

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КУЗОВА ВАГОНОВ-ХОППЕРОВ

И.А. Хилов, младший научный сотрудник ООО «ИЦ ВС»,

**А.Е. Афанасьев, заместитель руководителя отдела ООО «ИЦ ВС»,
канд. техн. наук**

В последние годы различными вагоностроительными организациями проводятся работы по созданию новых моделей вагонов-хoppers для перевозки зерна, минеральных удобрений и других сыпучих грузов, требующих защиты от атмосферных осадков. Это вызвано тем, что по состоянию на 2010 г. в России данный тип подвижного состава существенно устарел. У порядка 80% парка срок службы составлял более 20 лет при назначенном сроке 26—32 года в зависимости от типа груза [1]. Кроме того, с 1960—1970-х годов, когда были разработаны первые массовые модели вагонов-хoppers, изменились структура перевозимых грузов, условия их транспортировки, требования, предъявляемые грузом к вагону, а также нормативная база.

Несущие конструкции вагонов-хoppers, находящиеся сегодня в эксплуатации, характеризуются достаточной надежностью. Это обусловлено тем, что при их создании был выполнен большой объем расчетно-экспериментальных исследований и многократно совершенствовалась технология изготовления. Разработка новых грузовых вагонов неизбежно сопровождается созданием новых узлов соединения различных элементов, которые до этого не обрабатывались в условиях массового производства. В связи с этим в процессе постановки на производство вагонов новой конструкции актуальной задачей является разработка вновь создаваемых узлов на этапе проведения расчетов, испытаний, а также опытной эксплуатации.

Необходимо отметить, что зачастую конструкции новых вагонов, успешно прошедших предварительные испытания, получают повреждения в первые же месяцы эксплуатации. Это происходит по нескольким причинам: использование конструкторских решений, о которых нет достоверных данных из эксплуатации, отсутствие информации о реальных эксплуатационных нагрузках, несвершенное технологии сборки.

Подобная ситуация возникла, например, в процессе эксплуатации опытной партии вагонов-хoppers модели 19-3116-04 (далее — вагон), предназначенных для перевозки минеральных удобрений и кальцинированной соды (рис. 1). Конструкция кузова нового вагона имеет следующие отличия от традиционной: цилиндрическая форма боковых стенок, конфигурация и расположение силовых раскосов, консольная часть вагона в целом, а также увеличенный угол наклона торцевых стенок.

По истечении одного года эксплуатации в конструкции кузова вагона были выявлены трещины в узле соединения крайних стоек боковой стены с горизонтальной балкой торцевой стены (рис. 2). Кроме того, в элементах консольной части рамы были зафиксированы остаточные деформации.

По результатам опытной эксплуатации в Инженерном центре вагоностроения (ООО «ИЦ ВС», г. Санкт-Петербург) был выполнен комплекс работ по совершенствованию конструкции кузова данного вагона. Исследования проводились в несколько этапов и включали

в себя расчеты прочности и сопротивление усталости, формирование и выбор вариантов совершенствованной конструкции кузова, комплекс испытаний вагона и последующую эксплуатацию.

На первом этапе была выполнена углубленная оценка прочности и сопротивления усталости начальной конструкции кузова вагона с помощью метода конечных элементов (далее — МКЭ). По продолжительности опытной эксплуатации до получения трещин в конструкции был рассчитан общий коэффициент снижения предела выносливости для узла соединения балки боковой и торцевой стенок, который был использован для проведения углубленных расчетов. В среднем он составил 6—7.

Для проведения расчетов была разработана расчетная модель кузова вагона, учитывающая наличие сварных швов в новых узлах соединения элементов. Сна была сформирована из пластинчатых восьмиугольных конечных элементов. Ввиду того, что конструкция вагона представляет собой балочные элементы, использование пластинчатых конечных элементов обесценило необходимую точность расчетов.

Были рассмотрены для расчетов случаи согласно Нормам для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходный) [2] (далее — Нормы): ударная нагрузка 3,5 МН и вертикальная статическая нагрузка. При действии ударной нагрузки в расчетной модели вагона были учтены следующие нагрузки: сила удара $F_{уд}$ в автосцепное устройство 3,5 МН; сила



Рис. 1. Общий вид вагона-хопера модели 19-3116-04, получившего повреждения



Рис. 2. Трещина в узле соединения стойки боковой стены с горизонтальной балкой торцевой стены

инерции кузова $F_{\text{ин.куз}}$, сила инерции груза $F_{\text{ин.гру}}$, сила инерции тележек $F_{\text{ин.тел}}$. При действии вертикальной статической нагрузки — нагрузка от веса груза, расстора груза и веса конструкции.

По результатам опытной эксплуатации, а также выполненных уточненных расчетов были определены элементы конструкции кузова, нуждающиеся в доработке. Недостаточные показатели прочности были зафиксированы в элементах консольной части рамы при действии ударной нагрузки. Кроме того, показатели сопротивления устойчивости в узле соединения крайней стойки боковой торцевой стены с горизонтальной балкой торцевой стены были значительно ниже минимально допустимого Нормами.

Причиной недостаточного коэффициента запаса сопротивления устойчивости являлся высокий уровень напряжений при действии вертикальной статической нагрузки. Зоны, требующие доработки (рис. 3), представлены на рисунках напряженно-деформированного состояния консольной части рамы и системы опорной торцевой стены на раму начальной конструкции при действии описанных выше нагрузок.

На следующем этапе были выполнены расчетные исследования по совершенствованию конструкции кузова, которые проводились на основе МКЭ с использованием расчетных схем, ранее апробированных при создании новых конструкций вагонов (3). Работы выполнялись в два этапа: доработка консольной части рамы и доработка системы опорной торцевой стены на раму.

При анализе разработанных вариантов совершенствования конструкции кузова были приняты следующие критерии (4): снижение напряжений в элементах конструкции до требуемого уровня и уменьшение концентрации напряжений в отдельных элементах и узлах конструкции. При этом основными ограничениями являлись сохранение предельного значения массы кузова, а также использование конструкторских решений, не усложняющих технологию изготовления.

Совершенствование консольной части рамы было проведено при действии ударной нагрузки 3,5 МН. По результатам анализа напряжений, а также остаточных деформаций были определены элементы консольной части рамы вагона, нуждающиеся в доработке: шварцевая и консольная балки в зоне их соединения, раскосы рамы и боковые балки в месте их соединения со шварцевой.

В результате анализа напряженно-деформированного состояния конструкции вагона, а также с использованием опыта расчета других вагонов безрамных конструкций было сделано заключение о том, что передача нагрузки в их консольных частях в значительной степени зависит от схемы расположения балок. Предварительная оценка характера деформирования элементов консольной части рамы и уровня напряжений в ней показала, что один из элементов перегружен, а другие принимают незначительное участие в передаче нагрузки, что неблагоприятно сказыва-

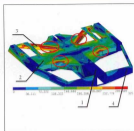


Рис. 3.0. Напряженно-деформированное состояние элемента конструкции при действии ударной нагрузки 3,5 МН.

1 — консольная балка; 2 — шварцевая балка; 3 — раскосы; 4 — лобовая балка

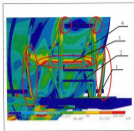


Рис. 3.5. Напряженно-деформированное состояние элемента конструкции при действии вертикальной статической нагрузки.

1 — крайняя стойка боковой стены; 2 — подкос; 3 — горизонтальная балка торцевой стены; 4 — раскос

Варианты усиления консольной части рамы

Таблица 1

№ вар.	Вид конструкции	Элементы конструкции
		1 — консольная балка; 2 — боковая балка; 3 — шварцевая балка; 4 — лобовая балка; 5 — раскос рамы; 6, 7, 8, 9 — усиливающие косынки; 10 — усиливающая планка
1		<ul style="list-style-type: none"> ✓ исключены позиции 8 — 10 начальной конструкции; ✓ видены сплошные листы (поз. 1); ✓ усилены косынки (поз. 2) Снижение массы — 7 кг
2		<ul style="list-style-type: none"> ✓ исключены позиции 8 — 10 начальной конструкции; ✓ изменено расположение раскосов (поз. 5); ✓ видены усиливающие ребра в местах соединения раскосов рамы и шварцевой балки (поз. 2) Снижение массы — 140 кг
3		<ul style="list-style-type: none"> ✓ исключены позиции 8 — 10 начальной конструкции; ✓ изменено расположение раскосов (поз. 5); ✓ увеличена толщина раскосов (поз. 5); ✓ видены усиливающие ребра большей толщиной в местах соединения раскосов рамы и шварцевой балки (поз. 2); ✓ изменена конфигурация нижнего листа шварцевой балки (поз. 3) Снижение массы — 140 кг
4		<ul style="list-style-type: none"> ✓ исключены позиции 7 — 10 начальной конструкции; ✓ изменено расположение раскосов (поз. 5); ✓ увеличена толщина раскосов (поз. 5); ✓ видены усиливающие ребра большей толщиной в местах соединения раскосов рамы и шварцевой балки (поз. 2); ✓ изменена конфигурация верхнего и нижнего листов шварцевой балки (поз. 3); ✓ добавлены два ребра между нижним и верхним листами шварцевой балки (поз. 4); ✓ добавлены усиливающие косынки в зоне соединения раскосов рамы с лобовой балкой (поз. 6) Снижение массы — 140 кг

ется на общей картине напряженно-деформированного состояния.

Поэтому для обеспечения требуемых показателей прочности в данных элементах в ходе проведения расчетных исследований требовалось снизить в них уровень напряжений на 15 — 35%. Для этого были последовательно сформированы и проанализированы несколько вариантов усиления консольной части рамы (табл. 1), чтобы определить наиболее рациональную конструкцию. При этом были рассмотрены следующие изменения конструкции: исключение деталей, расположение раскосов, введение дополнительных элементов, конфигурация верхней и нижней листов шкворневой балки, геометрические параметры сечений элементов.

По результатам расчетов были сделаны следующие выводы:

- ✓ напряжения в элементах консольной части рамы вариантов №1 и 4 снижены до необходимого уровня;
- ✓ вариант №4 обеспечил более равномерное распределение напряжений по элементам и узлам;
- ✓ масса консольной части вагона при модернизации по варианту №4 на 173 кг меньше, чем по варианту №1.

Таким образом, в качестве основного варианта совершенствования конструкции был выбран вариант №4. При анализе напряженно-деформированного состояния консольной части рамы было установлено, что напряжения в раскосах были снижены на 25%, а в боковых балках и в зоне соеденения шкворневой и консольной балок — более чем на 40% (рис. 4).

Далее была выполнена совершенствование системы опирания торцевой стены на раму вагона. По результатам проведенных на первом этапе утонченных расчетов было установлено, что для обеспечения требуемых показателей сопротивления устойчивости рассматриваемого узла необходимо снизить уровень напряжений в данной зоне на менее чем на 35 — 40% при действии вертикальной статической нагрузки.

Анализ напряженно-деформированного состояния исходной конструкции вагона с использованием опило расчетов дублики вагона-хoppers показал, что передача основной части вертикальной статической нагрузки на систему опирания производится через боковые стенки. В связи с этим был сделан вывод о том, что жесткость крайних стоек боковой стены недостаточна для передачи вертикальной нагрузки на консольную часть рамы вагона. Кроме того, различные показатели жесткости боковой и шкворневой балок, на которые, соответственно, опирается стойка боковой стены и подкосы, приводят к различным перемещениям по длине горизонтальной балки торцевой стены, что неблагоприятно сказывается на общей картине напряженно-деформированного состояния системы опирания.

Учитывая это, были разработаны два варианта системы опирания торцевой стены (табл. 2). В их основу положено изменение количества подкосов, а также

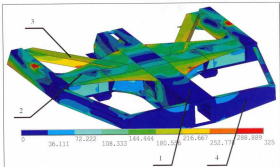


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние доработанной консольной части рамы при действии ударной нагрузки 3,5 МН, МПа

1 — консольная балка; 2 — шкворневая балка; 3 — раскосы; 4 — лобовая балка

Таблица 2

Варианты совершенствования системы опирания торцевой стены

№ вар.	Вариант конструкции	Внесенные изменения
Начальная конструкция		—
1		<ul style="list-style-type: none"> ✓ удалена часть крайних стоек боковой стены между боковой и горизонтальной балкой торцевой стены; ✓ добавлены подкосы, опирающиеся на боковые балки в районе шкворневой балки
2		<ul style="list-style-type: none"> ✓ удалена часть крайних стоек боковой стены между боковой и горизонтальной балкой торцевой стены; ✓ добавлены наклонные подкосы, опирающиеся на шкворневые балки в районе опирания оставшихся подкосов и раскосов

мест их опирания на раму. При формировании конструктивной схемы системы опирания вновь вводимые в конструкцию элементы были максимально унифицированы с уже установленными в начальной конструкции вагона, чтобы снизить затраты на его производство.

В результате выполненной оценки эффективности внесенных изменений было установлено, что наклонные крайние подкосы в боковой стене позволили снизить напряжения в рассматриваемой зоне, поскольку они опираются в ту же

точку шкворневой балки, что и остальные элементы системы опирания. Это позволило добиться равномерного перемещения всех подкосов, раскосов и горизонтальной балки торцевой стены. Исходя из вышесказанного, конструктивная схема с наклонными крайними подкосами была принята за основу.

После выбора конструктивной схемы были определены параметры основных элементов системы опирания с целью более равномерного распределения напряжений, а также оптимизации мас-

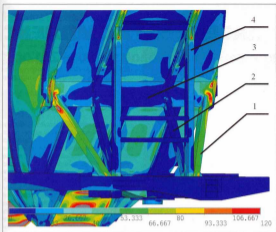


рис. 5. Напряженно-деформированное состояние доработанной системы опирания при действии вертикальной статической нагрузки, МПа:
1 — крайний наклонный подкос; 2 — средний подкос; 3 — горизонтальная балка торцевой стены; 4 — раскос

своих характеристики конструкции. Для этого была разработана обобщенная параметрическая модель системы опирания торцевой стены, включающая основные параметры подкосов (высота и ширина сечения профиля, толщина проката), влияющие на показатели сопротивления усталости и массу конструкции, которые послужили основными критериями для ее модернизации.

Геометрические размеры подкосов определялись по схеме итерационного метода наименьшего сдвига (5). Для локального увеличения жесткости узла соединения крайнего наклонного подкоса с горизонтальной балкой торцевой стены в конструкцию были введены приварные накладки. Выполненные изменения конструкции позволили снизить уровень напряжений в узле соединения балки боковой и торцевой стен более чем на 40% (рис. 5).

На третьем этапе работ были проведены нормативные расчеты вагона с доработанной конструкцией кузова. Кроме того, для подтверждения результатов расчетных исследований специалисты Испытательного центра выполнили комплекс испытаний по традиционной методике, успешно апробированной в течение многих лет (6). Результаты расчетов и испытаний показали соответствие вагона требованиям Норм и НБ ЖТ ЦВ Д1-98 (7), в том числе по показателям прочности и сопротивления усталости.

Для оценки достоверности выполненных работ был проведен сравнительный анализ результатов испытаний и расчетов по разработанной методике. На его основе установлено, что в наиболее нагруженных участках конструкции расхождение результатов не превышало

10 — 15%, что связано с идеализацией модели и сдвигами ее численного решения (~10%), а также погрешностью измерений при испытаниях (3 — 5%). Полученные результаты расчетов и испытаний подтвердили достоверность расчетной модели кузова вагона.

После проведения работ по совершенствованию конструкции кузова вагона и выполнения комплекса испытаний вагоны поступили в эксплуатацию. На сегодняшний день они находятся на сети уже более трех лет, рекламаций и замечаний от эксплуатирующих организаций нет.

Таким образом, резюмируя, можно сделать следующие заключения:

➤ выполнен комплекс работ по совершенствованию конструкции кузова

вагона-коптера без хребтовой балки с цилиндрической формой боковых стенок и увеличенным углом наклона торцевых стен;

➤ в результате разработаны усовершенствованные конструкции консольной части рамы и системы опирания торцевой стены на раму вагона, обеспечивающие необходимые показатели прочности и сопротивления усталости;

➤ разработанные конструкции внедрены при проектировании вагонов-коптеров модели 19-3116-04, которые успешно зарекомендовали себя в эксплуатации в течение более трех лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технико-экономическое обоснование вагона-коптера для перевозки зерна с кузовом из алюминиевого сплава: отчет о НИР / ООО «Ижевский центр вагоностроения»; ул. Белой А.А., р-н. Федоров С.А. — СПб., 2010. — 109 с.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС (включая немасштабных). — М.: ГосНИИИ-ВНИИЖТ, 1996. — 317 с.
3. Белоцер А.А. Анализ развития методов оценки устойчивой прочности несущих конструкций грузовых вагонов / А.А. Белоцер // Исследование устойчивой прочности узлов и выбор параметров новых грузовых вагонов: сб. науч. тр. / под ред. А.А. Белоцера; Ижевский центр вагоностроения. — СПб., 2009. — Вып. 7. — С. 6 — 13.
4. Расчетная оценка выбора параметров консольной части кузова по критериям статической и устойчивой прочности: отчет о НИР / ООО «Ижевский центр вагоностроения»; ул. Белой А.А., р-н. Кав. К.В. — СПб., 2006. — 236 с.
5. Лобинев Ф.Ю. Оптимизация несущих конструкций кузова вагона / Ф.Ю. Лобинев. — Брянск: ЦНТИ, 1997. — 136 с.
6. Афанасьев Е.В. Исполнение продукции вагоностроения в испытательном центре ижевского центра / Е.В. Афанасьев // Совершенствование методов испытаний и диагностики грузовых вагонов: сб. науч. тр. / под ред. А.А. Белоцера; Ижевский центр вагоностроения. — СПб., 2007. — Вып. 2. — С. 15 — 26.
7. Вагоны грузовые железнодорожные. Нормы безопасности: НБ ЖТ ЦВ Д1-98 (правила и методы в действии) изданием МПС России № 935у от 07.08.1998. ВНИИЖТ МПС России. — М.: МПС России, 1998. — 24 с.

ПГК: РОСТ ОБЪЕМОВ ПЕРЕВОЗОК

За шесть месяцев 2012 г. объем перевозок грузов на сети РЖД в вагонах, находящихся в самостоятельном управлении ОАО «Первая грузовая компания» (ПГК), вырос в 2,5 раза по сравнению с аналогичным периодом прошлого года и составил 134 млн. т. Грузооборот компании на сети РЖД увеличился почти в 2 раза и составил 160,7 млн. т.км.

Увеличение объемов произошло в результате перевода ПГК с февраля 2012 г. к самостоятельному управлению парком полувагонов, ранее использовавшихся ОАО «РЖД» в рамках агентского соглашения, а также в связи с расширением клиентского портфеля компании.

Среди основных групп грузов объемы перевозки каменного угля составили 44 млн. т, нефти и нефтепродуктов — 31,7 млн. т, руды — 53,5 млн. т, строительных грузов — 11,7 млн. т, цемента — более 11 млн. т, черных металлов — 5,8 млн. т.

Уровень маршрутизации перевозок в полувагонах в III квартале 2012 г. составил 73% в цистернах — 35%. Логистические схемы ПГК направлены на исключение встречных парокных вагонопотоков и снижение нагрузки на инфраструктуру железных дорог.

По материалам Управления корпоративных коммуникаций ОАО «ПГК» www.pgkweb.ru