

УДК 629.46 : 539.4

С. В. МАКЕЕВ

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель*

## **РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ВАГОНА-ХОППЕРА МОДЕЛИ 19-923 ДЛЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Разработана методика расчета на прочность кузова вагона-хоппера модели 19-923 для перевозки минеральных удобрений. Приведены результаты расчета по основным конструктивным элементам кузова на действие нормативных нагрузок.

Одним из направлений деятельности Отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Технические и технологические оценки ресурса единиц подвижного состава» является проведение работ по оценке остаточного ресурса грузовых вагонов с целью продления срока их эксплуатации. В соответствии с действующей нормативной документацией проведение данных работ подразумевает прочностные расчеты по физическому состоянию, которые требуют значительных затрат времени. А так как железная дорога – это зона повышенной опасности, то и вопросы разработки методики расчета вагонов для определения их прочности и надежности здесь стоят очень остро.

Для оценки прочности и жесткости вагонных конструкций необходимо использовать современные математические методы, которые дают результаты, близкие к реальным. Таким универсальным решением вышеперечисленных задач является метод конечных элементов (МКЭ). Применение данного метода для моделирования сложных вагонных конструкций позволило отказаться от частных решений и упрощенных моделей вагонов, использовавшихся ранее, а также повысить степень точности решения конструкторских задач за счет создания более совершенных моделей.

В данной работе рассматривается вагон-хоппер модели 19-923, предназначенный для перевозки минеральных удобрений. Кузов вагона-хоппера выполнен цельнометаллическим, сварным. Для моделирования конструкции вагона использовались два типа конечных элементов: плоские пластинчатые (3- и 4-узловые) и стержневые. Параметры расчетной модели следующие: количество узлов – 41841, количество конечных элементов – 43515. Для моделирования балок рамы и основных балок стен, обшивки использовались пластинчатые конечные элементы, а для дуг крыши и подкосов торцевой стены – стержневые с соответствующими величинами эксцентриситетов. Характерный размер конечных элементов – 60 мм.

В соответствии с требованиями «Норм для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» ГосНИИВ-ВНИИЖТа РФ [1] кузова вагонов-хопперов рассчитывают на I и III режимы

нагружения. В эксплуатации I режима расчета соответствуют для грузовых вагонов осаживание и трогание тяжеловесного состава с места, соударения вагонов на маневрах, в т.ч. при роспуске с горок, экстренное торможение в поездах при малых скоростях движения.

Расчетными нагрузками, действующими на кузов при I режиме, являются вертикальные силы от собственной массы кузова и массы перевозимого груза, принятые в виде равномерно-распределенных нагрузок по хребтовой и боковым балкам рамы, продольные силы, приложенные к переднему ( $T = 2,5$  МН) и заднему ( $T = -2,5$  МН) упорам автосцепки и усилия распора сыпучего груза на боковые и торцовые стены.

Расчетными нагрузками, действующими на кузов при III режиме, являются продольные силы, приложенные к переднему ( $T = 1,0$  МН) и заднему ( $T = -1,0$  МН) упорам автосцепки, и вертикальные от массы брутто кузова, для которых учитывается коэффициент вертикальной динамики  $k_d = 0,335$ .

Равномерно-распределенная нагрузка по хребтовой балке, кгс/см:

$$q_{xi} = \frac{m_x}{2L},$$

где  $m_x$  – масса хребтовой балки;  $2L$  – расчетная длина хребтовой балки,

$$q_{x2} = q_{xi} + \frac{(m_k + m_{то}) + 0,5m_{\Sigma}}{2l},$$

$m_k$  – масса конька;  $m_{то}$  – суммарная масса тормозного оборудования,  $2l$  – база вагона,  $m_{\Sigma}$  – масса элементов кузова, учитываемая при загрузке хребтовой балки и нижней обвязки боковой стены (масса шкворневых балок, поперечной балки, масса бункеров, масса торцевой стены);

$$q_{x3} = q_{x2} + \frac{0,275K_1P}{2L_6},$$

$K_1$  – коэффициент, учитывающий долю груза, приходящегося на хребтовую балку на длине бункеров;  $K_1 = 0,85$ ;  $P$  – грузоподъемность вагона,  $P = 70000$  кг.

Равномерно-распределенная нагрузка по нижней обвязке боковой стены, кгс/см:

$$q_6 = \frac{0,25m_{\Sigma} + K_2m_{6с} + 0,5K_3m_{кр} + 0,225K_1P}{2L_6},$$

$m_{6с}$  – масса боковой стены;  $m_{кр}$  – масса крыши;  $K_2$ ,  $K_3$  – коэффициенты, определяющие долю массы боковой стены и крыши на нижнюю обвязку боковой стены на длине бункеров  $2L_6$ ,  $K_2 = 0,8$  и  $K_3 = 0,7$ ;  $2L_6$  – длина бункеров.

Результаты расчета равномерно-распределенной нагрузки, кгс/см, по хребтовой балке и нижней обвязке боковой стены сведены в таблицу 1. Схема ее приложения, а также продольные силы показаны на рисунке 1.

Таблица 1 – Равномерно-распределенная нагрузка по хребтовой балке и нижней обвязке боковой стены

Режим	$q_{x1}$	$q_{x2}$	$q_{x3}$	$q_b$
I	1,725	4,446	31,182	24,770
III	2,303	5,935	41,628	33,068

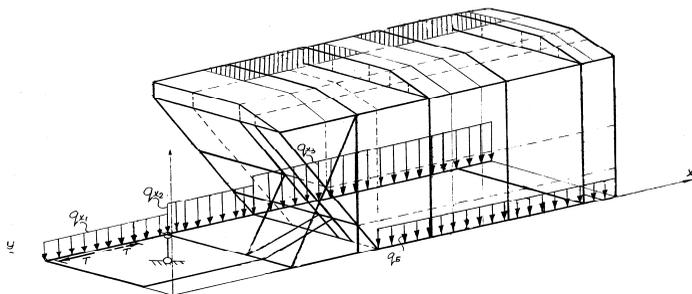


Рисунок 1 – Схема загрузки ¼ части кузова

Статическое давление распора насыпного груза на единицу площади боковых стен определяется по зависимости [1]:

$$P_{ai} = (1 + K_d) \gamma y_i \operatorname{tg}^2(\pi/4 - \varphi/2),$$

где  $K_d$  – коэффициент вертикальной динамики, для I режима  $K_d = 0,1$ ;  $\gamma$  – плотность перевозимого груза, для минеральных удобрений принимаем  $\gamma = 1,1 \text{ т/м}^3$ ;  $y_i$  – расстояние от верхней точки кузова вагона до рассматриваемой, в которой определяется искомое давление (рисунок 2);  $\varphi$  – угол естественного откоса сыпучего груза,  $\varphi = 0,7$  рад.

Тогда статическое давление распора насыпного груза на единицу площади боковой стены

$$P_{ai} = (1 + 1,1) \cdot 1,1 y_i \operatorname{tg}^2(3,14/4 - 70/2) = 0,26 y_i.$$

Давление распора сыпучего груза на боковую стену:

1) на высоте  $y_1 = 2,729 \text{ м}$        $P_{a1} = 0,26 \cdot 2,729 = 0,71 \text{ тс/м}^2$ ;

2) на высоте  $y_2 = 2,06 \text{ м}$        $P_{a2} = 0,26 \cdot 2,06 = 0,53 \text{ тс/м}^2$ ;

3) на высоте  $y_3 = 1,14 \text{ м}$        $P_{a3} = 0,26 \cdot 1,14 = 0,29 \text{ тс/м}^2$ ;

4) на высоте  $y_4 = 0,57 \text{ м}$        $P_{a4} = 0,26 \cdot 0,57 = 0,15 \text{ тс/м}^2$ ;

5) на высоте  $y_5 = 0$        $P_{a5} = 0$ .

Названное давление изменяется по линейному закону и убывает от максимума в точке 1, к нулю в точке 5 (см. рисунок 2).

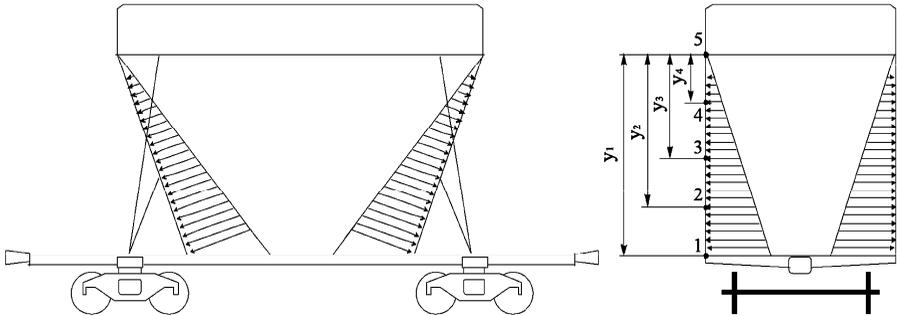


Рисунок 2 – Схема нагружения кузова насыпным грузом

Активное статическое давление распора сыпучего груза на единицу площади торцевой стены в общем случае определяется по формуле [1]:

$$P_a = \frac{(1 + K_d) \cdot \gamma g y \sin(\alpha + \varphi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2},$$

где  $\alpha$  – угол наклона стенки кузова к горизонту;  $\delta$  – угол трения груза о металлические стенки кузова,  $\delta = 0,45$  рад;  $\beta$  – угол наклона поверхности груза к горизонту.

Активное статическое давление на торцевую стену:

1) на высоте (у основания)  $y_1 = 2,729$  м  $P_{a \max}^{y_1} = 1,5$  тс/м<sup>2</sup>;

2) на высоте  $y_2 = 2,06$  м  $P_a^{y_2} = \frac{1,168376 \cdot 2,06}{2,1289} = 1,13$  тс/м<sup>2</sup>;

3) на высоте  $y_3 = 1,14$  м  $P_a^{y_3} = \frac{1,168376 \cdot 1,14}{2,1289} = 0,625$  тс/м<sup>2</sup>;

4) на высоте  $y_4 = 0,57$  м  $P_a^{y_4} = \frac{1,168376 \cdot 0,57}{2,1289} = 0,312$  тс/м<sup>2</sup>.

Допускаемые напряжения для I расчетного режима, согласно «Нормам...» [1], принимаем равными  $[\sigma] = 263,5$  МПа, а для III режима –  $[\sigma] = 190$  МПа.

Величины эквивалентных напряжений в характерных точках (рисунок 3) кузова вагона-хоппера для минеральных удобрений сведены в таблице 2.

Напряженно-деформированное состояние вагона-хоппера при различных режимах нагружения показано на рисунках 4–6.

Таблица 2 – Эквивалентные напряжения в характерных точках вагона-хоппера

В мегапаскалях

Наименование элемента рамы	Номер узла (рисунок 3)	Режим нагружения					
		I ( $[\sigma] = 263,5 \text{ МПа}$ )				III ( $[\sigma] = 190 \text{ МПа}$ )	
		тяговый	коэффициент перегрузки	соударение	коэффициент перегрузки	тяговый	коэффициент перегрузки
<i>Хребтовая балка</i>							
Зона переднего упора автосцепки	4467	97,76	0,37	57,2	0,21	38	0,18
Зона заднего упора автосцепки	4655	77,7	0,29	24,6	0,09	30,4	0,15
Середина нижнего пояса	470	192,3	0,73	25,3	0,09	134,5	0,70
Середина верхнего пояса	6007	67,7	0,25	132,6	0,50	35	0,18
Зона соединения со шкворневой балкой	7389	86	0,32	83	0,31	63,5	0,33
Зона соединения с нижним поясом торцевой стенки	10392	156,4	0,59	76,8	0,29	125	0,65
<i>Шкворневая балка</i>							
На нижнем горизонтальном листе	8238	65	0,24	58,57	0,22	72	0,37
на верхнем горизонтальном листе	1748	55,4	0,21	56,8	0,21	60,7	0,31
<i>Боковая балка</i>							
Середина	15709	107,9	0,41	29,8	0,10	26	0,13
Место соединения с торцевой стеной	43791	179,9	0,68	84,4	0,31	83	0,43
<i>Концевая балка</i>							
Лобовой лист у хребтовой балки	3175	4,2	0,015	3,6	0,013	3,0	0,015
<i>Другие элементы конструкции</i>							
Раскос	18577	35	0,13	20,9	0,09	38	0,2
Лист обшивы боковой стены	44532	54	0,20	78,8	0,29	32	0,16
Лист обшивы боковой стены в зоне вертикального двутавра	41043	143,3	0,54	108,1	0,41	15,6	0,08
Лист крыши	48609	11,33	0,04	3,9	0,01	14,2	0,07

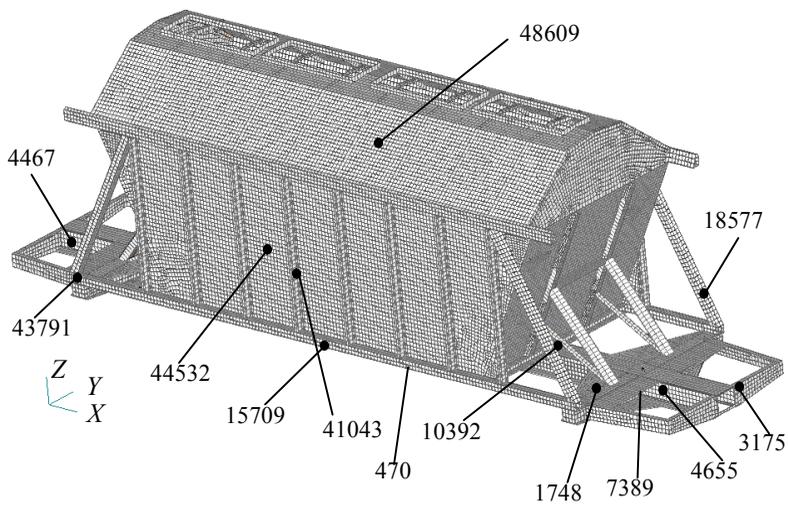


Рисунок 3 – Конечноэлементная модель вагона-хоппера с примерным расположением характерных точек

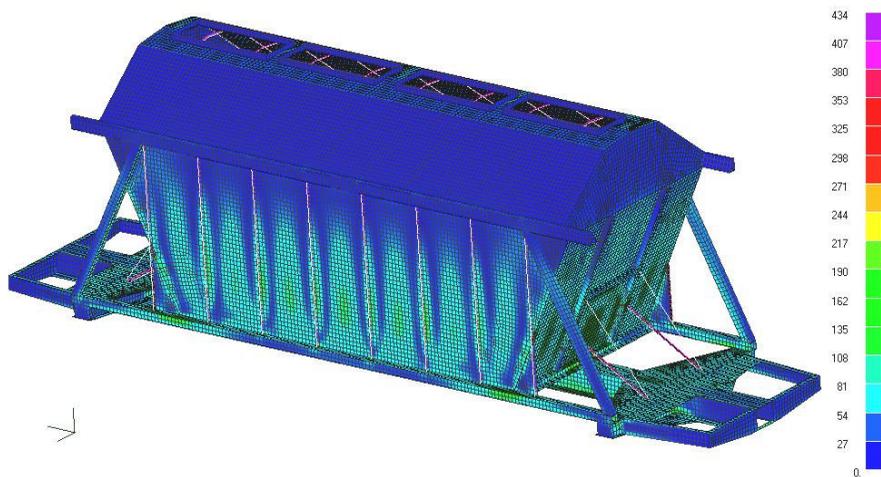


Рисунок 4 – Распределение эквивалентных напряжений, МПа, в кузове минераловоза (I режим – соударение)

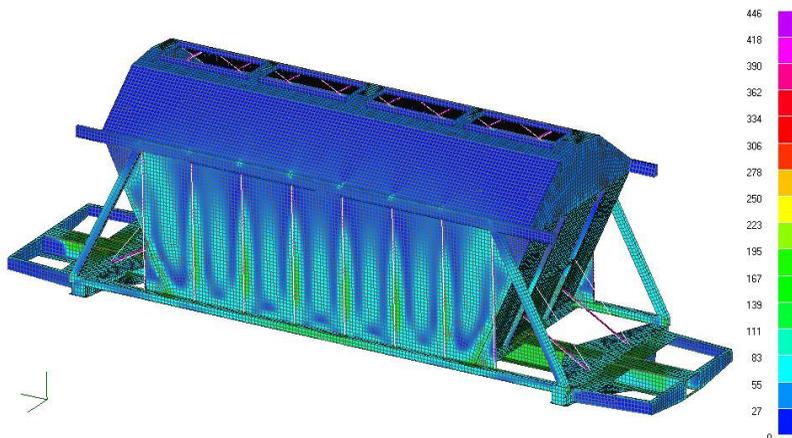


Рисунок 5 – Распределение эквивалентных напряжений, МПа, в кузове минераловоза (I режим – тяговый)

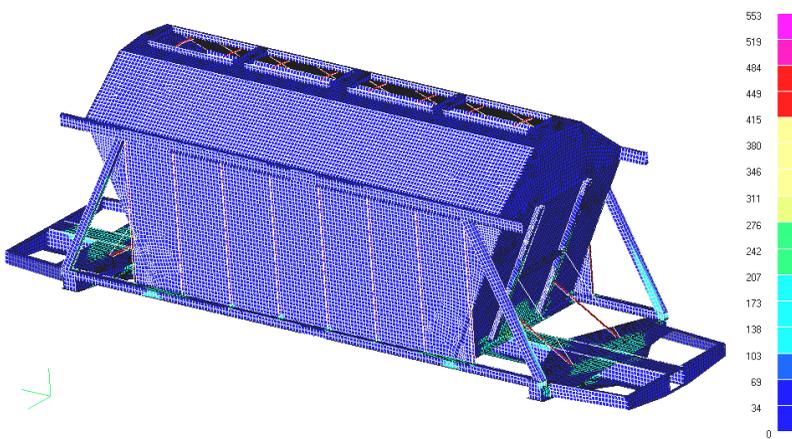


Рисунок 6 – Распределение эквивалентных напряжений, МПа, в кузове минераловоза (III режим – тяговый)

Расчет кузова вагона-хопера для минеральных удобрений модели 19-923 по различным режимам нагружения показал, что эквивалентные напряжения не превышают допустимых, т. е. прочность всех элементов кузова и рамы вагона-хопера обеспечивается. В дальнейшем, после обследования технического состояния вагонов-хoppers модели 19-923, отслуживших нормативный срок службы 26 лет, и оценки интенсивности коррозионного износа несущих элементов возможен повторный расчет на прочность конструкции по физическому состоянию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

*S. V. MAKEEV*

### **HOPPER CAR FOR MINERAL FERTILIZERS MODEL 19-923 STRENGTH ANALYSIS**

The hopper fertilizer car body, Model 19-923, strength design procedure has been developed. The computational results of basic body constructs on normative characteristic load are presented.

Получено 15.12.2008

---

**ISBN 978-985-468-565-6. Механика. Научные исследования  
и учебно-методические разработки. Вып. 3. Гомель, 2009**

---

УДК 678.742

*А. К. НОВИКОВ*

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого  
Национальной академии наук Беларуси, Гомель*

### **ПРОЧНОСТЬ ПЛАСТМАССОВЫХ ОТЛИВОК, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПРОТОЧНОГО ЛИТЬЯ**

Приведены теоретическая оценка и экспериментальные результаты исследования прочности отливок из пластмасс, полученных методом проточного литья.

**Введение.** Методом литья под давлением получают примерно третью часть пластмассовой продукции. В исходном (базовом) варианте процесс включает заполнение под давлением оформляющей изделие полости литьевой формы пластмассовым материалом, отверждение отливки и извлечение изделия. Аппаратурное оформление базового варианта содержит основное оборудование – термопластавтомат, технологическую оснастку – литьевую форму; периферийное оборудование – сушилки, загрузчики, транспортные системы, робототехнические устройства, систему охлаждения; систему управления. Изменяющееся многообразие объектов техники, где применяются пластмассы, форм деталей и условий их эксплуатации и технических требований к ним, развитие смежных областей науки и техники, бурный прогресс информационно-вычислительной техники, разработка и исследование полимерных материалов и процессов их переработки приводят к разработке специальных методов [1–5]. В ИММС им. В. А. Белого НАН Беларуси была разработана позволяющая управлять процессами формо- и структурообразования схема литья под давлением пластмасс с течением расплава полимерного материала через оформляющую полость лить-