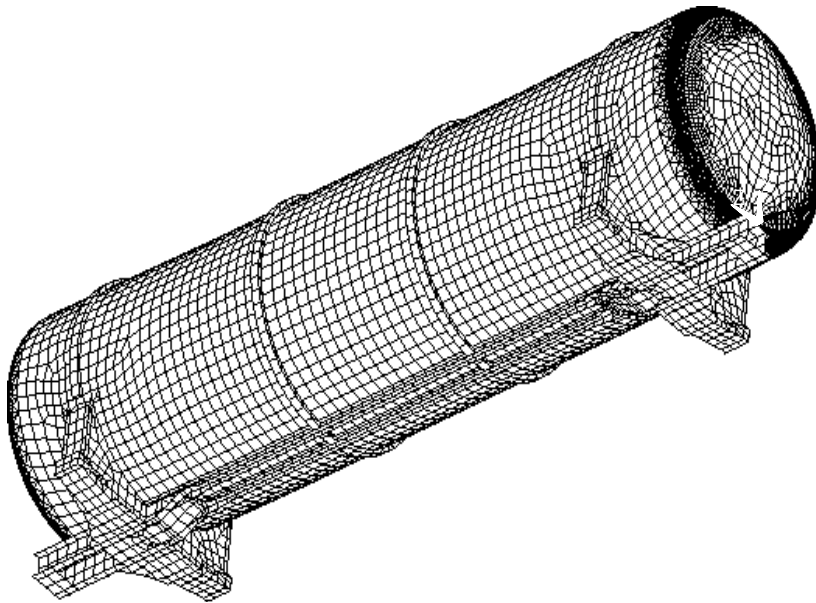


Рис. 2. Конечно-элементная схема вагона-цистерны

Различные режимы эксплуатации, в том числе пуск в ход и торможение, избыточное внутреннее давление, подъем за концевые рамы, моделировались соответствующим комплексом внешних статических нагрузок: весом жидкого груза как гидростатического давления; внутренним давлением, равномерно распределен-

ным по оболочке котла; продольными сжимающими и растягивающими силами, приложенными к автосцепке; весом конструкции и силами ее инерции от удара в автосцепку, задаваемыми с помощью ускорения, приложенного к элементам конструкции соответственно в вертикальном и продольном направлениях;

давлением от гидроудара, равномерно распределенным по поверхности переднего днища и цилиндрической обечайки. Величина давления от гидроудара P_2 определялась как отношение силы инерции жидкого груза N_u к площади вертикальной проекции днища и принималась по всей длине обечайки котла равной давлению на переднем днище (заднее днище считалось ненагруженным):

$$P_2 = \frac{4 \cdot N_u}{\pi \cdot D^2}, \quad (1)$$

$$N_u = \frac{Q_{zp}}{Q_{zp} + Q_m} \cdot N, \quad (2)$$

где D – диаметр котла; N – продольно-тяговая сила; Q_{zp} – масса жидкого груза; Q_m – масса тары.

Вес груза прикладывается в виде неравномерно распределенного давления P . Изменение давления по высоте определяется как

$$\text{grad}(P) = \frac{dP}{dh} = \rho \cdot g, \quad (3)$$

где ρ – плотность перевозимого груза; g – ускорение свободного падения.

Ускорение a , примененное к элементам конструкции для компенсации разницы между силой продольного удара и силой инерции груза, вычисляется по формуле

$$a = \frac{N - N_u}{Q_m}. \quad (4)$$

При воздействии на конструкцию продольных нагрузок рассматривались два вида граничных условий:

– при сжатии конструкция шарнирно опирается в месте крепления заднего упора автосцепки;

– при растяжении конструкция шарнирно опирается в месте крепления переднего упора автосцепки.

Рассмотрены шесть вариантов сочетаний расчетных нагрузок.

I расчетный режим:

1) сила продольного сжатия 2,5 МН, приложенная к заднему упору автосцепки;

2) равномерное внутреннее давление паров бензина 0,2 МПа;

3) давление гидроудара 0,26 МПа, определяемое по формуле (1) при $N = 2,5$ МН;

4) вес груза, прикладываемый в виде неравномерно распределенного давления с

$\text{grad}(P) = 7357,5 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-3}$, вычисленного по формуле (3);

5) вес конструкции;

6) силы инерции конструкции, определяемые путем умножения масс ее элементов на ускорение $a = 3g$, вычисленное по формуле (4) при $N = 2,5$ МН.

Допускаемые напряжения для этого режима в соответствии с [1]:

– для полурам и опор котла 315 МПа;

– для котла 385 МПа.

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее нагруженными зонами для этого режима являются (рис. 3):

– зона диафрагм шкворневой балки, где максимальные значения $\sigma_{\text{экв}} = 213$ МПа;

– зона перехода от хребтовой балки к стрингеру, где максимальные $\sigma_{\text{экв}} = 302$ МПа;

– зона верхней части опоры $\sigma_{\text{экв}} \leq 295$ МПа;

– зона торцевой части днища $\sigma_{\text{экв}} \leq 341$ МПа.

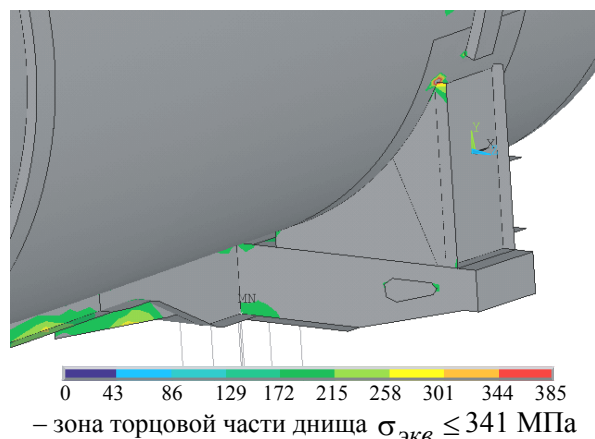


Рис. 3. Наиболее нагруженные зоны (I режим)

II-й расчетный режим:

1) сила продольного растяжения 1,0 МН;

2) давление паров бензина 0,2 МПа;

3) давление гидроудара 0,104 МПа;

4) вес груза с $\text{grad}(P) = 10300,5 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-3}$ и с учетом коэффициента вертикальной динамики $K_d = 0,4$;

5) вес конструкции с учетом коэффициента вертикальной динамики $K_d = 0,4$;

6) силы инерции конструкции, определяемые путем умножения масс ее элементов на ускорение $a = 1,23g$, вычисленное по формуле (4) при $N = 1,0$ МН.

Допускаемые напряжения для этого режима:

– для полурам и опор котла 220 МПа;

– для котла 247 МПа.

Наиболее нагруженными зонами при этом режиме, так же, как и при I расчетном режиме, являются зона диафрагм шкворневой балки $\sigma_{эКв} \leq 142$ МПа; зона перехода от хребтовой балки к стрингеру $\sigma_{эКв} \leq 110$ МПа; зона верхней части опоры $\sigma_{эКв} \leq 215$ МПа; зона торцевой части днища $\sigma_{эКв} \leq 246$ МПа.

III расчетный режим:

1) внутреннее давление 0,28 МПа.

IV расчетный режим:

1) давление 0,58 МПа.

Допускаемые напряжения для этих режимов составляют:

- для полурам и опор котла 318 МПа;
- для котла 409 МПа.

Наиболее нагруженной зоной при рассмотренных режимах является зона торцевой части днища (рис. 4) $\sigma_{эКв} \leq 191$ МПа (для III режима) и $\sigma_{эКв} \leq 395$ МПа (для IV режима).

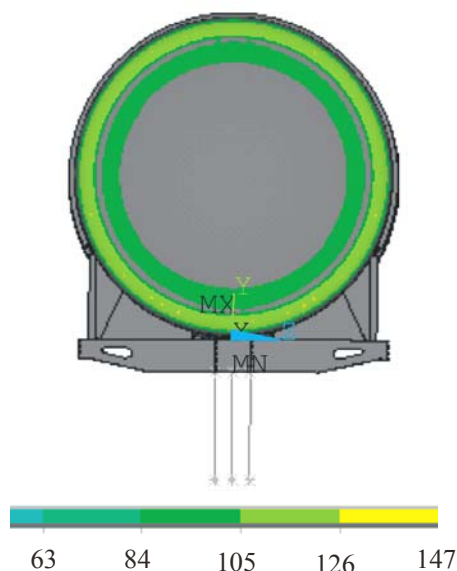


Рис. 4. НДС торцевой части днища (III режим)

V расчетный режим (по техническим требованиям индийской стороны):

1) подъем цистерны, груженной до номинальной грузоподъемности, под консоль хребтовой балки в сечении между упорами автосцепки и розеткой на одном конце вагона, с опиранием на пятник.

Допускаемые напряжения:

- для полурам и опор котла 315 МПа;
- для котла 405 МПа.

Наиболее нагруженные зоны: зона диафрагм шкворневой балки (рис. 5) $\sigma_{эКв} \leq 312$ МПа; зона на перехода от хребтовой балки к стрингеру и

прилегающая к ней обечайка котла $\sigma_{эКв} \leq 255$ МПа.

VI расчетный режим:

1) подъем цистерны, груженной до номинальной грузоподъемности, под концы одной шкворневой балки.

Допускаемые напряжения:

- для полурам и опор котла 315 МПа;
- для котла 405 МПа.

Наиболее нагруженные зоны: зона верхней части опоры $\sigma_{эКв} \leq 246$ МПа; зона на торцах шкворневой балки $\sigma_{эКв} \leq 191$ МПа.

В целом анализ напряженно-деформированного состояния конструкции вагона-цистерны модели 15-1717 показал, что наиболее нагруженными являются торцовая часть днища и зоны перехода от хребтовых балок концевых рам к стрингеру.

Создан опытный образец вагона-цистерны для перевозки нефтепродуктов по железным дорогам Индии и проведены его натурные испытания при рассмотренных эксплуатационных режимах нагружения.

Результаты проведенных экспериментальных исследований опытного образца показали, что выбранные параметры конструкции обеспечивают допускаемый Нормами [1] уровень напряжений в несущих элементах вагона-цистерны для всех рассмотренных режимов эксплуатации.

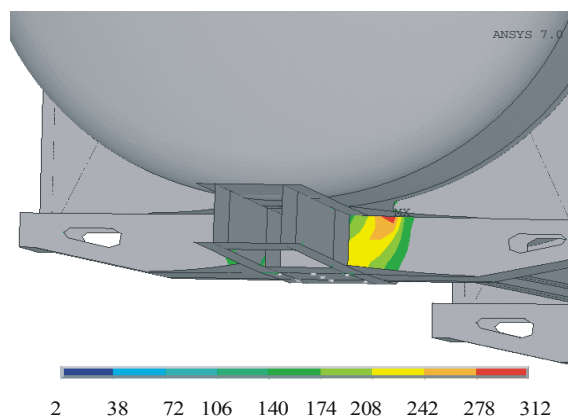


Рис. 5. НДС шкворневой балки (V режим)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИвагоностроения – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.