

УДК 629.463.62

Совершенствование методики ресурсных испытаний боковых стоек полувагона в части определения испытательной нагрузки

А. Е. Афанасьев¹, Т. А. Афанасьева², Д. М. Деркунова¹

¹ООО «Испытательный Центр продукции вагоностроения Инженерного Центра подвижного состава», Российская Федерация, 190013, Санкт-Петербург, наб. реки Фонтанки, 108

²Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Афанасьев А. Е., Афанасьева Т. А., Деркунова Д. М. Совершенствование методики ресурсных испытаний боковых стоек полувагона в части определения испытательной нагрузки // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 2. — С. 24–35. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-2-24-35

Аннотация

Цель: Существующая методика расчета динамической нагрузки применяется для свободностоящих стоек, на которые не влияют другие несущие элементы конструкции кузова, такие как торцевые стены, верхняя обвязка, обшивка боковой стены и др. Целью настоящей работы является совершенствование методики ресурсных испытаний боковых стоек полувагона в части определения испытательной нагрузки. **Методы:** Выполнен анализ существующих методик ресурсных испытаний узлов заделок стоек полувагонов. Для оценки напряженного состояния боковых стоек были проведены расчеты нагрузки на стойки боковой стены полувагона с учетом влияния составных частей кузова полувагона на напряженное состояние узла заделки стойки. Определено влияние верхней обвязки и торцевой стены на заделку стойки, рассчитана прочность нескольких моделей полувагонов с учетом заделки в торцевую стену и без нее. Проведено моделирование расчета прочности полувагона с помощью специализированного программного комплекса, с целью определения влияния верхней обвязки торцевых стен на напряженное состояние кузова. **Результаты:** Проведенные испытания показали валидность методики. В результате апробации данной методики был подтвержден срок службы узлов заделки стойки полувагонов 32 года. В ходе испытаний подтверждено влияние торцевых стен на снижение напряжений в стойках боковых стен. **Практическая значимость:** Боковая стойка является ключевым элементом каркаса полувагона, который принимает основную часть распорных нагрузок при транспортировке грузов. Усовершенствованная методика представляет собой комплексную систему мероприятий, направленных на проверку надежности и долговечности конструкции, и позволит обеспечить безопасность эксплуатации полувагонов.

Ключевые слова: Полувагон, ресурсные испытания, расчет, методика, боковые стойки, узел заделки стойки.

По официальным данным, грузооборот железнодорожным транспортом в 2023 году составил 2638 млрд т · км, а количество перевезенных грузов — 1365 млн т [1]. В 2024 году произошел масштабный выпуск полувагонов (28,4 тыс. ед.), рост составил 43 % относительно аналогичного периода прошлого года [2].

Успешное развитие транспортной отрасли в области перевозки грузов и развития грузооборота напрямую зависит от качества и надежности подвижного состава. В результате снижаются риски простоев и аварий, что особенно важно для своевременной доставки грузов.

Одним из важных этапов проверки качества вагонов является проведение ресурсных испытаний, которые позволяют убедиться в надежности и безопасности конструкции. Целью настоящей работы является совершенствование методики ресурсных испытаний боковых стоек полувагона в части определения испытательной нагрузки, которые соответствуют конкретной конструкции полувагона и условиям его эксплуатации.

Боковая стойка является ключевым элементом каркаса полувагона, который принимает на себя основную часть распорных нагрузок при транспортировке грузов. Для обеспечения безопасности эксплуатации вагонов определяют количественные характеристики сопротивления усталости боковой стойки в соответствии с существующей методикой, которая представляет собой комплексную систему мероприятий, направленных на проверку надежности и долговечности конструкции. Она включает в себя широкий спектр испытаний (в том числе стендовые) и требует применения современного оборудования. Эффективное проведение испытаний позволяет гарантировать безопасность эксплуатации вагонов и повышает конкурентоспособность отечественных производителей на мировом рынке.

В ходе разработки методики стендовых испытаний стоек полувагона определялись величины испытательных нагрузок, действующих на боковую стойку в соответствии с известной схемой приложения нагрузок [3–5]. Нагрузка P на боковую стойку определялась из условия равенства изгибающих моментов, возникающих в заделке стойки при фактическом нагружении в эксплуатации и при испытаниях, в соответствии со справочником [6].

Таким образом, сила P определяется по формуле (1):

$$P = \frac{qy^2}{6h}, \quad (1)$$

где q — распределенная нагрузка на стойку, Н/м;

y — высота стойки, м;

P — эквивалентная распорная сила, действующая на стойку при испытаниях, Н;

h — высота приложения силы P , рекомендуется принимать на $1/3$ высоты стойки (допускается принимать другое значение h , в данном случае принято значение $h = 0,75$ м).

Полученная по формуле (1) сила справедлива для расчета свободностоящих стоек, без учета влияния заделки верхней обвязки и торцевой стены, что может привести к недооценке или переоценке реальных нагрузок и напряжений в конструкции. Так, например, верхняя обвязка кузова полувагона создает дополнительные связи, которые могут перераспределять нагрузки и уменьшать или увеличивать изгибающие моменты на стойках. Торцевая стена может воспринимать часть распорной нагрузки, передаваемой на боковые стойки.

Отработка методики испытаний заделок стоек проведена на нескольких моделях полувагонов (новой конструкции и серийно выпускаемой). В результате необходимо было сравнить новую конструкцию с серийно выпускаемой с точки зрения ресурса рассматриваемого узла.

В рамках проведенных исследований влияния заделки верхней обвязки и торцевой стены на прочность конструкции были выполнены расчеты прочности нескольких моделей полувагонов (новой конструкции и серийно выпускаемой) от действия распорной силы с учетом заделки в торцевую стену и без нее (рис. 1), согласно требованиям норм и ГОСТ 33211 [7, 8]. Это позволило оценить, как эти элементы влияют на распределение нагрузок и напряжений в заделках стоек.

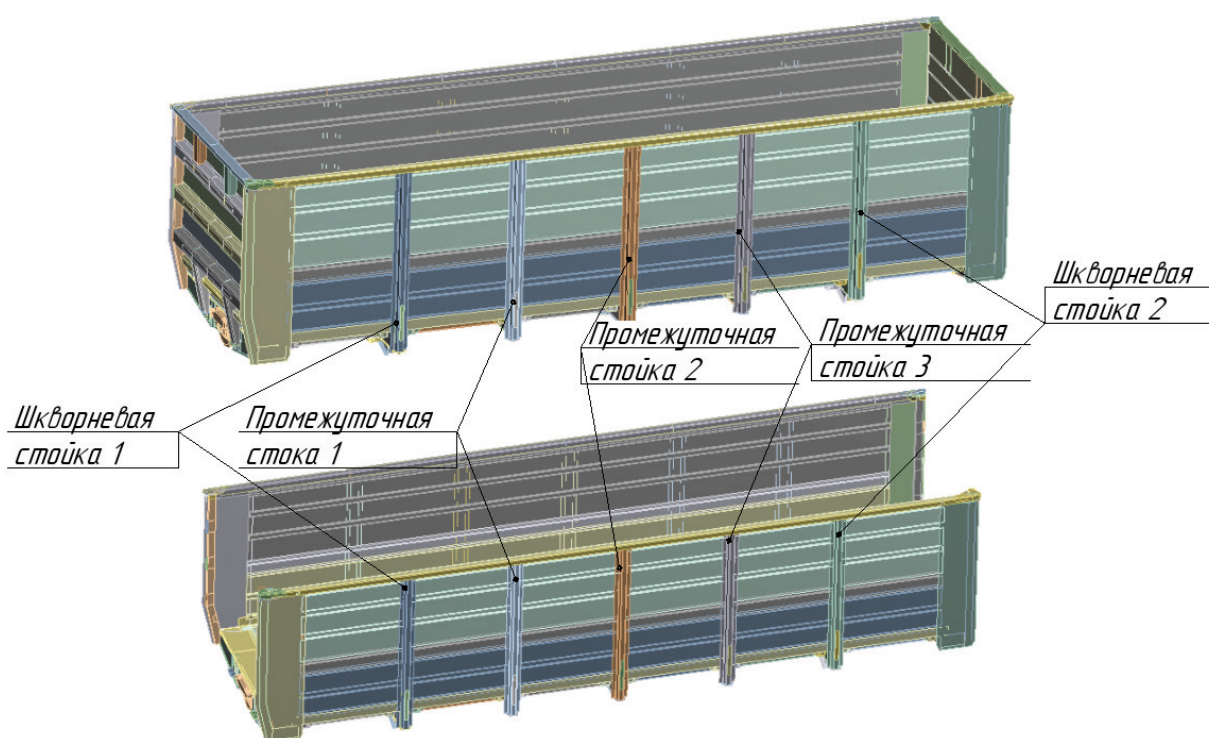


Рис. 1. Объемные твердотельные модели для расчета

Полученные результаты расчетов показали разницу в значении максимальных напряжений на внешней стороне стойки вдали от концентраторов напряжений и позволили вычислить коэффициент влияния заделки верхней обвязки и торцевых стен на напряжения в стойках (табл. 1, рис. 2, 3).

В ходе расчетов были определены коэффициенты влияния торцевых стен, которые позволяют уточнить формулу (1). При расчете были использованы наибольшие коэффициенты для промежуточных и шкворневых стоек полувагона, поскольку они рассматриваются как самый неблагоприятный случай нагружения. Эти коэффициенты отражают степень снижения или увеличения напряжений в стойках за счет взаимодействия с верхней обвязкой и торцевыми стенами.

ТАБЛИЦА 1. Эквивалентные напряжения и коэффициент влияния заделки верхней обвязки и торцевых стен

Элемент	Эквивалентные напряжения с учетом торцевых стен, МПа		Эквивалентные напряжения без учета торцевых стен, МПа		Коэффициент влияния учета торцевых стен, W	
	Новый	Серийный	Новый	Серийный	Новый	Серийный
Шкворневая стойка 1	41,935	37,477	71,624	61,779	0,585	0,607
Промежуточная стойка 1	47,293	31,131	53,251	36,549	0,888	0,852
Промежуточная стойка 2	52,222	35,829	53,679	34,637	0,973	1,034
Промежуточная стойка 3	—	35,681	—	34,510	—	1,034
Промежуточная стойка 4	46,511	31,432	52,886	36,971	0,879	0,850
Шкворневая стойка 2	43,868	39,438	73,408	63,109	0,598	0,625

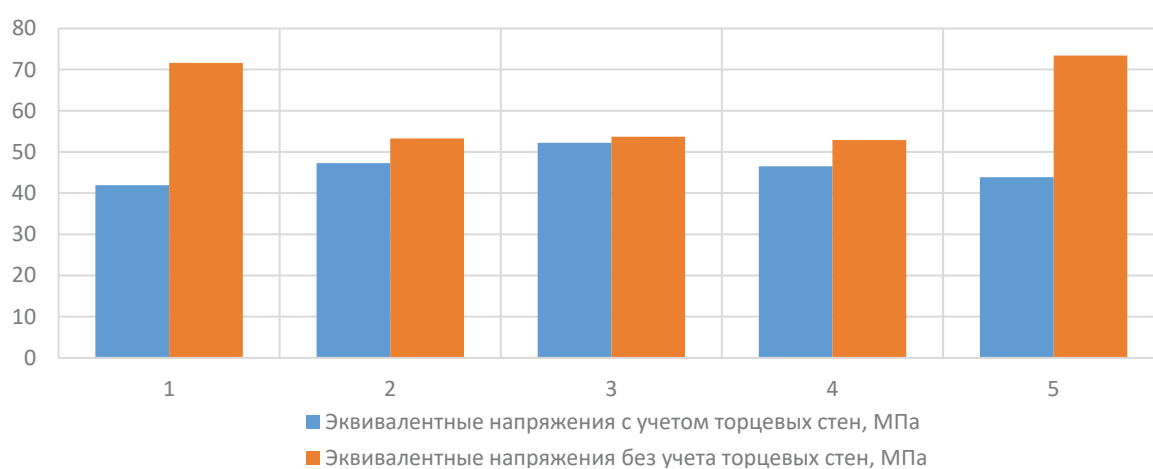


Рис. 2. Эквивалентные напряжения в стойках полувагона новой конструкции: 1 — шкворневая стойка 1; 2 — промежуточная стойка 1; 3 — промежуточная стойка 2; 4 — промежуточная стойка 4; 5 — шкворневая стойка 2



Рис. 3. Эквивалентные напряжения в стойках серийно выпускаемого полувагона: 1 — шкворневая стойка 1; 2 — промежуточная стойка 1; 3 — промежуточная стойка 2; 4 — промежуточная стойка 3; 5 — промежуточная стойка 4; 6 — шкворневая стойка 2

Сила P с учетом коэффициента W определяется по формуле (2):

$$P = \frac{qy^2}{6h}W. \quad (2)$$

Полученные результаты расчета нагрузок, действующих на стойку, приведены в табл. 2 и на рис. 4.

ТАБЛИЦА 2. Результаты расчета нагрузок на стойку

Наименование параметра	Обозначение	Значение параметра				
		шкворневая		промежуточная		
		Новый	Серийный	Новый		Серийный
				1	2	
Распределенная нагрузка на стойку, Н/м	q	28 843	25 215	26 416	26 786	22 256
Эквивалентная распорная сила, действующая на стойку при испытаниях по формуле (1), Н	P	43 529	33 251	39 866	40 242	29 349
Эквивалентная распорная сила, действующая на стойку при испытаниях по формуле (2), Н	P	26 012	20 779	35 406	39 327	30 359

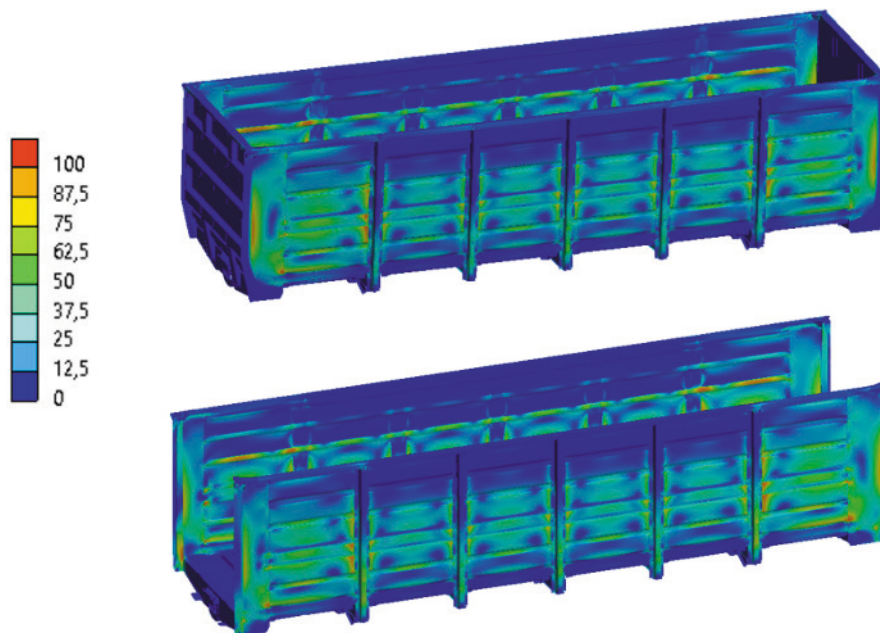


Рис. 4. Эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа

Из табл. 2 и рис. 4 следует, что учет в расчете торцевых стен значительно влияет на результат напряжений. При их наличии эквивалентная распорная сила снижается до 40 %. Наибольшее отличие в напряжениях заделки зафиксировано в шкворневых стойках, расположенных ближе всего к торцевым стенам.

Определение режимов ресурсных испытаний

Для обеспечения положительного результата при оценке ресурса узла заделки стойки необходимо, чтобы количество циклов нагружений до разрушения узлов заделки стоек новой конструкции полувагона было не ниже, чем у серийно выпускаемого полувагона. Амплитудная нагрузка цикла определяется исходя из суммарного повреждающего воздействия в эксплуатации за назначенный срок службы вагона. Усталостное повреждение за срок эксплуатации вагона складывается из двух основных видов повреждающего воздействия: распорная динамическая нагрузка и центробежная нагрузка.

Для определения амплитудной нагрузки цикла используется методика расчета, описанная в статье [9], которая применяется для свободностоящих стоек, без учета влияния других несущих элементов конструкции кузова: торцевые стены, верхняя обвязка, обшивка боковой стены. Особенностью усовершенствованной методики является учет влияния частей кузова полувагона на напряженное состояние узла заделки стойки.

В результате расчетов определено накопленное усталостное повреждение за назначенный срок службы вагона, данные представлены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. Накопленное усталостное повреждение

Узел заделки	Накопленное усталостное повреждение, кН ⁴					
	от распорной силы, $D_{\text{экспл}}^I$		от центробежной силы, $D_{\text{экспл}}^{II}$		суммарное, $D_{\text{экспл}}$	
	Нормы	ГОСТ [8]	Нормы	ГОСТ [8]	Нормы	ГОСТ [8]
Новая конструкция полувагона						
Шкворневая стойка	$4,75 \cdot 10^{10}$	$5,34 \cdot 10^{10}$	$0,41 \cdot 10^{10}$	$0,54 \cdot 10^{10}$	$5,16 \cdot 10^{10}$	$5,89 \cdot 10^{10}$
Промежуточная стойка 1	$7,87 \cdot 10^{10}$	$8,84 \cdot 10^{10}$	$1,41 \cdot 10^{10}$	$1,86 \cdot 10^{10}$	$9,27 \cdot 10^{10}$	$10,71 \cdot 10^{10}$
Промежуточная стойка 2	$11,98 \cdot 10^{10}$	$13,46 \cdot 10^{10}$	$2,14 \cdot 10^{10}$	$2,84 \cdot 10^{10}$	$14,12 \cdot 10^{10}$	$16,30 \cdot 10^{10}$
Серийно выпускаемый полувагон						
Шкворневая стойка	$1,94 \cdot 10^{10}$	$2,18 \cdot 10^{10}$	$0,22 \cdot 10^{10}$	$0,29 \cdot 10^{10}$	$2,15 \cdot 10^{10}$	$2,47 \cdot 10^{10}$
Промежуточная стойка	$4,25 \cdot 10^{10}$	$4,78 \cdot 10^{10}$	$1,00 \cdot 10^{10}$	$1,33 \cdot 10^{10}$	$5,25 \cdot 10^{10}$	$6,11 \cdot 10^{10}$

В дальнейшем при расчете эквивалентной динамической силы, приложенной к образцу, используется наибольшее из двух значений $D_{\text{экспл}}$ — то есть по ГОСТ 33211 [8], поскольку в стандарте уже пересмотрены спектры нагружения, вероятность возникновения силы и другие параметры, что позволяет более точно оценить усталостную долговечность конструкции в реальных условиях эксплуатации. При определении режима нагружения, для того чтобы все узлы были

в одинаковых условиях, количество циклов, к которому была приведена нагрузка, принималось одинаковым.

По итогам выполненных расчетов определены ключевые параметры, необходимые для проведения ресурсных испытаний и оценки долговечности конструкции. Эти параметры включают: режим нагружения для проведения ресурсных испытаний, суммарное повреждающее воздействие, количество циклов (табл. 4).

ТАБЛИЦА 4. Рекомендованные режимы нагружения стоек полувагона для испытаний

Узел заделки	Режим нагружения, кН	Количество циклов	Суммарное повреждающее воздействие, кН ⁴
Новая конструкция полувагона			
Шкворневая стойка	26,0 ± 16,2	8,5 · 10 ⁵	5,89 · 10 ¹⁰
Промежуточная стойка 1	35,4 ± 18,8		10,71 · 10 ¹⁰
Промежуточная стойка 2	39,2 ± 20,9		16,30 · 10 ¹⁰
Серийно выпускаемый полувагон			
Шкворневая стойка	20,8 ± 13,1	8,5 · 10 ⁵	2,47 · 10 ¹⁰
Промежуточная стойка	30,4 ± 16,4		6,11 · 10 ¹⁰

Результаты испытаний

Для апробации методики были проведены усталостные испытания узлов заделок промежуточных и шкворневых стоек опытного образца полувагона новой конструкции, а также узлов заделок промежуточных и шкворневых стоек серийно выпускаемого полувагона со сроком службы 32 года, который успешно эксплуатируется на путях общего пользования в настоящее время. Испытания проведены в соответствии с разработанными и утвержденными методиками на конкретный полувагон и стандартами [10], на аттестованном оборудовании с использованием проверенных средств измерений, при температуре от 20 до 22 °С, относительной влажности воздуха от 60 до 63 %, атмосферном давлении — от 94 до 97 кПа. Для последующей корректной обработки данных каждому образцу узла заделки стойки был присвоен свой идентификационный номер.

Образцы устанавливались в стенд и испытывались при асимметричном цикле нагружения до разрушения, т. е. до появления усталостной трещины (трещин), при котором поддержание режима работы стенда становится невозможным из-за значительного уменьшения жесткости образца. При испытании образцов на циклические нагрузки прикладывалась сила (рис. 5), полученная ранее в расчетах, также фиксировалось число циклов на момент выявления трещин и при разрушении образцов. Результаты испытаний представлены в табл. 5, 6.

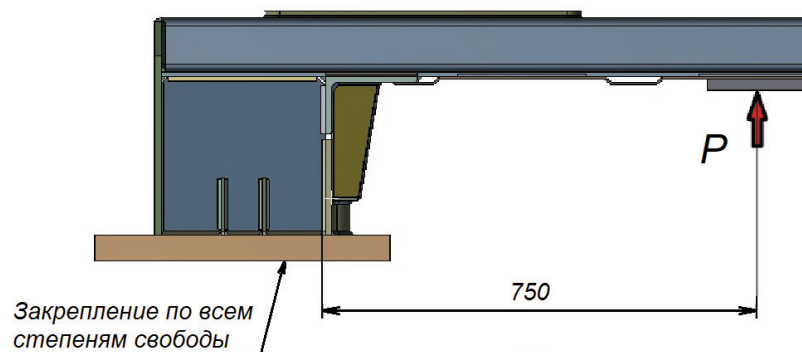


Рис. 5. Схема нагружения узлов заделок стоек

ТАБЛИЦА 5. Результаты усталостных испытаний узлов заделки стоек полувагона новой конструкции

Маркировка	Режим нагружения, кН				Количество циклов	
	P_m	P_a	P_{max}	P_{min}	До обнаружения трещины	До разрушения
Шкворневая стойка						
Ш1-6	26,0	16,2	42,2	9,8	524 700	2 030 700
Ш1-7					593 000	1 628 300
Ш1-8					506 200	1 964 400
Среднее значение					541 300	1 874 467
Промежуточная стойка 1						
П1-1	35,4	18,8	54,2	16,6	616 900	1 080 000
П1-2					572 500	960 000
П1-3					655 100	1 220 000
Среднее значение					614 833	1 086 667
Промежуточная стойка 2						
П1'-1	39,2	20,9	60,1	18,3	361 000	866 000
П1'-2					455 200	515 200
П1'-3					473 200	581 100
Среднее значение					429 800	654 100

ТАБЛИЦА 6. Результаты усталостных испытаний узлов заделки стоек серийно выпускаемого полувагона

Маркировка	Режим нагружения, тс				Количество циклов	
	P_m	P_a	P_{max}	P_{min}	До обнаружения трещины	До разрушения
Шкворневая стойка						
Ш-2	20,8	13,1	33,9	7,7	577 000	1 709 100
Ш-3					803 400	1 893 400
Ш-5					391 200	1 386 400
Среднее значение					590 533	1 662 967
Промежуточная стойка						
П-4	30,4	16,4	46,8	14,0	389 300	455 200
П-5					267 100	523 500
П-6					293 100	681 600
Среднее значение					316 500	553 433

Первая трещина (рис. 6) образуется по сварному шву в зоне приварки нижней обвязки боковой стены и накладке в каждом образце узла заделки стойки полувагонов обеих конструкций.

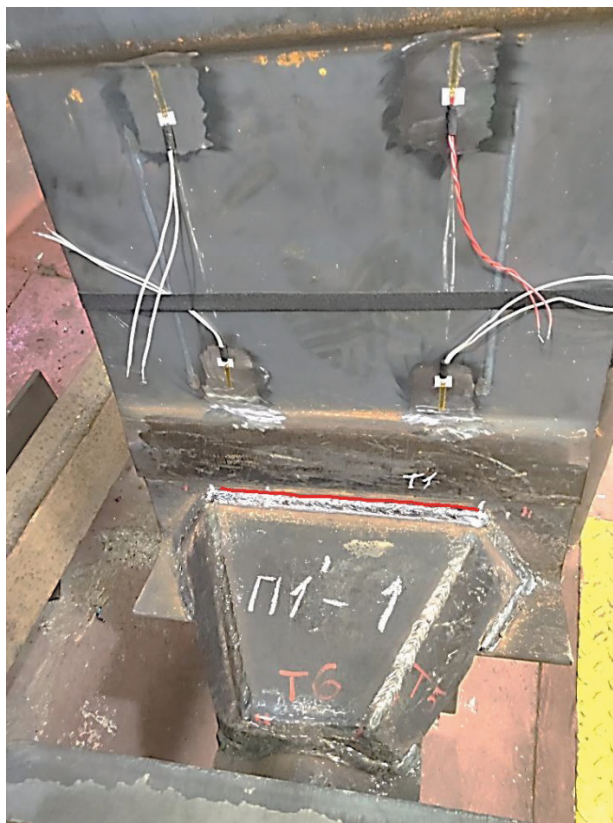


Рис. 6. Условное обозначение трещины в узле заделки стойки

Заключение

В результате испытаний установлено, что выборочное среднее значение циклов до разрушения узлов заделки стоек полувагона новой конструкции превышает среднее значение циклов до разрушения узлов заделки стоек серийно выпускаемой конструкции полувагона в диапазоне от 13 до 96 %.

Также было выявлено, что при учете торцевой стены эквивалентные напряжения в заделках стоек боковой стены изменяются следующим образом:

- в заделке шкворневых стоек реакции уменьшаются до 71 и 65 % для полувагона новой и серийно выпускаемой конструкции соответственно;
- в заделке промежуточных стоек реакции уменьшаются до 14 и 18 % для полувагона новой и серийно выпускаемой конструкции соответственно.

Разработанная методика позволила получить уточненную оценку долговечности узлов заделок стоек и оценить влияние учета заделок верхней обвязки и торцевой стены при выборе испытательных режимов нагружения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Транспорт в России. Статистический сборник. 2024: Стат. сб. / Росстат. — М., 2024. — 100 с.
2. Производство грузовых вагонов в 2024 году — Объединение вагоностроителей. — URL: <https://souzovs.com/press-center/news/proizvodstvo-gruzovykh-vagonov-v-2024-godu/> (дата обращения: 23.01.2025).
3. Битюцкий А. А. Исследование усталостной прочности заделок стоек боковой стены новой конструкции кузова полувагона / А. А. Битюцкий, А. Е. Афанасьев; под ред. А. А. Битюцкого // Сб. науч. тр.; Инженерный центр вагоностроения. — СПб.: ОМ-Пресс, 2009. — Вып. 7. — С. 62–72.
4. Битюцкий А. А. Совершенствование узла заделки стойки боковой стены полувагона модели 12-9833 по критерию усталостной прочности / А. А. Битюцкий, А. Е. Афанасьев; под ред. А. А. Битюцкого // Сб. науч. тр.; Инженерный центр вагоностроения. — СПб.: ОМ-Пресс, 2010. — Вып. 8. — С. 31–41.
5. Битюцкий А. А. Стендовые испытания на сопротивление усталости макетных узлов крытого вагона для перевозки автомобилей / А. А. Битюцкий, А. Е. Афанасьев, И. А. Хилов, В. И. Гуськов // Транспорт Российской Федерации. — СПб., 2015. — № 3(58). — С. 81–85.
6. Писаренко Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев; отв. ред. Г. С. Писаренко. — 2-е изд., перераб. и доп. — Киев: Наук. думка, 1988. — 736 с.
7. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — М.: ГосНИИВ; ВНИИЖТ, 1996. — 319 с.
8. ГОСТ 33211—2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. — М.: Стандартинформ, 2020. — 26 с.
9. Додонов А. В. Разработка и апробация методики ресурсных испытаний узла заделки стойки вагона-платформы для лесоматериалов / А. В. Додонов, А. Е. Афанасьев, А. А. Хоменко, А. А. Иванов // Транспорт Урала. — 2019. — № 1(60). — С. 45–51.
10. ГОСТ 33788—2016. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. — М.: Стандартинформ, 2016. — 42 с.

Дата поступления: 27.03.2025

Решение о публикации: 12.04.2025

Контактная информация:

АФАНАСЬЕВ Александр Евгеньевич — канд. техн. наук, руководитель испытательного центра; aae@engcenter.ru

АФАНАСЬЕВА Татьяна Анатольевна — канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры «Техносферная и экологическая безопасность»; tafanaseva@pgups.ru

ДЕРКУНОВА Дарья Михайловна — инженер; ddm@engcenter.ru

Improvement of Gondola Side Pillar Resource Testing Methodology with Respect to Test Load Determination

A. E. Afanasyev¹, T. A. Afanasyeva², D. M. Derkunova¹

¹“Testing Center for Wagon-building Products of the Rolling Stock Engineering Center” LLC, 108, Fontanka River Embankment, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation

²Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Afanasyev A. E., Afanasyeva T. A., Derkunova D. M. Improvement of Gondola Side Pillar Resource Testing Methodology with Respect to Test Load Determination. *Bulletin of scientific research results*, 2025, iss. 2, Pp. 24–35. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-2-24-35

Summary

Purpose: The existing method of the dynamic load calculation is used for free-standing pillars that are not affected by other load-bearing elements of the car body such as end walls, cant rail, side wall paneling, etc. The purpose of this work is to improve the method of resource testing of gondola car side pillars in terms of determining the test load. **Methods:** The analysis of existing methods of resource testing of gondola car pillar sealing units has been performed. To assess the stress state of the side pillars, the load on the gondola car side wall pillars has been calculated taking into account the influence of the gondola car body components on the stress state of the pillar sealing unit. The impact of the cant rail and end wall on the pillar sealing has been determined and the strength of different gondola car models has been calculated taking into account the sealing in the end wall and without it. The modelling of the gondola car strength calculation has been performed using a specialized software package in order to determine the influence of the cant rail of the end walls on the stress state of the car body. **Results:** The tests carried out demonstrated the validity of the methodology used. This methodology has confirmed that the service life of the gondola car pillar sealing units is 32 years. The tests have shown that the end walls reduce the stress placed on the sidewall pillars. **Practical significance:** The side pillar is a key element of the gondola car frame and it supports the majority of the Rankine’s loads during cargo transportation. The improved methodology is a comprehensive system of measures designed to check the reliability and durability of the structure and will ensure the gondola car safe operation.

Keywords: Gondola car, resource tests, calculation, methodology, side pillars, pillar sealing unit.

References:

1. *Transport v Rossii. Statisticheskiy sbornik. 2024: Stat. sb. Rosstat* [Transport in Russia. Statistical Digest. 2024: Stat. Coll. Rosstat]. Moscow, 2024, 100 p. (In Russian)
2. *Proizvodstvo gruzovykh vagonov v 2024 godu — Ob’edinenie vagonostroiteley* [Freight Car Production in 2024 — Association of Carriage Builders]. Available at: <https://souzovs.com/press-center/news/proizvodstvo-gruzovykh-vagonov-v-2024-godu/> (accessed: January 23, 2025). (In Russian)
3. Bityutskiy A. A., Afanas’ev A. E. Issledovanie ustalostnoy prochnosti zadelok stoek bokovoy steny novoy konstruktsii kuzova poluvagona; pod red. A. A. Bityutskogo [Study of Fatigue Strength of Side Wall Pillar Sealings of New Gondola Car Body Design; ed. by A. A. Bityutsky]. *Sb. nauch. tr.; Inzhenernyy tsentr vagonostroeniya* [Coll. of scientific papers; Carriage Building Engineering Center]. St. Petersburg: OM-Press Publ., 2009, Iss. 7, Pp. 62–72. (In Russian)

4. Bityutskiy A. A., Afanas'ev A. E. Sovershenstvovanie uzla zadelki stoyki bokovoy steny poluvagona modeli 12-9833 po kriteriyu ustalostnoy prochnosti; pod red. A. A. Bityutskogo [Improvement of the side wall pillar sealing unit of gondola car model 12-9833 based on the fatigue strength criterion; edited by A. A. Bityutsky]. *Sb. nauch. tr.; Inzhenernyy tsentr vagonostroeniya* [Coll. sci. t.; Engineering Center of Carriage Building]. St. Petersburg: OM-Press Publ., 2010, Iss. 8, Pp. 31–41. (In Russian)
5. Bityutskiy A. A., Afanas'ev A. E., Khilov I. A., Gus'kov V. I. Stendovye ispytaniya na soprotivlenie ustalosti maketnykh uzlov krytogo vagona dlya perevozki avtomobiley [Bench tests for fatigue resistance of mock-up units of a covered car for transporting cars]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation]. St. Petersburg, 2015, Iss. 3(58), Pp. 81–85. (In Russian)
6. Pisarenko G. S., Yakovlev A. P., Matveev V. V. *Spravochnik po soprotivleniyu materialov; otv. red. G. S. Pisarenko; 2-e izd., pererab. i dop.* [Handbook of Strength of Materials; 2nd ed., revised and enlarged]. Kiev: Nauk. dumka Publ., 1988, 736 p. (In Russian)
7. *Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Standards for the calculation and design of cars for the 1520 mm gauge MPS railways (non-self-propelled)]. Moscow: GosNIIV; VNIIZhT Publ., 1996, 319 p. (In Russian)
8. *GOST 33211—2014. Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam* [GOST 33211—2014. Freight cars. Requirements for strength and dynamic qualities]. Moscow: Standartinform Publ., 2020, 26 p. (In Russian)
9. Dodonov A. V., Afanas'ev A. E., Khomenko A. A., Ivanov A. A. Razrabotka i aprobatsiya metodiki resursnykh ispytaniy uzla zadelki stoyki vagona-platformy dlya lesomaterialov [Development and testing of the methodology for resource testing of the mounting unit of the pillar of a platform car for timber]. *Transport Urala* [Transport of the Urals]. 2019, Iss. 1(60), Pp. 45–51. (In Russian)
10. *GOST 33788—2016. Vagony gruzovye i passazhirskie. Metody ispytaniy na prochnost' i khodovye kachestva* [GOST 33788—2016. Freight and passenger cars. Methods of testing for strength and running qualities]. Moscow: Standartinform Publ., 2016, 42 p. (In Russian)

Received: March 27, 2025

Accepted: April 12, 2025

Author's information:

Alexander E. AFANASYEV — PhD in Engineering, Head of the Testing Center; aae@engcenter.ru

Tatyana A. AFANASYEVA — PhD in Engineering; Senior Lecturer; tafanaseva@pgups.ru

Darya M. DERKUNOVA — Engineer; ddm@engcenter.ru