

Ю. П. БОРОНЕНКО, д.т.н., профессор, ПГУПС, ОАО «НВЦ Вагоны» (Россия)

ВАГОНЫ СО СНИЖЕННЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ НА РЕЛЬСЫ – РЕЗЕРВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОВОЗНОЙ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Про резерв підвищення провізної та пропускної спроможності залізниць.

Про резерв підвищення провозной и пропускной способности железных дорог.

About reserve of increasing the carrying and traffic capacity of railways.

Повышение конкурентоспособности железных дорог связано с повышением пропускной и провозной способности железных дорог. Наши научные руководители, выдающиеся учёные В. А. Лазарян и И. И. Челноков прекрасно понимали это и в соответствии со своими идеями совершенствования тележек вели работу с Уральским вагоностроительным заводом. Совместные исследования по созданию перспективной тележки для грузовых вагонов с улучшенными ходовыми качествами в 60-70-е годы XX века на Уралвагонзаводе проводились Всесоюзным научно-исследовательским институтом МПС (ЦНИИ МПС), Ленинградским и Днепропетровским институтами железнодорожного транспорта, Днепропетровским отделением института механики АН УССР, Всесоюзным научно-исследовательским институтом вагоностроения. Работы велись в двух направлениях:

- создание новых тележек с центральным подвешиванием;
- создание новых тележек с надбуксовым подвешиванием.

Были изготовлены и испытаны тележки с центральным подвешиванием:

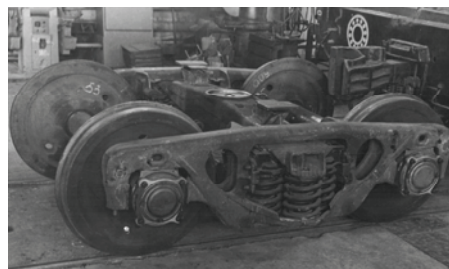
- с модернизированными клиновыми гасителями колебаний: ЦНИИ-ХЗ-М – 1965 г., УВЗ-С – 1966 и 1967 гг.;
- с гидrogасителями – 1969 и 1971 гг.;
- с модернизированными пружинными комплектами: с билинейной характеристикой 1971 и 1978 г., повышенной гибкости – 1971 г.;
- с установкой резинового элемента в ресорное подвешивание – 1971 г.;
- с установкой скользунов-демпферов – 1969 и 1971 г.;
- УВЗ-ВНИИВ и УВЗ-ЛИИЖТ – 1973 г.

По линии создания 2-осной тележки с надбуксовым подвешиванием за это время были

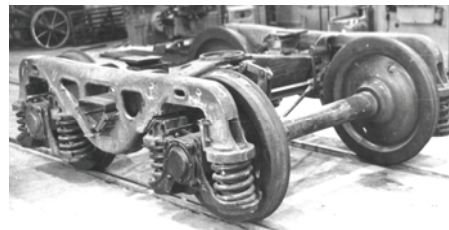
спроектированы, изготовлены и испытаны тележки УВЗ-6К и УВЗ-6КМ.

В августе 1974 г. на Уралвагонзаводе было проведено техническое совещание с участием ЦНИИ МПС (вагонное отделение и отделение комплексных испытаний), ЛИИЖТ, ДИИТ, ДО ИМ АН УССР, ВНИПТИВ, ЦВ МПС, на котором было принято решение о проведении динамических (ходовых) испытаний тележек УВЗ-ЛИИЖТ (рис. 1а) и УВЗ-6КМ (рис. 1б) на скоростном полигоне ЦНИИ МПС ст. Белореченская – Майкоп со скоростями движения до 150 км/ч.

а



б



в

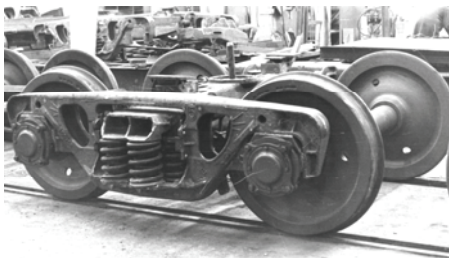


Рис. 1. Общий вид тележек УВЗ-ЛИИЖТ (а), УВЗ-6КМ (б) и 50X-508 (в), в создании и испытаниях которых принимали участие В. А. Лазарян и И. И. Челноков

Эти испытания были проведены в марте-мае 1975 г. УВЗ совместно с ЦНИИ МПС, ЛИИЖТ, ДИИТ и ДО ИМ АН УССР с целью выявления лучшего варианта тележки из числа испытываемых образцов, а также уточнения ряда положений разрабатываемых технических требований на 2-осную тележку для скоростей движения до 140 км/ч.

К сожалению, результаты этих работ не были внедрены, но они до сих пор служат теоретической и экспериментальной основой создания новых тележек. На их базе были разработаны технические требования к тележкам и ГОСТ на тележки. В дальнейшем при участии ДИИТ и ДО ИМ АН УССР под руководством В. А. Лазаряна и ЛИИЖТа под руководством И. И. Челнокова ЦНИИ МПС были сформулированы новые технические требования к вагонам с осевой нагрузкой 25 т и в 1975 г. «Уралвагонзавод» представил на испытания два образца новых полувагонов. Эти вагоны во многом копировали конструктивные решения вагона с нагрузкой 22 тс, но в них для повышения грузоподъемности были введены новые усиленные узлы, в том числе и тележки. Важным элементом новизны одного из опытных вариантов новой тележки являлась резиновая прокладка между буксой и боковой рамой. Однако результаты эксплуатационных испытаний этого узла оказались отрицательными, в результате межведомственная комиссия рекомендовала к производству тележку 18-131, в основном копирующую тележку 18-100.

Вагоностроителям и железнодорожникам, в первую очередь путейцам, преимущества новой тележки 18-131 не казались очевидными, и требования о переходе к производству новой тележки, не подкрепленные финансовой и административной поддержкой, остались нереализованными. Несмотря на это в 1986 г. был разработан новый типаж «Вагоны грузовые магистральные на 1986-2000 гг.», который был согласован МПС СССР, Госстандартом СССР и утвержден Минтяжмашем СССР. Вагоны этого типажа предусматривали увеличенные осевые нагрузки до 25 тс. В соответствии с этим типажом был сконструирован ряд новых кузовов вагонов, рассчитанных на осевую нагрузку 25 тс. В связи с отсутствием серийного производства новых тележек, новые вагоны выпускались и эксплуатировались на тележках 18-100 с осевыми нагрузками до 23,5 тс. В начале 90-х годов в условиях спада объемов перевозок работы по переходу на новые тележки были приостановлены.

Задача увеличения грузоподъемности вагонов была поставлена вновь в «Комплексной программе реорганизации и развития отечественного локомотиво- и вагоностроения, организации ремонта и эксплуатации пассажирского и грузового подвижного состава на период 2001-2010 гг.», а затем и в «Белой книге» ОАО «РЖД»: «Стратегические направления научно-технического развития ОАО «Российских железных дорог» на период до 2015 г.», принятой в 2007 г. Стратегическими направлениями предусматривается необходимость железных дорог в новых вагонах, которые не только должны иметь увеличенную осевую нагрузку до 25...27...30 т без увеличения воздействия на путь. В создании вагонов нового поколения с увеличенными осевыми нагрузками главный вопрос – это создание новой тележки, позволяющей увеличить грузоподъемность вагонов.

Попытки создания новой тележки путем небольшой модернизации существующих или подражания лучшим зарубежным образцам оказались неудачными. Создать тележку нового поколения, обеспечивающую увеличение пропускную и провозную способность железных дорог, можно только на основе новых идей и технологий.

1 Тележки для осевой нагрузки 25 т

Проблема создания тележки для осевой нагрузки 25 т решается несколькими российскими предприятиями.

ФГУП «ПО «Уралвагонзавод» разработал тележку модели 18-194-1, [6], с более жесткими допусками на изготовление, износостойкими элементами на наклонной поверхности клиньев, фрикционных планках и подпятнике, что позволяет обеспечить безремонтную работу узлов трения на пробег 500 тыс. км.

В конструкции центрального подвешивания использован пружинный комплект с билинейной характеристикой, что обеспечивает меньшую чувствительность динамических показателей порожнего вагона к износу клиньев. Кроме того, установка боковых рам на адаптер подшипника колесной пары производится через неметаллическую вставку. Упругие скользуны постоянного контакта повышают сопротивление тележки извилистому движению.

ОАО «ВНИКТИ» разработала техдокументацию, а ЗАО «Промтракторвагон» освоил изготовление и сертифицировал новую тележку модели 18-9800 с осевой нагрузкой 25 т. Отличием этой тележки является упругая связь рамы с буксами и новая конструкция скользунов.

Ведутся работы по созданию тележки с осевой нагрузкой 25 т в г. Тихвине на основе технологии американской тележки «Барбер» и г. Рузаевке – на основе технологий европейских стран.

Численные эксперименты, выполненные ПГУПС, [1], показали, что конструкция тележки, аналогичная модели 18-194-1, при рациональном выборе параметров боковых скользунов может обеспечить пониженное воздействие на путь. Поперечная и вертикальная сила, действующие от колеса на рельс при осевой нагрузке 25 т практически такие же, как от тележки модели 18-100 при осевой нагрузке 23,5 т. Одновременно, существует естественное ограничение на величину критической скорости движения вагона на таких тележках до 90 км/ч, которое объясняется зависимостью критической скорости от параметров скользунов в виде кривой с насыщением. Таким образом, такая конструктивная схема не пригодна для дальнейшего увеличения осевой нагрузки или конструкционной скорости без значительных вложений в конструкцию и систему технического содержания пути.

В ПГУПС разработана трехэлементная тележка модели 18-9750 (рис. 2), оборудованная горизонтально упругой связью колесных пар с боковыми рамами, выполненной в виде полиуретано-металлических амортизаторов.

а



б



Рис. 2. Тележка модели 18-9750 (а) и первая ступень подвешивания (б) в виде полиуретано-металлических амортизаторов

Тележка оборудована центральным подвешиванием с билинейной характеристикой и фрикционными клиньями пространственного действия с упруго-фрикционными накладками

на наклонных поверхностях (рис. 3). Такая конструкция обеспечивает повышение жесткости тележки при забегании боковых рам на 30...40%. Боковые скользуны постоянного контакта не используются, что обеспечивает пониженный момент сопротивления тележки повороту под вагоном для безопасного прохождения кривых и стрелочных переводов.



Рис. 3. Пространственная конструкция клина тележки модели 18-9750

Результаты проведенных испытаний подтвердили возможность добиться значительного сокращения динамических сил взаимодействия колес с рельсами при использовании под вагоном тележки на базе модели 18-9750 и это открывает новые пути увеличения грузоподъемности вагонов.

2 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО КОНСТРУКЦИИ ТЕЛЕЖКИ ДЛЯ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ 30 т

2.1 Предварительная оценка необходимых показателей ходовых качеств, обеспечивающих требования по воздействию на путь

Анализ показателей, определяющих прочность и долговечность элементов путевой структуры, [5], показал, что лимитирующей величиной является эквивалентное напряжение на основной площадке земляного полотна. Когда этот критерий достигает предельного значения, остальные показатели имеют запас 20...30%.

Расчет эквивалентного напряжения на основной площадке земляного полотна производится в зависимости от эквивалентной максимальной вертикальной силы, действующей от колеса на рельс:

$$P_{эkv} = P_{ст} + P_{\delta}^{обрecc} + P_{\delta}^{необрecc}, \quad (1)$$

где $P_{ст}$ – статическая нагрузка от колеса на рельс, $P_{\delta}^{обрecc}$ – максимальная (с вероятностью 97%) динамическая нагрузка от колеса на рельс, вызванная колебаниями обрессоренных масс, $P_{\delta}^{необрecc}$ – максимальная (с вероятностью

97%) динамическая нагрузка от колеса на рельс, вызванная колебаниями необрессоренных масс при проходе стыков и наличии неровностей на поверхности колес (учитывается определенный процент дефектных колес).

Анализ выражения (1) применительно к конструкции тележки-прототипа показал, что ее необрессоренная масса уже снижена до предела и включает в себя только колесные пары. Таким образом, единственным способом уменьшить нагрузку на земляное полотно является снижение колебаний обрессоренных масс.

Результирующее значение коэффициента вертикальной динамики подвешивания предельное для пути, уложенного рельсами Р65 на железобетонных шпалах с эпюрой 2000 на километр и высотой балласта более 40 см, составляет 0,28 при ограничении скорости движения вагона до 80 км/ч. Для сравнения, тележки пассажирских вагонов модели КВЗ-ЦНИИ (с гидравлическими гасителями колебаний и прогибом подвешивания почти 180 мм) обеспечивают максимальное значение коэффициента вертикальной динамики 0,25.

При испытаниях тележки-прототипа (рис. 4) коэффициент вертикальной динамики измерялся по боковой раме и наддрессорной балке. Результирующие значения отличались не более чем на 10%, что подтвердило, что боковые рамы в данном случае можно считать обрессоренными. Максимальное значение коэффициента вертикальной динамики при скоростях до 80 км/ч составило 0,30...0,35, что показывает необходимость дальнейшего совершенствования подвешивания.

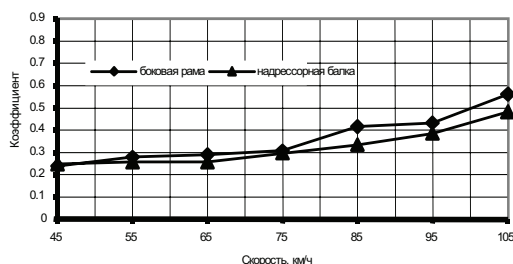


Рис. 4. Максимальный (с вероятностью 99,9 %) коэффициент вертикальной динамики, измеренный по боковой раме и наддрессорной балке на прямом участке пути для вагона на тележках-прототипах

2.2 Предложения по совершенствованию конструкции тележки

Предложенная для осевой нагрузки 30 т конструкция тележки (рис. 5) основана на модели 18-9750 и имеет следующие особенности:

- центральное подвешивание с билинейной характеристикой и пространственной клиновой системой;
- буксовое горизонтально-упругое подвешивание с неметаллическими амортизаторами;
- взаимодействие с кузовом вагона через плоский подпятник и
- боковые скользящие постоянные контакты типа подпружиненный ролик.

Основные параметры тележки показаны в таблице 1.

Основным отличием тележки от исходной конструкции модели 18-9750 являются боковые скользящие постоянные контакты (рис. 6). Их вертикальная жесткость подбирается таким образом, чтобы преобразовывать перевалку кузова на подпятнике в боковую качку, которая демпфируется клиновым гасителем колебаний второй ступени подвешивания, [2]. Эффективное демпфирование обеспечивается использованием рессорного комплекта с пружинами одинаковой высоты под клиньями и различной высоты под наддрессорной балкой, а также увеличенным до 55 градусов углом наклона фрикционного клина к горизонтали.

Таблица 1

Основные параметры тележки, предложенной для осевой нагрузки 30 т

Параметр	Значение
Масса, кг	6000
Ширина колеи, мм	1520
База, мм	1900
Конструкционная скорость, км/ч	100
Допустимая по нагреву колодочного тормоза эксплуатационная скорость, км/ч	90
Статический прогиб второй ступени подвешивания, мм	
- под порожним вагоном	16
- под груженым вагоном	70
Статический прогиб первой ступени подвешивания, мм	
- под порожним вагоном	2
- под груженым вагоном	7

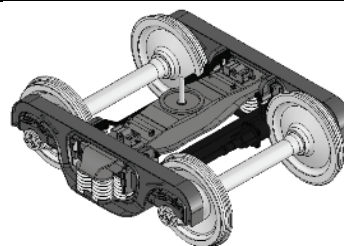


Рис. 5. Предложенная конструкция тележки для осевой нагрузки 30 т

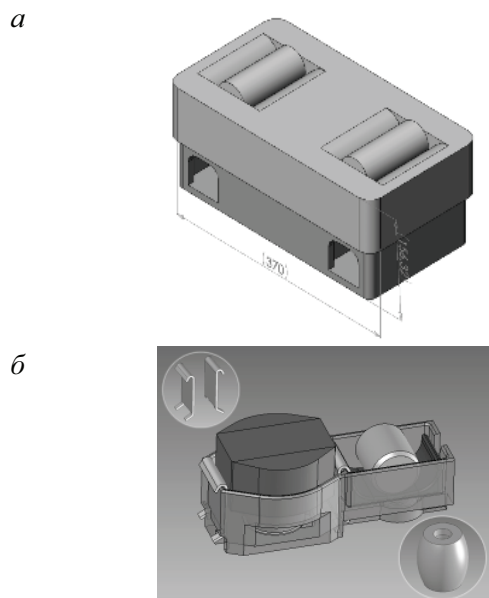


Рис. 6. Варианты исполнения боковых скользунов постоянного контакта: а) типа подрессоренный ролик; б) упруго-роликовый скользящий ФГУП «ПО «Уралвагонзавод» с антифрикционной накладкой на контактной поверхности

Так как устойчивость движения вагона обеспечивается горизонтально-упругой первой ступенью подвешивания и увеличенным за счет конструкции клиньев сопротивлением забеганию боковых рам, боковые скользуны типа подпружиненный ролик или с установкой антифрикционного материала на контактной поверхности обеспечивают снижение момента сопротивления повороту тележки при движении в кривых.

2.3 Численное моделирование ходовых качеств вагона и сил, действующих от колеса на рельс

Моделирование ходовых качеств вагона на тележках с выбранными параметрами производилось на модели [3], разработанной в программном комплексе MEDYNA. Результаты моделирования для прямого участка пути отличного состояния и скорости движения 100 км/ч представлены в табл. 2. Для скоростей вплоть до конструкционной показатели ходовых качеств вагона удовлетворяли требованиям нормативов [4].

Таблица 2

Показатели ходовых качеств вагона с осевой нагрузкой 30 т при скорости движения 100 км/ч на пути отличного состояния

Показатель	Порожний вагон	Груженный вагон
Максимальное попереч-	0.35	0.21

ное ускорение кузова, g	удовлетв.	удовлетв.
Максимальное вертикальное ускорение кузова, g	0.63 удовлетв.	0.33 хорошо
Максимальный коэффициент вертикальной динамики	0.24 отлично	0.18 отлично
Максимальная рамная сила, кН	8.5 отлично	22.2 отлично
Минимальный коэффициент запаса устойчивости от схода колеса с рельса	0.7	1.4 допустимо
Вероятность, что коэффициент запаса устойчивости от схода колеса с рельса менее 1,3 (вероятность схода), %	2.5 допустимо	0.0

Для оценки воздействия на путь был выполнен расчет коэффициента вертикальной динамики при движении вагона с полной загрузкой (табл. 3) в кривых радиусом 350 и 650 м с максимально допустимыми скоростями.

Таблица 3

Максимальное значение коэффициента вертикальной динамики

Расчетный случай	Коэффициент вертикальной динамики для обрессоренных масс при скорости движения		
	60 км/ч	80 км/ч	100 км/ч
Прямая	0.06	0.09	0.18
Кривая радиусом 650 м	0.07	0.10	0.16
Кривая радиусом 350 м	0.09	0.10	–

Во всех случаях расчетный максимальный коэффициент вертикальной динамики был ниже 0,28, то есть тележка при выбранных параметрах может обеспечить воздействие на путь (при его отличном состоянии) не выше, чем тележка модели 18-100.

3 Оценка экономической эффективности эксплуатации поездов с осевой нагрузкой 30 т

Экономическая эффективность от увеличения провозной способности железных дорог с осевой нагрузкой 30 т оценивалась для ОАО «РЖД» применительно к перевозкам угля между Кузбассом и Мурманском. В рассмотренном случае ОАО «РЖД» является владельцем инфраструктуры и операторской компанией одновременно.

В соответствии с объемами перевозки угля, существующим парком полувагонов и новым прогнозируемым парком с осевой нагрузкой 30 т

было принято следующее распределение осевых нагрузок:

- 50 % вагонов реализуют осевую нагрузку 21 т;
- 10 % вагонов реализуют осевую нагрузку 23 т;
- 10 % вагонов реализуют осевую нагрузку 25 т;
- 25 % вагонов реализуют осевую нагрузку 27 т;
- 5 % вагонов реализуют осевую нагрузку 30 т.

Вагоны, реализующие более высокую осевую нагрузку, приводят к увеличению темпов роста остаточных деформаций путевой структуры. Вычисленные значения вертикальных и поперечных сил, действующих на рельс, позволили прогнозировать увеличение на 3 % расходов на ремонт повреждений пути, связанных с увеличением вертикальной нагрузки (замена шпал, болтов, креплений), и на 5% на ремонт повреждений, связанных с увеличением боковых сил.

Анализ напряжений в элементах конструкции пути показал, что сохранить их на имеющемся уровне (соответствующем средней осевой нагрузке 21 т) можно, ограничив скорость движения поездов с осевой нагрузкой 30 т до 60 км/ч. Это приведет к снижению средней скорости движения таких поездов, дополнительным расходам на потребление энергии и некоторой потере доходности, связанной с пропуском меньшего количества поездов в день.

Для снятия ограничения на скорость движения поездов с осевой нагрузкой 30 т необходимо проводить постепенное усиление пути на выбранном маршруте, что включает в себя увеличение высоты балластного слоя для защиты земляного полотна. Это может быть сделано в процессе плановых ремонтов, стоимость которых увеличится на стоимость дополнительного балласта и оплату труда.

Расходы также включают в себя покупку нового подвижного состава с осевой нагрузкой 30 т, что одновременно позволяет использовать занятые ранее на маршруте полувагоны под перевозку других грузов. Учтены также расходы на ремонт новых вагонов, снижение тарифа на возврате порожних вагонов.

Результирующие экономические параметры проекта следующие:

- простой срок окупаемости 2,2 года;
- дисконтированный (процентная ставка 15 %) срок окупаемости 2,5 года;
- положительный NPV, равный 1,39 млн руб., что подтверждает доходность проекта;
- IRR 45%, что превышает ставку дисконтирования и показывает эффективность проекта.

Таким образом, для ОАО «РЖД» проект по введению в эксплуатацию подвижного состава с осевой нагрузкой 30 т для перевозки угля при использовании новых ходовых частей не только обеспечивает увеличение провозной способности железных дорог, но и является экономически эффективным, устойчивым и доходным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Boronenko, Yu. The influence of construction schemes and parameters of three-piece freight bogies on wagon stability, ride and curving qualities [Текст] / Yu. Boronenko, A. Orlova, E. Rudakova // Proc. of XIX IAVSD Symposium. – Milano. – 2005.
2. Boronenko, Yu. P. Influence of bogie to car body connection parameters on stability and curving of freight vehicle [Текст] / Yu. P. Boronenko, A. M. Orlova // Ext. abstracts. 6th Int. Conf. "Railway bogies and running gears". – Budapest: BUTE. – September 2004. – P. 23-25.
3. Лесничий, В. С. Компьютерное моделирование задач динамики железнодорожного подвижного состава. Ч. 3: Моделирование динамики грузовых вагонов в программном комплексе MEDYNA [Текст] : учебн. пособие / В. С. Лесничий, А. М. Орлова. – СПб.: ПГУПС, 2002. – 35 с.
4. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 317 с.
5. Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности. МПС РФ [Текст]. – М., 2000.
6. Перспективные тележки для грузовых вагонов [Текст] / В. П. Ефимов и др. // Сб. докл. Межд. конф. «Развитие транспортного машиностроения в России». – Щербинка. – 2004. – С. 22-26.

Поступила в редколлегию 27.08.2009