

Стратегические задачи вагоностроителей в развитии тяжеловесного движения



Ю. П. Бороненко,
доктор техн. наук,
профессор, заведующий
кафедрой «Вагоны
и вагонное хозяйство»
Петербургского
государственного
университета путей
сообщения, заместитель
председателя НТС
НП «Объединение
вагоностроителей»

Представители некоммерческого партнерства «Объединение вагоностроителей», логистических и лизинговых компаний, собственников и арендаторов вагонов, владельцев инфраструктуры, а также ученые и конструкторы, работающие в области создания нового подвижного состава, приняли участие в VIII международной научно-технической конференции «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты», прошедшей в ФГБОУ ВПО ПГУПС в июле 2013 г. В рамках конференции были рассмотрены и одобрены предложения по созданию нового облика грузовых вагонов с четкой дорожной картой выхода на технический уровень XXI века.

Привлекательность железнодорожного транспорта для грузоотправителей, рост объемов грузовых перевозок, увеличение производства вагонов – взаимосвязанные факторы. В современных условиях способность грузовых вагонов интегрироваться в систему логистики, обеспечить минимальные финансовые и энергетические затраты на транспортировку грузов имеют важнейшее значение для экономики.

Предварительным условием успешности создания новых вагонов должна стать взаимоувязка всех решений на стадии обоснования и разработки конструкции. В вагоностроении имеется масса инновационных идей и предложений по созданию новых вагонов и их узлов, но с ними связано большое количество рисков из-за растянутости во времени процесса проектирования, испытаний, сертификации и подконтрольной эксплуатации, а также неустойчивого финансирования НИОКР.

Новым вагоном, который устраивает всех участников процесса, может стать только вагон с существенно увеличенной производительностью, который позволит:

- ОАО «РЖД» – сократить расходы на тягу и содержание инфраструктуры;
- вагоностроителям – получить заказ на замену всего парка вагонов, а не на замену исключенных;
- собственнику вагонов – обновлять свой парк приобретением вагонов, а не продлевать назначенный срок службы имеющемуся;

- оператору – сократить расходы на эксплуатацию и порожний пробег;
- грузоотправителям – снизить расходы на отправку грузов.

Созданные в последние годы вагоны нового поколения не позволяют далеко продвинуться в этом направлении. Максимальная грузоподъемность увеличена на 5–6 т, а объем кузова – на 1–2 м³. По мнению операторов, этого недостаточно. По данным рейтинга операторских компаний, средний доход на тонну перевозимого груза составил 500 руб. Это дает прибавку только 2 500 руб. за рейс, и срок окупаемости новых вагонов даже при рентабельности 20 % превышает 10 лет.

Как же добиться существенного повышения производительности вагонов с точки зрения всех участников перевозочного процесса и какие задачи должны решить вагоностроители при создании инновационных вагонов?

Ответ на этот вопрос излагается в данной статье на основе многолетних исследований и разработок новых вагонов, выполненных в ФГБОУ ВПО ПГУПС и ОАО «НВЦ „Вагоны“» и обсуждений на конференциях «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты».

Увеличение грузоподъемности за счет увеличения допустимых нагрузок от колес на рельсы

Производительность вагона напрямую связана с грузоподъемностью, которая зависит, в первую очередь, от допустимой осевой нагрузки, поэтому выбор максимально допустимой осевой

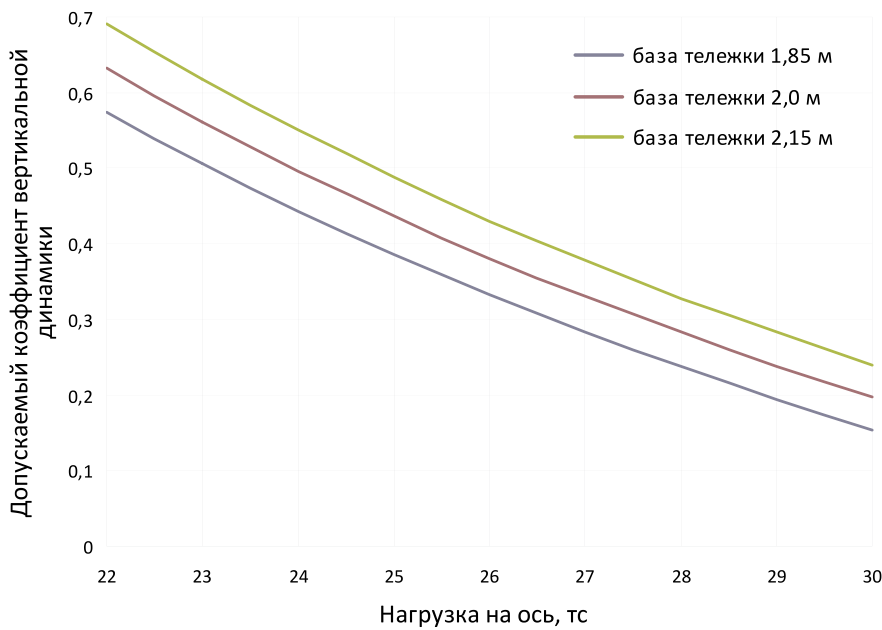


Рис. 1. Допустимый коэффициент вертикальной динамики обрессоренных частей вагонов по условиям превышения динамической погонной нагрузки в зависимости от нагрузки на ось и базы тележки

нагрузки – важнейший фактор, определяющий технико-экономические характеристики проектируемых вагонов.

Вопрос о ее величине дискутируется многие десятилетия. Известен положительный зарубежный опыт тяжеловесного движения с вагонами, имеющими осевые нагрузки, превышающие 35 т. Многие ученые и специалисты в России считают, что повышение осевых нагрузок свыше 25 т вызовет существенное увеличение расходов на содержание пути.

Нормы допустимого воздействия на путь (ГОСТ Р 55050-2013) напрямую не устанавливают ограничений на нагрузку от колес на рельсы, но определяют максимальную динамическую погонную нагрузку от группы осей одной тележки [1]:

$$q = \frac{nP_0(1 + K_{до})}{l + 2,2} \leq [g_{дин}], \quad (1)$$

где n – число осей в группе;

P_0 – вертикальная статическая нагрузка колесной пары на рельсы;

$K_{до}$ – коэффициент динамики, равный отношению динамической составляющей от колебаний подпрыгивания и галопирования к ее статической составляющей (определяется по экспериментальным данным с достоверной вероятностью 0,994);

l – база тележки;

$[g_{дин}] = 168 \text{ кН/м}$ (17,1 тс/м) – допустимая динамическая нагрузка на путь.

Из неравенства (1) следует вывод, что при увеличении осевой нагрузки

для превышения динамической погонной нагрузки есть две возможности: улучшение ходовых качеств, т. е. уменьшение коэффициента динамики $K_{до}$, и увеличение базы тележки l .

Из этого условия вытекает требование к коэффициенту динамики вагонов с увеличенными осевыми нагрузками:

$$K_{до} \leq \frac{[g_{дин}](l + 2,2)}{nP_0} - 1, \quad (2)$$

или требование к базе тележки

$$l \geq \frac{nP_0(1 + K_{до})}{[g_{дин}]} - 2,2. \quad (3)$$

На основе этих неравенств можно сформулировать требования к ходовым частям вагонов с увеличенными осевыми нагрузками, определив требуемые жесткости рессорного подвешивания и величину базы тележки.

На рис. 1 приведен график зависимости допустимого коэффициента динамики от осевой нагрузки и базы тележки.

ГОСТ Р 55050-2013 не предусматривает теоретического определения коэффициента динамики $K_{до}$, предлагая его экспериментальное определение с вероятностью превышения 0,994. На стадии проектирования новых вагонов для определения требований к рессорному подвешиванию тележек с увеличенной осевой нагрузкой было предложено использовать эмпирические формулы для коэффициента вертикальной динамики из норм для расчета и проектирования

вагонов [2], связывающие коэффициент вертикальной динамики $K_{дв}$ и статический прогиб подвешивания $f_{ст}$.

$$K_{до} = \frac{\bar{K}_{до}}{\beta} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - P_{кд}}}, \quad (4)$$

где

$$\bar{K}_{до} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} \frac{v - 15}{f_{ст}}, \quad (5)$$

$K_{дв}$ – среднее вероятное значение коэффициента вертикальной динамики;

β – параметр распределения, зависящий от условий эксплуатации (для грузовых вагонов в существующих условиях принимается 1,13);

a – коэффициент, равный для обрессоренных частей кузова – 0,05;

v – расчетная скорость, м/с;

$f_{ст}$ – эквивалентный статический прогиб рессорного подвешивания;

$P_{кд}$ – вероятность превышения допустимого значения.

Данная формула определяет полную динамическую нагруженность от всех видов колебаний кузова вагона, включая боковые, поэтому можно считать с некоторым запасом, что коэффициент вертикальной динамики $K_{дв}$ больше или приблизительно равен коэффициенту динамики $K_{до}$.

В дальнейшем на основе выражений (4) и (5) были произведены расчеты допустимых скоростей движения и требуемого статического прогиба для различных осевых нагрузок с вероятностью превышения допустимых значений $P_{дв} = 0,994$ (рис. 2–4).

Анализируя эти графики, можно сделать вывод, что для тележек со статическим прогибом ~60 мм и базой 1 850 мм допустима максимальная осевая нагрузка 27 т при скорости движения 90 км/ч (табл. 1). Для увеличения осевых нагрузок свыше 27 т необходима разработка новой тележки с увеличенным статическим прогибом или базой, обеспечивающей снижение динамической погонной нагрузки.

Правильность проведенной оценки пределов повышения осевых нагрузок подтверждают результаты работы ОАО «ВНИИЖТ» [3], в которой была определена длительная усталостная прочность пути при эксплуатации полувагонов на обычных тележках с осевыми нагрузками от 20 до 30 тс и показано превышение допустимых напряжений в основной площадке земляного полотна при осевой нагрузке 30 тс уже при скорости 60 км/ч.

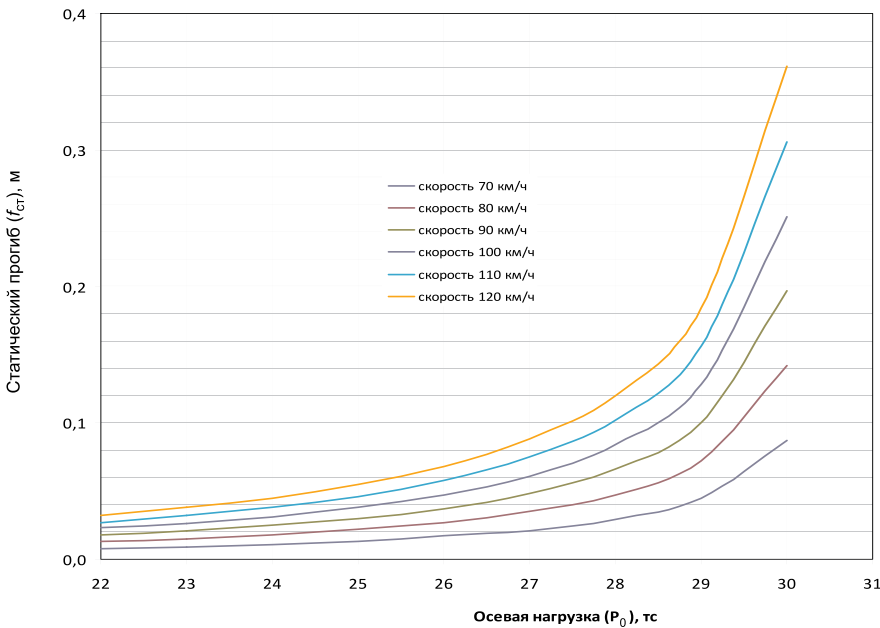


Рис. 2. Необходимый статический прогиб рессорного подвешивания грузового вагона в зависимости от осевой нагрузки при различных скоростях движения (вероятность неперевышения 0,994; база тележки 1,85 м)

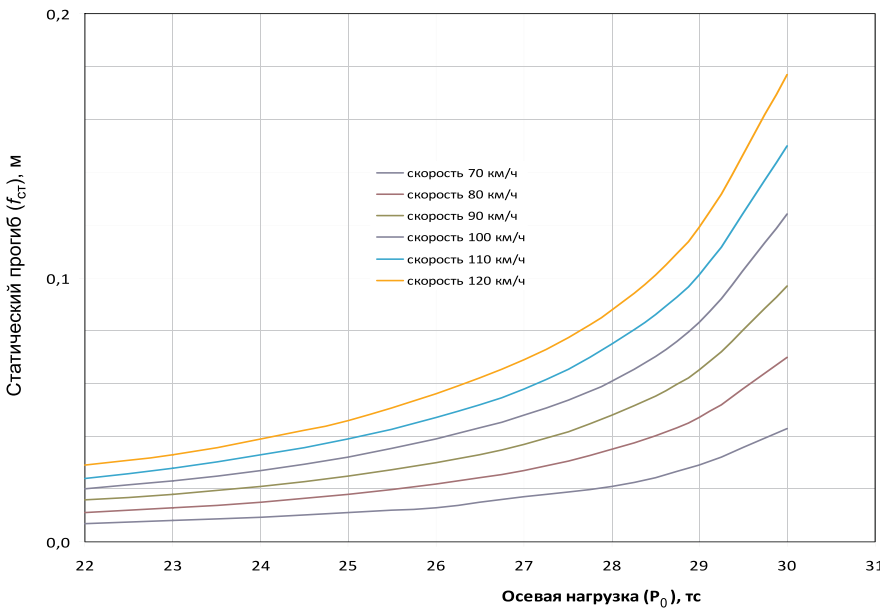


Рис. 3. Необходимый статический прогиб рессорного подвешивания грузового вагона в зависимости от осевой нагрузки при различных скоростях движения (вероятность неперевышения 0,994; база тележки 2 м)

Таким образом, первую стратегическую задачу вагоностроителей можно определить как разработку «друже-

ственных к пути» тележек с улучшенными динамическими качествами, обеспечивающих возможность экс-

плуатации вагонов увеличенной грузоподъемности на существующей инфраструктуре.

Увеличение погонной нагрузки новых вагонов

Эффективность железнодорожного транспорта во многом определяется погонной нагрузкой вагона нетто, т. е. массой перевозимого груза, отнесенной к длине вагона по осям сцепления автосцепок, определяющей массу поезда нетто, размещаемую на станционных путях. Формирование поездов повышенного веса, превышающих длину приемо-отправочных путей, существенно снижает пропускную способность и вызывает дополнительные расходы на их обслуживание и формирование.

В настоящее время сеть железных дорог в основном рассчитана на погонную нагрузку 10,5 тс/м, однако существующие вагоны имеют нагрузку менее 8 тс/м, а в среднем погонная нагрузка не превышает 5–7 тс/м [4]. Увеличение погонной нагрузки до допустимой позволит увеличить массу поезда длиной в 71 условный вагон почти до 10 тыс. т. Причина неиспользования погонной нагрузки заключается в недостатке ширины и высоты габарита.

Путь повышения погонной нагрузки был намечен в Стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 г. в Российской Федерации, он заключался в переходе на габариты $T_{пр}$ и $T_{ц}$ [5]. Переход на массовое использование вагонов увеличенной ширины и высоты должен был обеспечить новый ГОСТ по габаритам.

Однако в первоначальной версии редакции нового ГОСТ 9238-13 «Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений» в качестве первоочередных направлений для ввода в эксплуатацию полувагонов габарита $T_{пр}$ намечено только ограниченное число участков [6]. Намеченные

Таблица 1. Пределы повышения осевых нагрузок по условиям допустимой динамической погонной нагрузки

Статический прогиб подвешивания, мм	Допустимая скорость, км/ч	Допустимая нагрузка от оси на рельс, тс, при базе тележки		
		1,85 м	2,0 м	2,15 м
60,0	90	27	28	29
	80	28	29	30
	70	29	30	30
90,0	90	28	29	30
	80	29	30	30
	70	30	30	30

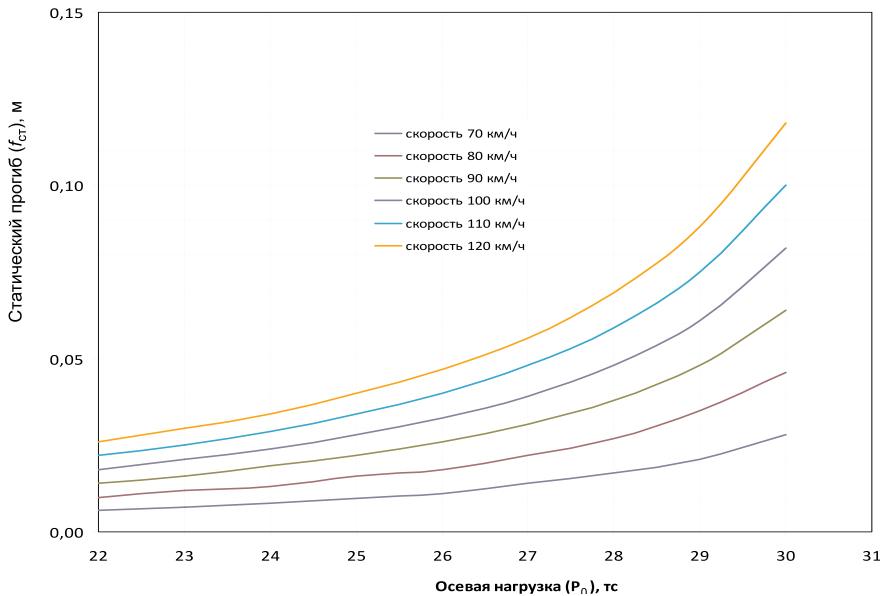


Рис. 4. Необходимый статический прогиб рессорного подвешивания грузового вагона в зависимости от осевой нагрузки при различных скоростях движения (вероятность непревышения 0,994; база тележки 2,15 м)



Рис. 5. Ограничения применения габарита $T_{пр}$ на сети железных дорог России

участки не были увязаны с маршрутами перевозок экспортных грузов, не имели выходов к портам. В этих условиях рассчитывать на массовый выпуск вагонов в габарите $T_{пр}$ не приходилось. Вагоностроители практически не вели собственных разработок вагонов в габарите $T_{пр}$, не видя рынка сбыта таких вагонов.

В 2013 г. ОАО «РЖД» проанализировало результаты ранее проведенных обследований габаритов приближения строений и готовности железных дорог к пропуску подвижного состава габарита $T_{пр}$ и пришло к выводу, что сооружения и устройства сети обеспечивают пропуск вагонов габарита $T_{пр}$ за

исключением всего нескольких участков: Тисин – Сон Красноярской железной дороги; Суховская – Иркутск Сортировочный и Иркутск Сортировочный – Гончарово Восточно-Сибирской железной дороги и трех тоннелей: Тишинского, Облученского и Горноалтайского (рис. 5). Фактически полигон эксплуатации вагонов габарита $T_{пр}$ на Транссибе ограничен только Облученским тоннелем и для вагонов габарита $T_{пр}$ практически открыта вся инфраструктура ОАО «РЖД». К сожалению, отсутствуют данные обследований сети железных дорог СНГ и путей необщего пользования, но в целом можно сделать вывод о целесообразности

начала массового производства и эксплуатации вагонов габарита $T_{пр}$.

Новый габарит $T_{пр}$ позволяет увеличить ширину вагона в прямоугольной части верхнего очертания габарита на 4,7 % и высоту на 18 % (рис. 6). Однако техническая реализация этих преимуществ встречает ряд трудностей.

Ширина габарита $T_{пр}$ по ГОСТ 9238-13 в отличие от габарита $T_{пр}$ по ГОСТ 9238-83 увеличена только на высоте более 1270 мм. Это не позволяет использовать стандартные технические решения полувагонов, имеющих прямые вертикальные стенки. Увеличение высоты полувагонов связано с необходимостью модернизации или замены вагоноопрокидывателей. Фактически высота верхней обвязки полувагона согласно приложению «В» в требованиях к вагоноопрокидывателям ограничена величиной 4350 мм, что увеличивает высоту прямоугольной части вагона только на 13 %. Общее увеличение площади сечения кузова не превысит 15 %. Это обеспечивает увеличение объема под расчетную грузоподъемность вагона при сохранении стандартной длины, при переходе на осевую нагрузку 27 т, но недостаточно для больших осевых нагрузок.

В новом габарите $T_{пр}$ на кафедре «Вагоны и вагонное хозяйство» ПГУПС совместно с ОАО «Рузхимаш» в рамках работ по созданию инновационных вагонов спроектирован новый полувагон модели 12-9893, объемом 99 м³

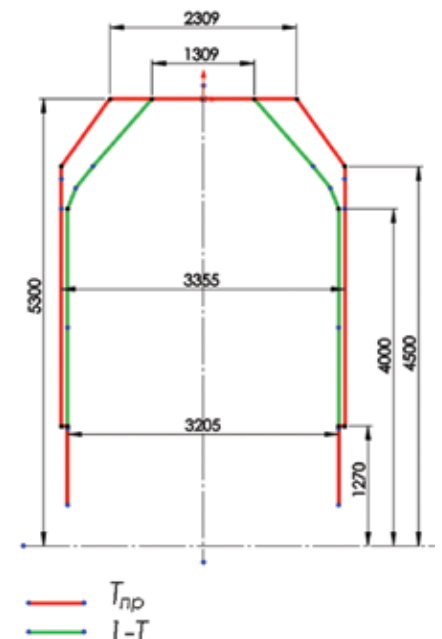


Рис. 6. Расчетные проектные очертания при вписывании в габарит 1Т и $T_{пр}$ для наружного сечения полувагона



Отличия:

- увеличена грузоподъемность до 84 (76) т при осевой нагрузке 27 (25) т (+20%);
- снижена масса тары вагона до 24 т;
- увеличен объем кузова до 99 м³ (+12,5%);
- применена новая тележка с допустимой нагрузкой от оси 25 (27) т/ось;
- увеличен межремонтный пробег до 500 тыс. км;
- применен новый габарит Т_{пр}

Превосходит по технико-экономическим характеристикам вагоны стран СНГ колен 1520 мм, Европы, Китая. Уступает только полувагону США с нагрузкой на ось 32–35 тс

Рис. 7. Полувагон увеличенной грузоподъемности

(рис. 7) [7]. Погонную нагрузку удалось повысить до 7,76 тс/м. Это больше, чем у других полувагонов России и США.

Другим важным направлением увеличения погонных нагрузок должно стать сокращение межвагонных промежутков. Для этого эффективно применение многоосных вагонов. Преимущества использования шестисосных сочлененных вагонов подробно рассмотрена в работе [8]. В ней показано, что применение сочлененных вагонов эффективно только для перевозки легковесных грузов. В тяжеловесном движении потребуются увеличение длины консольной части вагонов до 1/3 базы вагона и, как следствие, уменьшение его ширины.

Традиционно считается, что существенный вклад в увеличение погонной нагрузки могут дать восьмиосные цистерны и полувагоны. В то же время опыт эксплуатации показал ряд их существенных недостатков, главным из которых является наличие соединительной балки, заметно увеличивающей массу тары вагона и снижающей погонную нагрузку нетто.

Учеными ПГУПС была предложена новая концепция восьмиосной цистерны, состоящей из двух котлов с рамами, шарнирно соединенных между собой безазорным устройством, что позволило повысить погонную нагрузку до 8,3 тс/м (рис. 8) [9]. Испытания данной конструкции пока не завершены, но полученные результаты показывают перспективность данного направления, так как она не требует серьезной модернизации сливо-наливных эстакад.

Таким образом, можно констатировать, что второй стратегической задачей вагоностроителей должна стать разработка новых вагонов, используя-

щих преимущества габаритов Т_{пр} и Т_ц с увеличением погонной нагрузки до 8–10,5 тс/м. В сочетании с увеличением грузоподъемности это позволяет обеспечить потребности в увеличении пропускной способности на 20–30 %.

Снижение тары вагонов

Снижение тары вагона ставится в качестве важной задачи в Белой книге ОАО «РЖД» [10]. Меньшая тара позволяет повысить грузоподъемность, сократить расходы на закупку материалов, снизить стоимость вагона, сократить расходы на тягу и увеличить погонную нагрузку нетто. Однако успехи в этом направлении минимальны. В табл. 2 приведено сравнение показателей российских и американских полувагонов по коэффициенту тары. В чем причина существенного отставания российских вагонов по этому показателю?

Одна из причин – экономическая. Тарифы на российских железных дорогах рассчитываются за тонну перевезен-

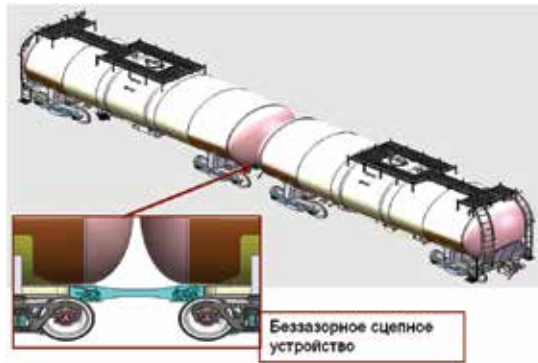
ного груза либо за вагон или контейнер. Вес тары вагона не учитывается, несмотря на затраты энергии на транспортировку, поэтому призыв снизить массу тары на 25 % [5, 10] остается без ответа: он не подкреплен экономической выгодой.

Техническая причина связана с применением при производстве вагонов стандартного сортамента металлов и традиционных марок сталей, разработанных еще в СССР. Серийно применяемые и перспективные отечественные стали повышенной прочности (09Г2С, 10ХНДП, 10Г2ФБ, 16Г2АФ, 18Г2АФ) для изготовления рам и кузовов грузовых вагонов сейчас значительно уступают по механическим свойствам зарубежным аналогам (сталь SNY70 – Япония, сталь А514/Ф – США) аналогичного класса.

При схожих химическом составе, коррозионностойкости, пластичности, уровне свариваемости у высокопрочных отечественных сталей механические свойства ниже на 40–50 % (предел прочности и текучести), выше порог хладноломкости (температуры, при которой происходит хрупкое разрушение стали), ниже сопротивление усталостному разрушению и старению (межкристаллитному растрескиванию с течением времени).

Переход на новые материалы для отдельного вагона связан с большими инвестициями и длительным циклом испытаний, так что сроки создания нового вагона выходят за разумные пределы.

В результате получается: нет новых вагонов с меньшей тарой, так как нет новых материалов для их изготовления, и нет новых материалов высокой проч-



Превосходит по объему и грузоподъемности все известные цистерны в мире

Отличия:

- увеличена грузоподъемность до 145,5 т при осевой нагрузке 25 т (+20%);
- увеличен объем кузова (двух котлов) до 192 м³ (+40%);
- применена новая тележка с допустимой нагрузкой от оси 25 т/ось;
- применен новый габарит Т_{пр}



Рис. 8. Вагон-цистерна для бензина объемом 192 м³

Таблица 2. Сравнение лучших российских и американских полувагонов

Параметр	Модель полувагона, производитель				
	12-132 УВЗ	12-196-01 УВЗ	12-9853 ТВСЗ	12-9869 ТВСЗ	BethGon® II Freight Car America
Грузоподъемность, т	69,5	75	75	77	110,8
Тара, т	24	24,3	25	23	18,9
Коэффициент тары	0,345	0,324	0,333	0,298	0,17
Объем кузова, м ³	88	88	88	92	–
Год начала постройки	1992	2008	2010	2012	2007

ности, так как нет заказа на их поставки. Выход из этого замкнутого круга, на наш взгляд, должен найти Минпромторг при корректировке Подпрограммы 6 «Транспортное машиностроение» Государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» на период до 2020 г.

Вагоностроителям необходимы новые марки сталей и алюминиевых сплавов, новый сортамент и новые технологии упрочнения сварных соединений, так как у большинства предлагаемых российской металлургией высокопрочных сталей предел выносливости сварного соединения не выше, а зачастую даже ниже, чем у обычно применяемых марок сталей. Новые стали должны иметь:

- предел текучести 680–720 МПа, предел прочности 890–1000 МПа, относительное удлинение 18–24 %, предел выносливости на уровне 0,6 от предела прочности – не менее, чем стали SNY70 (Япония) и стали A514/F (США), для снижения массы тары вагонов;
- гарантированную свариваемость и повышенный предел выносливости сварных соединений;
- умеренную стоимость по сравнению с уже используемыми в кузовах вагонов сталями.

Поэтому третьей стратегической задачей вагоностроителей должна стать работа с металлургической промышленностью для создания нового сортамента высокопрочных сталей и алюминиевых сплавов.

Дорожная карта создания новых вагонов для тяжеловесного движения

Железнодорожный транспорт представляет собой взаимоувязанную сложную техническую систему. Изменение одного из показателей ведет к целому комплексу изменений во всей системе.

В первую очередь это относится к ходовым частям, тормозам и автосцепному устройству.

Уменьшение жесткости подвешивания для снижения динамических нагрузок требует увеличения допустимой разности высот порожнего и груженого вагонов; уменьшение массы тары вагона – переработки тормозной системы для предотвращения юза; увеличение ширины и высоты вагонов – модернизации вагоноопрокидывателей и других погрузо-выгрузочных устройств.

Основываясь на проведенном анализе, можно предложить такую последовательность создания вагонов для тяжеловесного движения:

- введение новой автосцепки, допускающей разность высот вагонов 140 мм;
- создание тележек с осевой нагрузкой 27–30 тс с увеличенным прогибом рессорного подвешивания и уменьшенным динамическим воздействием на путь;
- создание новых тормозных систем, обеспечивающих торможение без юза большегрузных вагонов с малой тарой;
- разработка конструкций вагонов со сниженной массой тары за счет применения нового сортамента высокопрочных сталей и алюминиевых сплавов для транспортного машиностроения;
- массовое производство грузовых вагонов в габаритах T_{np} и $T_{ц}$ с осевыми нагрузками 27–30 тс для обновления парка вагонов колеи 1520 мм.

Эти этапы должны найти свое отражение в разрабатываемой программе развития тяжеловесного движения в России.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках договора № 13.G25.31.0032 «Разработка и создание высокотехнологичного производства инновационного грузового подвижного состава железных дорог».

Литература

1. ГОСТ Р 55050-2013. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на путь и методы испытаний.
2. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996.
3. Певзнер В. О., Белоцветова О. Ю., Петропавловская И. Б., Третьяков И. В. Инфраструктура в условиях повышения осевых нагрузок вагонов // Тезисы докл. VIII междунар. науч.-технич. конф. «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». СПб., 2013. С. 58–64.
4. Соколов А. М. Тяжеловесное движение на Российских железных дорогах: Доклад на Объединенном ученом совете ОАО «РЖД». М., 2013.
5. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г. М., 2008.
6. Проект ГОСТ 9238. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений. Минск, 2013 (ред. 07.2013).
7. Бороненко Ю. П., Пешков А. В., Решетов В. А., Лопарев Е. Л., Тохчукова М. Р., Маненков А. В., Мишин В. М., Набиуллин М. И. Пат. № 110044 от 16.06.2011 г. на полезную модель «Полувагон глухондонный».
8. Бороненко Ю. П., Белгородцева Т. М., Кукушина Н. А. Выбор конструктивных решений сочлененных грузовых вагонов для колеи 1520 мм // Транспорт РФ. 2013. №3 (46). С. 3–10.
9. Бороненко Ю. П., Цыганская Л. В., Липецкий Д. В., Собержанский Н. А., Маненков А. В., Мишин В. М., Набиуллин М. И. Пат. № 111500 от 20.12.2011 г. на полезную модель «Вагон-цистерна с двумя котлами».
10. Стратегия инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года. Белая книга ОАО «РЖД». М., 2010.