

Сочлененные вагоны-платформы длиной 80 футов: особенности проектирования по нормативам Евросоюза

А.С. Кононенко,
главный конструктор – руководитель отдела платформы ООО «Всесоюзный научно-исследовательский центр транспортных технологий» (ВНИЦТТ)

Д.В. Шевченко,
к.т.н., директор научно-исследовательской дирекции ВНИЦТТ

С.А. Брусенцов,
ведущий инженер – исследователь научно-исследовательской дирекции ВНИЦТТ

В 2017 году ПАО «НПК ОВК» (ОВК) приступило к реализации экспортной стратегии по выходу на новый для отечественного вагоностроителя рынок Европы. Первым заказчиком выступил немецкий национальный перевозчик Deutsche Bahn (DB), зарекомендовавший себя своими жесткими требованиями к качеству и безопасности приобретаемой продукции. Пилотным проектом стала платформа сочлененного типа для перевозки контейнеров и съемных кузовов типа Sggrs 80' – наиболее востребованный вагон на пространстве колеи 1435 мм. Для выполнения заказа специалисты ВНИЦТТ разработали такую конструкцию платформы, которая удовлетворяет всем нормативам ЕС и при этом адаптирована для производства на российском предприятии.

Требования ЕС

На 2020 год доля железнодорожных грузовых перевозок в странах ЕС составляла всего 18%. Во многом этому способствуют сравнительно короткие плечи перевозок, что в свою очередь порождает конкуренцию с автомобильным транспортом и во многих случаях его преимущество. Однако в связи с ужесточением экологических требований, а также за счет глобальной контейнеризации грузов европейский грузопоток все больше смещается в сторону железнодорожных перевозок. В текущих условиях рост грузооборота на железнодорожном транспорте прогнозируется на уровне 1,6% в год. В наибольшей степени это относится к Германии, обладающей самым большим в Европе парком вагонов, где в дополнение к экологии ситуация с перегруженными автобанами, подверженными значительным износам от грузового движения, подталкивает правительство к принятию дополнительных мер к стимулированию развития железнодорожных перевозок. При общем парке ЕС в 728 тыс. вагонов (на 2018 год) потребность рынка может оцениваться порядка 10 тыс. ед. в год (без учета выбытия вагонов вслед-

ствие списания старого парка). В европейском подходе наиболее распространенными решениями для увеличения эффективности грузовых перевозок являются повышение погонной нагрузки за счет увеличения количества осей в сочлененных вагонах либо применение многоосных тележек, а также снижение расходов на приобретение и содержание парка. Фитинговая платформа для перевозки контейнеров и съемных кузовов – наиболее универсальный тип подвижного состава на пространстве колеи 1435 мм, так как может использоваться для различных номенклатурных групп грузов и при этом достаточно проста в погрузо-разгрузочных операциях. Сочлененная платформа обладает улучшенными техническими характеристиками по сравнению с двух- и четырехосными вагонами, поэтому получает все более широкое распространение.

При разработке такого вагона для производства на российском предприятии было необходимо учесть особенности проектирования, расчетов и испытаний подвижного состава по нормативам Technical Specification for Interoperability (TSI)¹ [1],

¹ Technical Specification for Interoperability (TSI) – свод нормативных документов, обеспечивающих технические характеристики эксплуатационной совместимости на европейских железных дорогах.

а также дополнительные требования по внутренним стандартам DB. Потребовалось проведение подробного анализа вагонов-аналогов, имеющих на рынке, для поиска путей улучшения конструкции. Другая особенность связана с нетиповой по сравнению с вагонами колеи 1520 мм конструкцией основных узлов вагонов: ходовых частей,

цепного устройства, тормозной системы, рамы, фитинговых упоров. Выпускаемая продукция в части разработки, расчетов, испытаний, системы менеджмента и контроля качества на всех этапах должна была соответствовать стандартам таких систем как ISO, EN ISO, EN, UIC, DIN, DIN EN, DBS, BS, BS EN, DVS и т.д.

Различия конструкций платформы

В конструкции платформы Sggrs 80', в отличие от вагонов колеи 1520 мм, применяются винтовые стяжки и буферы, сварные тележки со сферическим пятником (входит в состав тележки Y25) и подпятником, тормозная система с приборами по европейским стандартам и с двухсторонним нажатием колодок, рама с несущими боковыми балками и двухшарнирный узел соединения двух рам над средней тележкой. Общий вид платформы показан на рисунке 1. Ключевые преимущества разработки

инженеров ВНИЦТТ перед большинством европейских аналогов – увеличенная до 108 т грузоподъемность и конструкция, оптимизированная для снижения производственных затрат. Платформа предназначена для перевозки контейнеров и съемных кузовов длиной 20, 30 и 40 футов с массой брутто до 40 т. Основные различия конструкции вагонов-платформ для колеи 1435 мм и 1520 мм приведены в таблице 1. Общий вид Sggrs 80' и основных узлов показан на рисунке 2.



Рис. 1. Платформа Sggrs 80' на выставке Innotrans 2018 в Берлине

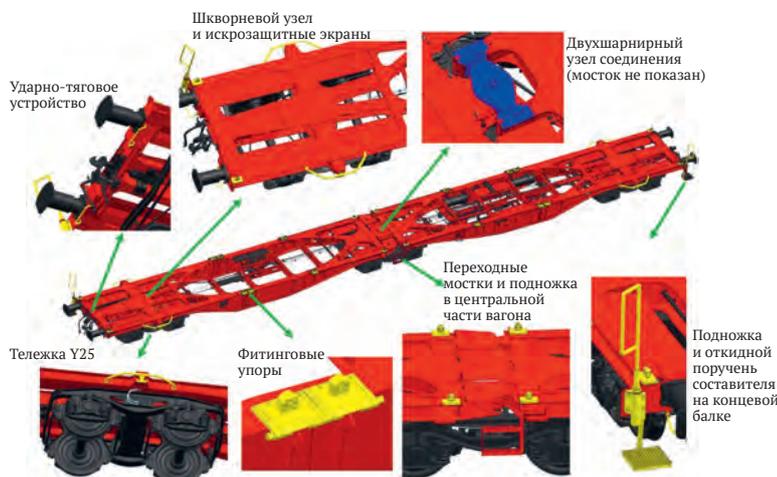


Рис. 2. Общий вид платформы Sggrs 80' и основных элементов конструкции

Применение российского опыта

Ряд конструктивных особенностей вагонов-аналогов продиктован в том числе технологическими возможностями и сложившимися подходами европейского производства. Конструкция основных элементов, технология сборки и сварки разработанного инженерами ВНИЦТТ вагона адаптирована с учетом опыта отечественного вагоностро-

ения для более рационального производства на российском предприятии. Здесь можно выделить основные отличия:

- изменение раскроя полок и стенок балок с целью исключения сварных швов в нагруженных зонах и уменьшения их количества. Как следствие, не только улучшаются прочностные (снижается ко-

- личество концентраторов напряжений, особенно в нагруженных зонах) и геометрические (уменьшаются сварочные деформации, увеличивается точность готовой рамы) характеристики рамы, но и сокращается время на подготовку кромок под сварку, сварочные работы и проведение неразрушающего контроля;
- изменение конструкции соединения балок в части введения конфигурации

- листов в зоне сварного соединения, обеспечивающей вывод сварного шва в наименее нагруженную зону (рис. 3а);
- преобразование конструкции балок в части функционального изменения основного несущего элемента в узлах рамы. В качестве примера можно привести шкворневой узел (рис. 3б). Так, в вагонах-аналогах основной несущей балкой этого узла является шкворневая балка,

Табл. 1. Различия конструкции платформ для колеи 1435 мм и 1520 мм

Наименование элемента / параметра	Платформа колеи 1435 мм	Платформа колеи 1520 мм	К чему приводит отличие	Причина отличия (источник требования)
Схема рамы	Конструкция без хребтовой балки, с несущими боковыми балками	Конструкция с несущей хребтовой балкой (преимущественно)	Изменение технологии сборки	Оптимальная схема при использовании буферов и сцепки
Сварные швы стыковки балок друг с другом	Стыковые и тавровые с полным проплавлением (с обязательной разделкой кромок)	Стыковые и тавровые с полным и неполным проплавлением, нахлесточные	Увеличение усталостной прочности и трудоемкости подготовки к сварке	Обеспечение усталостной прочности при пониженной массе тары
Погрузочная высота	Не более 1 175 мм	Около 1 350 мм	Балки консольной части рамы низкого сечения, высокая точность изготовления рамы	Вписывание контейнеров в ограниченные по высоте европейские габариты
Требования к комплектации	Винтовая стяжка, буферы, тормозная система с приборами по европейским стандартам	Автосцепное устройство, тормозная система с приборами по стандартам пространства 1520	Разунификация, изменение конструкции и технологии сборки	Требования стандартов, инфраструктуры и заказчика
Подножки и поручни составителя	Подножки составителя со складными поручнями	Подножки составителя со стационарно установленными поручнями	Предотвращение повреждения поручня, выступающего над погрузочной поверхностью, при проведении погрузо-разгрузочных работ	Требование стандартов
Узел соединения	Двухшарнирный узел соединения двух секций рамы	Одношарнирный узел сочленения двух секций рамы	–	Требования стандартов
Дополнительные элементы	Искрозащитные экраны, защита приборов тормозного оборудования от осадков, переходные мостки, подножки в центре вагона	–	Усложнение и удорожание конструкции	Требования стандартов и заказчика
Точность изготовления	В соответствии с требованиями европейских стандартов	В соответствии с требованиями российских стандартов	Увеличение трудоемкости изготовления и сборки	Требования стандартов и заказчика
Окраска и маркировка	В соответствии с требованиями европейских стандартов. Требования к вандалостойкости краски. Увеличенная толщина покрытия	В соответствии с требованиями российских стандартов	Значительное увеличение трудоемкости и расхода материалов	Требования стандартов и заказчика

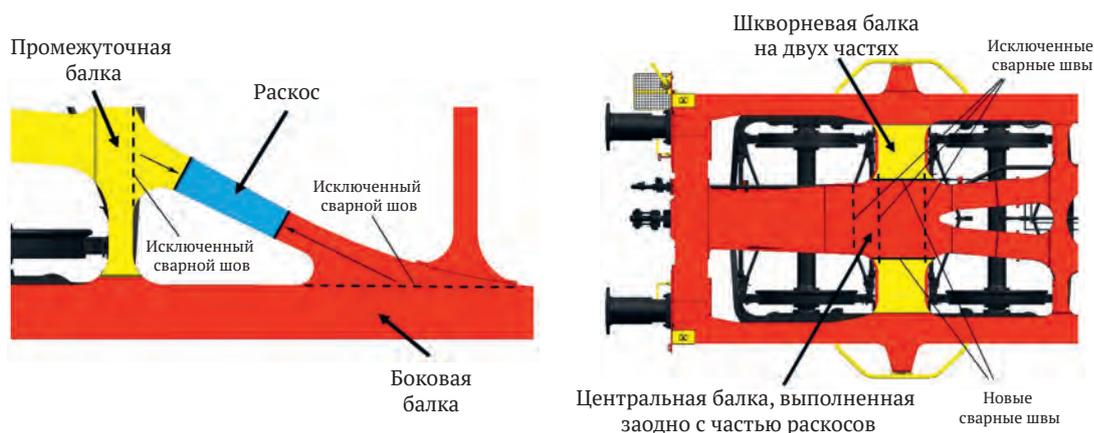


Рис. 3. Основные отличия конструкции платформы от европейских аналогов: а) соединение раскоса с боковой и промежуточной балками; б) шкворневой узел

к которой пристыковывается центральная балка и раскосы. В разработанной платформе центральная балка выполнена заодно с частями раскосов, к ней с двух сторон стыкуется шкворневая балка. Это позволило исключить несколько высоконагруженных швов, значительно улучшив прочностные характеристики узла, а также собираемость конструкции;

- применение сварных швов преимущественно с V-образной разделкой кромок листов вместо X-образной разделки. Это увеличивает количество наплавленного металла и тепловые вложения в металл сварного шва и околошовной зоны, но в то же время значительно снижает трудоемкость подготовки деталей к сварке.

Проведение расчетов

Расчет прочности платформы проводится в соответствии с нормативными документами [2-4], согласно которым вагоны делятся на две категории, отличающиеся различными расчетными режимами и уровнями нагрузок: FI – вагоны подлежат роспуску с сортировочной горки, FII – не подлежат. Разработанный вагон относится к категории FII, которая предусматривает действие растягивающих и сжимающих нагрузок, в частности прикладываемых к диагонально расположенным буферам, а также ниже оси буфера и не предусматривает действие ударных и рывковых нагрузок. Расчет ремонтных режимов проводится с учетом веса тележек, что связано с особенностью крепления тележки к раме вагона.

Платформа предназначена для перевозки 20-, 30-, 40-футовых контейнеров в различных комбинациях, всего есть 30 вариантов размещения (рис. 4).

В процессе эксплуатации на вагон действуют продольные нагрузки на буферы или передние упоры и вертикальные нагрузки на фитинговые упоры. Продольные нагруз-

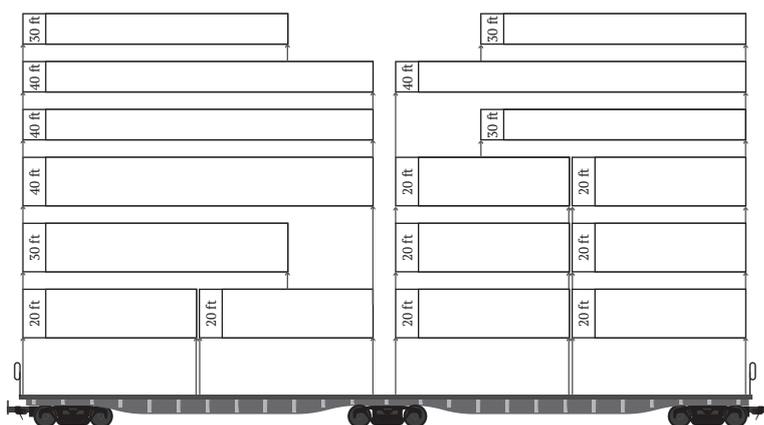


Рис. 4. Основные схемы погрузки вагона-платформы

ки на платформу представлены тремя нагрузками сжатия (1 200 кН, 900 кН, 800 кН) и одной растяжения (1 500 кН). В нормативных документах ЕС [2-3], в отличие от российских стандартов, отсутствуют расчетные режимы, регламентирующие соударения вагонов, однако испытания на соударения проводятся. Поэтому дополнительно рассматривается случай соударения вагонов: в рас-

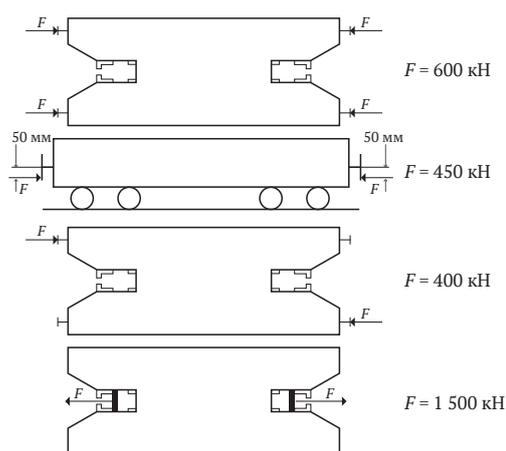


Рис. 5. Схема продольных нагрузок, действующих на вагон

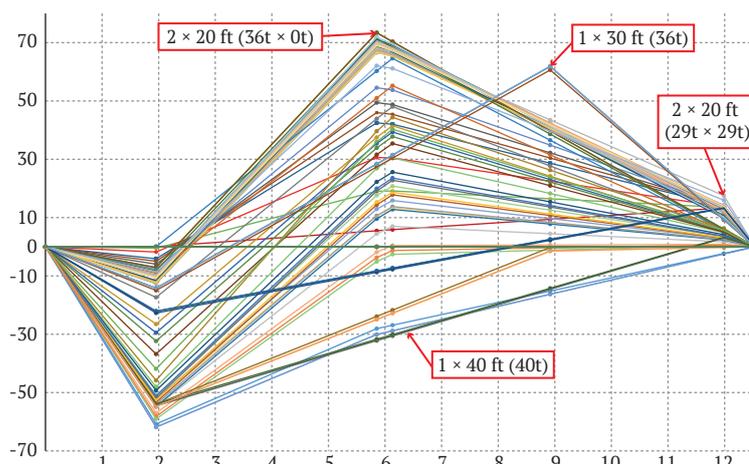


Рис. 6. Изгибающие моменты для секции вагона при различных вариантах загрузки грузными контейнерами

четной модели сила удара рассматривается как квазистатическая и на буферы прикладывается эквивалентная сила сжатия 1 800 кН. На рисунке 5 представлены схемы приложения продольных нагрузок [2].

Вертикальные нагрузки на фитинговые упоры вызваны силой тяжести грузных контейнеров. Дополнительно на них действуют вертикальные усилия от продольной инерции контейнеров, возникающие при соударении вагонов. С учетом этих усилий количество возможных вариантов загрузки вертикальными силами равняется 66. Количество вариантов схем нагружения с учетом продольных нагрузок составляет 330.

Чтобы уменьшить количество вариантов схем нагружения, в расчете выбраны наихудшие с точки зрения статической и усталостной прочности. Для всех возможных вариантов вертикальной нагрузки построены эпюры изгибающих моментов. На рисунке 6 представлены распределения изгибающих моментов для секции вагона при различных вариантах загрузки.

Анализ эпюр изгибающих моментов позволяет выделить два наихудших случая загрузки вагона контейнерами (рис. 7):

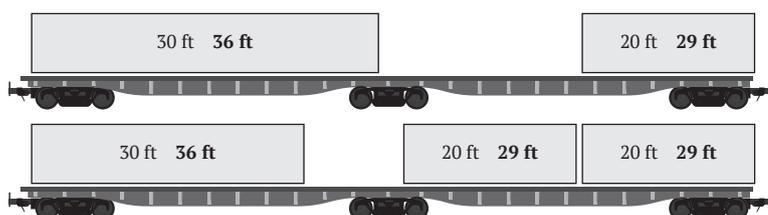


Рис. 7. Наихудшие варианты загрузки с точки зрения прочности рамы вагона

- для консольной части: один контейнер 40 фт массой 40 т и один контейнер 20 фт массой 36 т, установленный в консольной части рамы;
- для рамы в зоне устройства соединения: один контейнер 30 фт массой 36 т, установленный в консольной части рамы, и два контейнера 20 фт массой 29 т каждый.

Для расчета статической прочности вагона вертикальные нагрузки, возникающие при двух наихудших вариантах загрузки, прикладываются совместно с пятью продольными нагрузками. Таким образом, количество расчетных вариантов схем нагружения было снижено с 330 до 10. Прочность платформы оценивалась и для порожнего состояния.

Кинематические ограничения перемещений в расчетной модели в продольном направлении производились по буферам или упорам сцепного устройства в зависимости от направления действия нагрузки. В процессе нормальной работы кузов опирается на тележки через пятники, однако в процессе эксплуатации возможно полное (жесткое) замыкание подпружиненных скользунов постоянного контакта. Таким образом, рассматривались пять случаев вертикального опирания кузова на тележки, которые схематически показаны на рисунке 8. Кроме того, рассматривались режимы, характеризующие подъем вагона для проведения ремонтных работ. Эти режимы, с учетом различного положения домкратов, представлены девятью схемами нагружения. Окончательно в рамках расчетного обоснования были рассмотрены 83 расчетных случая:

- при опирании на пятники: 5 расчетных случаев – продольные нагрузки на порожнем вагоне, 2 случая – груженный вагон без продольных нагрузок, 10 случаев – комбинации продольных и вертикальных нагрузок;
- при опирании на скользуны: 8 расчетных случаев – груженный вагон без продольных нагрузок, 40 случаев – комбинации продольных и вертикальных нагрузок;
- 18 ремонтных расчетных случаев.

Допустимые напряжения для оценки статической прочности определялись с учетом коэффициента запаса по пределу текучести k : для основного материала $k = 1,15$, для материала сварного шва $k = 1,265$. Дополнительно оценивался прогиб части рамы вагона, находящейся между тележками, который по нормативам не должен превосходить 0,3% от базы вагона.

В качестве наиболее нагруженного выявлен режим растяжения силой 1,5 МН с учетом веса контейнеров и конструкции. Максимальные напряжения возникают в области верхнего листа шкворневой балки и равны 302 МПа. На рисунке 9 показано напряженное состояние секции платформы.

Подтверждение усталостной прочности вагона осуществлялось в соответствии с нормативными документами [3] и [4]. Для расчета использованы наихудшие варианты загрузки, определенные выше. При проведении расчета согласно [3] определялись напряжения от действия переменной вертикальных нагрузок $(1 \pm 0,3) \cdot g$, где g – ускорение свободного падения. Полученные напряжения сравнивались с допускаемыми в зависимости от типа сварного шва. Например, для стыкового шва допускаемые напряжения составляют 195 МПа, для углового – 143 МПа. В случае расчета согласно [4] выявляли напряжения, возникающие при одновременном приложении поперечной нагрузки $\pm 0,2 \cdot g$ и вертикальной нагрузки $(1 \pm 0,3) \cdot g$. В ходе анализа оценивалось влияние разных компонентов тензора напряжений, рассматривались нормальные напряжения вдоль и поперек направления шва (σ_{\parallel} и σ_{\perp}), а также напряжение сдвига вдоль направления шва (τ).

Подтверждение усталостной прочности выполняется сначала по отдельности для

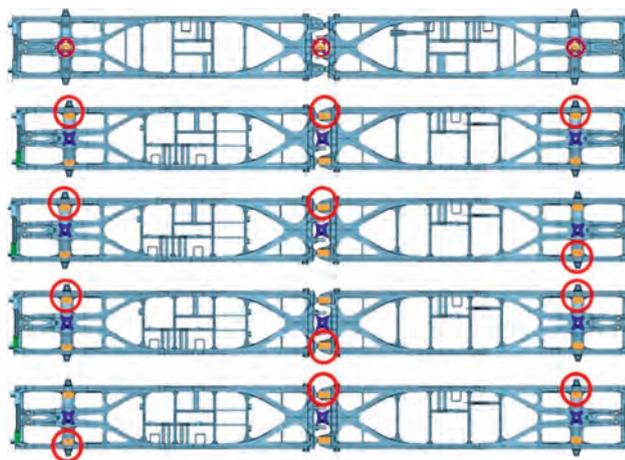


Рис. 8. Случаи вертикального опирания кузова на тележки



Рис. 9. Напряженное состояние, реализуемое в секции платформы при растяжении силой 1,5 МН с учетом веса контейнеров и конструкции

каждого элемента напряженного состояния по критериям:

$$\frac{\sigma_{\parallel}}{\sigma_{\parallel, \text{доп}}} \leq 1, \quad \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\perp, \text{доп}}} \leq 1, \quad \frac{\tau_{\parallel}}{\tau_{\text{доп}}} \leq 1.$$

При наличии нескольких напряженных элементов дополнительно выполняется подтверждение усталостной прочности для многоосевых и сложных напряжений по критическому коэффициенту, вычисляемому по формуле:

$$\left(\frac{\sigma_{\parallel}}{\sigma_{\parallel, \text{доп}}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\perp, \text{доп}}} \right)^2 - \frac{\sigma_{\parallel}}{\sigma_{\parallel, \text{доп}}} \cdot \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\perp, \text{доп}}} + \frac{\tau_{\parallel}}{\tau_{\text{доп}}} \leq 1,1.$$

Допускаемые значения предела выносливости определяются с помощью МКД-диаграммы (диаграммы Мура – Коммерса – Яспера) с учетом типа сварного соединения и коэффициента асимметрии цикла. Таким образом, сопротивление усталости составной части конструкции определяется критическим коэффициентом по пределу выносливости, который должен быть менее 1,1. В рассматриваемой конструкции наиболее нагруженной зоной при оценке на сопротив-

ление усталости является зона соединения верхних листов хребтовой и шкворневой балок, критический коэффициент которой со-

ставлял 0,81. Из этого следует, что усталостная прочность рамы платформы была обеспечена с достаточным коэффициентом запаса.

Испытания и сертификация

Одна из особенностей испытаний, которые проходили в европейском испытательном центре, имеющем аккредитацию европейского органа по сертификации, – выполнение только минимально необходимого объема работ, что весьма рационально при высокой их стоимости. Так, для платформы Sggrss 80' проводились:

- испытания рамы на статическую прочность и прочность при подъемке;
- испытания рамы на прочность при соударении;
- испытания рамы на жесткость при кручении;
- стационарные тормозные испытания;
- ходовые испытания вагона на уровень шумового воздействия;
- стационарные испытания на определение безопасности от схода с рельсов в кривых;
- стационарные испытания на прохождение кривых и заезда на паром;
- испытание на измерение сопротивления повороту тележки в кривых;
- проверка сопротивления заземления.

Отличительно, что все виды испытаний, кроме определения шумового воздействия, проводились стационарно, с применением

специальных стендов и приспособлений, что обусловлено наличием результатов ходовых испытаний других моделей вагонов на таких же тележках. Кроме того, можно отметить европейский подход к назначению критериев оценки результатов испытаний на прочность при соударении. Проводилась серия из 40 соударений с силой на каждом буфере от 660 кН до 900 кН и скоростью соударения груженого вагона 7 км/ч, порожнего – 12 км/ч. При этом контролировались накопленные остаточные деформации, которые должны быть менее 0,2% после 30-го удара из серии, и впоследствии данное значение не должно увеличиваться. Уровень допускаемых напряжений не нормируется.

Проанализировав результаты испытаний и разработанную документацию, орган по сертификации выдал сертификат TSI на соответствие Регламенту Комиссии ЕС № 321/2013 [5]. На основании документа в Европейском железнодорожном агентстве было получено одобрение типа транспортного средства с допуском к эксплуатации на железных дорогах Евросоюза в соответствии с Директивой ЕС 2016/797 [6].

Табл. 2. Сравнение основных характеристик платформ Sggrss 80' разных производителей

Параметры	Sggrs 80' НПК ОБК	Sggrs(s) 80' НПК ОБК*	Sggrss 80' Tatravagonka	Sggrs(s) 80' Tatravagonka	Sggrss 80' Greenbrier	Sggrss 80' Legios	Sggrss 80' ZOS-Trnava
Тара вагона, т	27,0	26,8	25,3	27,5	26,2	26,5	28
Грузоподъемность, т	108,0	108,2	90,0	107,5	108,8	108,5	107
Масса груженого вагона, т	135,0	135,0	115,3	135	135	135	135
Масса брутто контейнеров и съемных кузовов максимальная, т	40,0	40,0	30,48/36,0	36,0	36,0	36,0	36,0
Конструкция рамы	Боковые балки и раскосы	Боковые балки и раскосы	Хребтовая балка	Боковые балки и раскосы	Боковые балки и раскосы	Хребтовая балка	Боковые балки и раскосы

* (s) – вагон-платформа с тормозным оборудованием для эксплуатации со скоростями до 120 км/ч при загрузке до осевой нагрузки 20 тс

Сравнение с аналогами

Сопоставление основных характеристик показывает, что тихвинские вагоны в целом не уступают продукции других производителей, но при этом обеспечивают перевозку контейнеров с массой брутто до 40 т, в то время как европейские аналоги – максимум до 36 т. Возможность снижения массы тары вагонов у некоторых произво-

дителей связана с уменьшенной грузоподъемностью (Tatravagonka), а также с применением комплектующих, в первую очередь тележек, с уменьшенной массой (Tatravagonka, Greenbrier, Legios). Сравнение основных характеристик и конструктивных особенностей разработанной платформы и вагонов-аналогов приведено в таблице 2.

Заключение

ВНИЦТТ освоено проектирование грузовых вагонов по нормативам Европейского союза. Созданы вагоны-платформы сочлененного типа Sggrs 80' и Sggrs(s) 80', отличающиеся повышенной грузоподъемностью, способные перевозить контейнеры массой

до 40 т, с конструкцией, оптимизированной для производства на тихвинской промплощадке ОВК. К августу 2021 года компания организовала равномерные поставки вагонов заказчику, которые успешно эксплуатируются на путях колеи 1435 мм (рис. 10).



Рис. 10. Вагоны-платформы типа Sggrs 80' в эксплуатации

Список использованной литературы

1. Technical Specification for Interoperability (TSI).
2. BSEN 12663-1:2015 – Railway applications – Structural requirements of railway flat car bodies, Part 2: Freight flat cars, European Standard. EN 12663-2.
3. BSEN 12663-2:2010 – Railway applications – Structural requirements of railway flat car bodies, Part 2: Freight flat cars, European Standard.
4. DVS 1612 Design and endurance strength analysis of steel welded joints in rail-flat car construction. August 2014.
5. Регламент Комиссии (EU) № 321/2013 от 13 марта 2013 г., касающийся технических требований к совместимости подсистемы «Подвижной состав – грузовые вагоны» железнодорожной системы в Европейском союзе.
6. Директива № 2016/797 Европейского парламента и Совета Европейского союза «О возможности взаимодействия железнодорожных систем Европейского союза». (S)