

# Инновационные изделия: разработка, исследования, оптимизация



**А. Д. Чепурной,**  
д.т.н., профессор, директор по научно-техническому развитию  
ООО «Научно-инженерный центр «Управляющая компания „РэйлТрансХолдинг“» (УК «РТХ»),  
г. Москва



**Р. И. Шейченко,**  
главный конструктор проекта вагонов-цистерн  
УК «РТХ»,  
г. Мариуполь



**Р. В. Граборов,**  
начальник группы технических расчетов  
УК «РТХ»,  
г. Мариуполь



**Н. А. Ткачук,**  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (НТУ «ХПИ»)



**М. А. Бондаренко,**  
младший научный сотрудник кафедры «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин»  
НТУ «ХПИ»



**Д. В. Степанов,**  
инженер-конструктор  
УК «РТХ»

К актуальным проблемам в сфере вагоностроения относится обоснование проектных решений при создании инновационных конструкций по критериям обеспечения прочности с одновременным повышением уровня их технических характеристик.

На фоне бурного развития отдельных отраслей в современном машиностроении наблюдается одна из очень важных тенденций. Усиливается направление к повышению производительности, нагрузочной способности и долговечности многих машиностроительных конструкций. Однако во многих отраслях промышленности устоялись проектные решения, создаваемые десятилетиями. Ресурсы традиционных технических изделий исчерпаны, необходима разработка радикальных альтернативных вариантов. Но это лишь одна сторона проблемы. Другая состоит в том, что для обширного класса машиностроительных конструкций действуют достаточно жесткие нормы по прочности, устойчивости, деформируемости. Кроме того, существуют традиционные методики расчета. Таким образом, указанные устоявшиеся факторы тормозят создание инновационных изделий с резко возросшим уровнем технических характеристик.

Цель работы – установить методы обоснования проектных решений при создании инновационных тонкостенных машиностроительных конструкций по критериям обеспечения прочности с одновременным повышением уровня

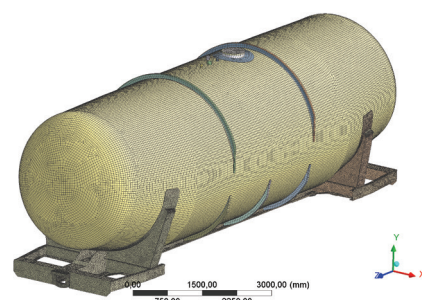


Рис. 1. Расчетная модель с сеткой конечных элементов

их технических характеристик на примере вагона-цистерны для легковесных продуктов грузоподъемностью 74,5 т конструкции и производства УК «РэйлТрансХолдинг» (УК «РТХ»).

## Исследуемый объект

Исследовалось напряженно-деформированное состояние вагона-цистерны для перевозки легковесных продуктов модели 15-6899. Технические характеристики вагона-цистерны представлены в табл. 1.

Головной исполнитель НИОКР – «Научно-инженерный центр УК „РТХ“»; изготовитель вагона – АО «Новозыбковский машиностроительный завод».

Таблица 1. Технические характеристики вагона-цистерны

Грузоподъемность, т	74,5
Объем котла, м <sup>3</sup>	95,0
Диаметр котла, мм	3500
Масса тары, т	25,0
Коэффициент тары	0,33
Расчетная осевая нагрузка, т/ось	25
Габарит по ГОСТ 9238-2013	Тц
База вагона, мм	7800
Длина по осям автосцепок, мм	12 020
Конструкционная скорость, км/ч	120
Материал котла	09Г2С
Допустимые напряжения [σ], МПа	195–210

Таблица 2. Максимальные значения напряжений в элементах рамы вагона, МПа

№ зоны	Элементы	I расчетный режим		III расчетный режим		Удар 3,0 МН	Рывок 2,5 МН	Удар 1,0 МН	Рывок 1,0 МН	Подъем одним домкратом	Подъем двумя домкратами	Подъем двумя домкр. по диаг.
		растяжение 2,0 МН	сжатие 2,5 МН	растяжение 1,0 МН	сжатие 1,0 МН							
1	Балка хребтовая	266	180	127	81	146	219	47	87	33	15	5
2	Шкворневые диафрагмы	61	112	82	98	165	126	113	136	95	84	32
3	Нижний шкворневой лист	212	236	98	118	228	164	141	123	134	62	18
4	Зона перехода хребтовой балки в стрингеры	174	202	77	89	176	135	77	63	19	10	3
5	Стрингеры	130	152	65	55	155	92	48	41	8	4	2
6	Швеллер боковой в зоне стыковки со шкворневой балкой	96	21	54	31	57	54	42	44	135	112	22
7	Балка передняя	62	34	29	21	46	76	27	24	16	12	3
8	Опора цистерны	286	139	98	74	191	249	85	69	176	105	31
9	Обечайка цистерны в зоне опор	108	155	56	96	177	141	96	89	57	36	10
10	Обечайка цистерны в зоне сливного поддона	124	157	74	85	168	133	83	79	11	11	2
11	Обечайка цистерны в зоне соединения консольной и средней частей	275	194	139	123	218	198	134	129	68	48	9
12	Обечайка цистерны в зоне люка лаза	94	110	65	59	169	151	87	87	23	24	3
13	Днище цистерны	147	166	114	110	222	196	121	121	47	35	7

**Методика исследований**

При исследованиях напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов вагона-цистерны применялся метод конечных элементов (МКЭ). Нагрузки и режимы эксплуатации вагона соответствуют [1]. Конечно-элементная модель (рис. 1) строится по методикам, описанным в [2]. Исследованы различные вариан-

ты нагружения: статика и динамика, движение в кривых, удары и т. п. [1]. Требования к характеристикам напряженно-деформированного состояния установлены согласно [3].

Важно отметить, что при проектных исследованиях требуется решать задачи двух типов: анализа и синтеза. Естественное требование состоит в вариативности и управляемости из-

меняемыми в ходе исследований моделями. Для этих целей был развит и адаптирован метод обобщенного параметрического моделирования сложных механических систем, предложенный в работе [4].

На основе этого метода создавались, варьировались модели исследуемых конструкций, в итоге определялись такие технические решения, которые

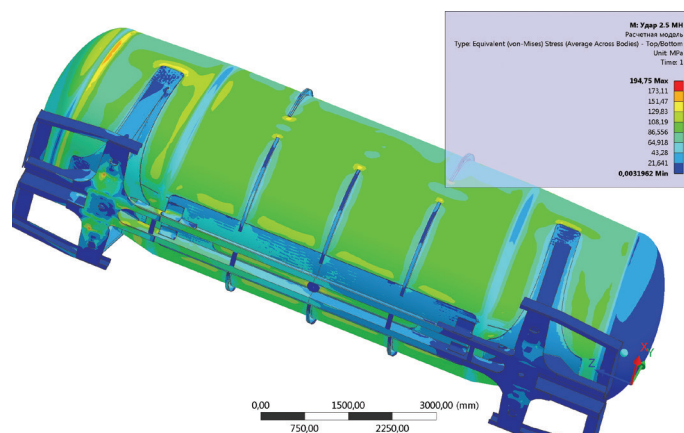


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние вагона-цистерны при расчетном режиме удар 3,0 МН

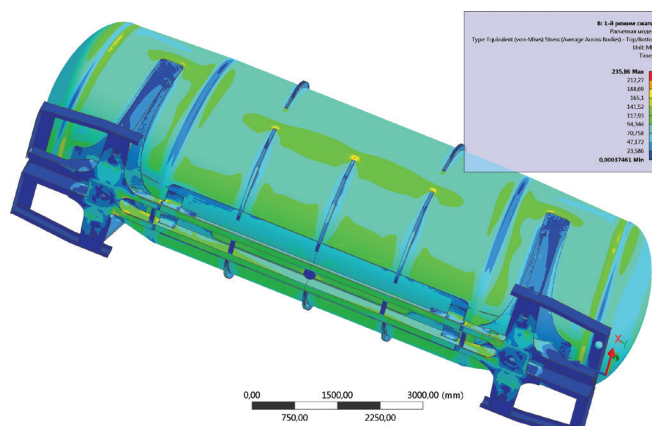


Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние вагона-цистерны при расчетном режиме сжатие 2,5 МН

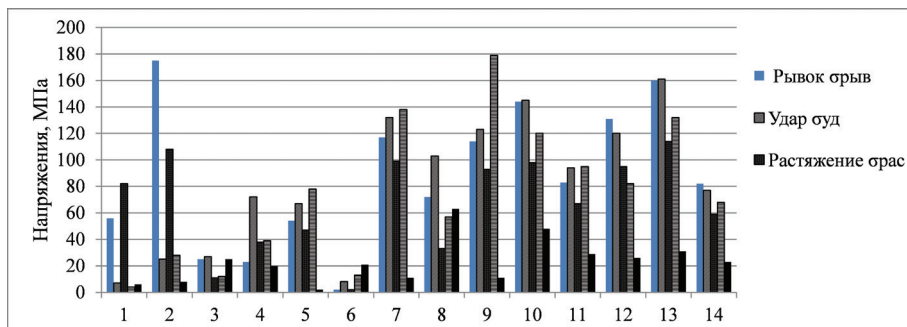


Рис. 4. Уровень напряжений при действии разных видов нагружения (см. табл. 2)

Таблица 3. Исходные данные для расчета коэффициента запаса усталостной прочности

Параметр	Значение
Срок службы вагона (назначенный), Тк, лет	32
Грузоподъемность, т	74,5
Максимальная масса тары вагона, т	25,5

удовлетворяют и существующим нормативам [1, 3], и условиям высоких технических и экономических характеристик, а также всему комплексу требований инновационности.

В статье проиллюстрированы отдельные этапы исследований. Указанный подход отличает предложенную в работе методологию от традиционных разработок. Именно благодаря этому подходу удалось обосновать прогрессивные технические решения при соблюдении всех действующих нормативов, достигнув при этом нового уровня значений технико-экономических характеристик.

**Результаты**

Как уже отмечалось, структура, параметры, а также применяемые технические решения для производст-

ва вагона-цистерны обосновывались следующим образом: поэтапно происходил поиска рациональных технических решений на базе обобщенного параметрического моделирования. Для целенаправленного продвижения к искомому решению в параметрическом пространстве применялись различные оптимизационные процедуры. Здесь представлены результаты анализа НДС для варианта конструкции с рекомендованным набором параметров (рис. 2, 3; табл. 2).

Уровень напряжений в элементах конструкции вагона при разных видах нагружения представлен на рис. 4.

Расчет НДС вагона-цистерны для легковесных продуктов модели 15-6899 проведен с целью определения коэффициента запаса усталостной прочности [3] согласно данным табл. 3.

Из расчетов по оценке сопротивления усталости следует, что коэффициенты запаса сопротивления усталости  $n$  каждой из наиболее нагруженных зон кузова вагона при любой схеме его нагружения больше допустимого согласно требованиям [3] коэффициента запаса сопротивления усталости  $[n] = 1,5$ . Усталостная прочность вагона обеспечена на срок службы 32 года.

**Заключение**

На основании полученных результатов можно сделать следующее заключение. По итогам многовариантных исследований рекомендован набор параметров, соответствующих комплексу действующих норм и критериев по показателям прочности. Полученные расчетные эквивалентные напряжения для конструкции вагона не превышают допустимые [3] для всех расчетных режимов, а расчетный срок службы составляет 32 года. Предложенный подход адаптирован к проектным исследованиям инновационных изделий и соединяет в себе, с одной стороны, новаторские методы, модели и средства синтеза проектных решений, а с другой – нацеленность на соблюдение всех действующих жестких норм и стандартов.

В дальнейшем предложенные разработки планируется применить к различным инновационным изделиям. ■

**Литература**

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ВНИИЖТ-ГосНИИВ, 1996. 319 с.
2. Сенько В. И., Макеев С. В., Чепурной А. Д. и др. Методологические основы расширенных прочностных и динамических исследований при испытаниях длиннобазных платформ // Механика и машиностроение. 2015. № 1. С. 67–81.
3. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам: ГОСТ 33211-2014. М.: Стандартинформ, 2016. 53 с. (Межгосударственный стандарт).
4. Ткачук Н. А., Гриценко Г. Д., Чепурной А. Д. и др. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания // Механика и машиностроение. 2006. № 1. С. 57–79.

