



Пассажирский вагон плавно прошел свой путь



Валентина ТАРАСОВА
Valentina N. TARASOVA

Галина ЕФИМОВА
Galina N. EFIMOVA



Тарасова Валентина Николаевна – доктор исторических наук, профессор, заведующая кафедрой «Инновационные технологии» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.
Ефимова Галина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инновационные технологии» МИИТ, Москва, Россия.

Статья продолжает тему пассажирского вагоностроения (см. «МТ», 2006, № 2). Даются ретроспективный анализ (1865–2000 гг.) направлений совершенствования тележек вагонов, основные этапы и виды их модернизации, история создания устройств обеспечения плавности хода тележек. Названы представители научных школ, занимавшихся разработкой конструкций неавтоматической сцепки без боковых буферов, двухосных тележек с одинарным и тройным подвешиванием. Особая роль отведена участию сотрудников МИИТ в обосновании рационального угла установки наклонных гидравлических гасителей колебаний в центральном рессорном подвешивании, замене клиновых фрикционных гасителей в буксовой ступени резиновыми прокладками.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, история, пассажирский вагон, рессорное подвешивание, плавность хода, конструкция тележки, кузов, научные школы.

Пассажирский вагон является неотъемлемой частью пассажирского комплекса железных дорог, обеспечивая возрастающий спрос на сервисные услуги, комфортабельность и плавность хода поезда.

Пассажирское вагоностроение в России имеет длительную историю развития с середины XIX века по настоящее время. Особенности конструктивных решений и параметров вагонов определялись растущими требованиями к качеству перевозок и зависели от климатических и социальных условий, сложившихся традиций транспортного обслуживания населения.

Не все в жизни вагонов было вот так сразу гладко. Всегда оставались причины говорить об утомляемости человека в пути следования. Мешали прежде всего колебания кузова, которые влияют на положение частей тела. К вагонным колебаниям относятся подпрыгивание, продольная качка или галопирование, боковое параллельное колебание, боковая качка, виляние или поперечная качка, подергивание.

Совершенствование технических средств, обеспечивающих плавность хода, идет в направлении передачи и смягчения

действия растягивающих (тяговых) и сжимающих (ударных) усилий, форсирующих свое присутствие во время движения поезда.

Тележки пассажирских вагонов классифицируются по назначению, числу осей, устройствам рессорного подвешивания и буксовой связи, способу передачи нагрузки от кузова и его элементов на ходовые части, типу конструкции рамы.

Рессорное подвешивание снижает динамические воздействия пути на вагон и вагона на путь. Оно состоит из упругих элементов, возвращающих устройств и гасителей колебаний. Упругие элементы смягчают (амортизируют) толчки и удары по движущемуся вагону в вертикальной плоскости, а совместно с возвращающим устройством — в горизонтальной плоскости. Гасители колебаний служат уменьшению их амплитуды, успокоению обрессоренных масс вагона.

Под действием динамических сил со стороны колесной пары при перемещении вагона упругие элементы деформируются и обеспечивают плавные колебательные движения обрессоренных масс. В качестве упругих элементов в основном использовались витые пружины. В сравнении с листовыми рессорами они позволяли получить необходимые упругие характеристики при меньших массах и габаритных размерах, а в сочетании с гасителями колебаний делали более спокойным ход вагона. Кроме того, они смягчали горизонтальные толчки и удары, были проще и дешевле в изготовлении и ремонте, чем листовые. В дальнейшем появились пневматические, резинометаллические, торсионные и другие типы рессор.

У истоков отечественного пассажирского вагоностроения стояли выпускники С.-Петербургского корпуса инженеров путей сообщения. Первые построенные в России пассажирские вагоны имели центральную неавтоматическую сцепку без боковых буферов, тормоз с ручным приводом и тормозными колодками из осины. По мере совершенствования модели внимание конструкторов в первую очередь обращалось на уменьшение качки и тряски, для чего рессоры делали более упругими.

Пассажирские вагоны Александровского механического завода получали двухос-

ные тележки с одинарным подвешиванием. В 1865 году инженер Рехневский разработал новую конструкцию, в которой было применено двойное рессорное подвешивание, дававшее лучшую плавность хода, чем при одинарном подвешивании. В 1884 году на Русско-Балтийском заводе сконструирована тележка двойного подвешивания Фетте. Этот тип модели, опытный образец которой изготовили лишь спустя почти три десятка лет, производился до 1936 года, с заменой деревянно-металлических конструкций на металлические сварные.

Первые конструкции тележек тройного подвешивания появились в 1897 году в пассажирских вагонах дальнего следования и служебных. Через три года кузнечный мастер главных мастерских Петербурго-Варшавской железной дороги И. О. Браун предложил более перспективную конструкцию эллиптической рессоры.

Двухосные тележки, которые чаще других присутствовали в конструкциях пассажирских вагонов начала XX века, характеризовались улучшенными показателями рессорного подвешивания, боковыми буферами и центральными тягово-сцепными устройствами. К 1917 году все пассажирские вагоны отечественного образца имели сквозную упряжь с винтовой сцепкой и боковыми буферами.

В СССР в связи с появлением новых типов вагонов и увеличением скоростей движения конструкции тележек были значительно усовершенствованы. Выбор схемы рессорного подвешивания определялся требованиями по обеспечению плавности хода, устойчивости и динамических качеств вагона. В люлечном подвешивании кузов опирался на надрессорную балку, а балка через комплекты упругих элементов — на люльку, связанную с рамой тележки при помощи подвесок.

В 1937 году провели испытания тележек, каждая из которых обладала системой соединения рессор и свойствами смягчения вертикальных ударов. Тележки сравнивались между собой по величине амплитуд и частоте вертикальных и горизонтальных колебаний, величине ускорений и динамической перегрузке ходовых частей. Лучшими по плавности хода были признаны тележки тройного подвешивания Фетте с одинарными продольными балансирами,





тележки безбалансирной конструкции — завода им. Егорова, а также системы Ханина — с коническими пружинами в центральном рессорном подвешивании.

С конца 1940-х по 1980-е годы в пассажирских вагонах применялись двухосные тележки ЦВМ, КВЗ-5, КВЗ-ЦНИИ, КВЗ-ЦНИИМ и тележки для вагонов габарита РИЦ. Они обеспечивали устойчивое направление движения по рельсовому пути, распределение и передачу всех нагрузок от кузова на путь, восприятие тяговых и тормозных сил, движение вагона с минимальным сопротивлением и необходимой плавностью хода.

В 1940-е годы известный специалист в области динамики и конструкции вагонов М. В. Винокуров, который заведовал отделением вагонного хозяйства и одновременно возглавлял кафедру «Вагоны» в МЭМИ-ИТ, исследовал собственные и вынужденные колебания пассажирского вагона; на основе анализа дифференциальных уравнений он рекомендовал целесообразные соотношения жесткостей ступеней рессорного подвешивания, оценил влияние нелинейности подвешивания на плавность хода вагона и др.

В 1995—1997 годы учеными кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» МИИТ под руководством В. Д. Хусидова совместно с ОАО «ТВЗ» и ВНИИЖТ проводились научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по модернизации тележки КВЗ-ЦНИИ пассажирского вагона. Акцент был сделан на обоснование рационального угла установки наклонных гидравлических гасителей колебаний в центральном рессорном подвешивании, замену клиновых фрикционных гасителей колебаний в буксовой ступени резиновыми прокладками определенной жесткости.

Тележки КВЗ-ЦНИИ в диапазоне высоких скоростей движения в буксовой ступени подвешивания ухудшали показатели плавности хода. Гидравлические гасители центрального рессорного подвешивания по своим характеристикам и углу расположения в тележке не обеспечивали оптимальное гашение вертикальных и боковых колебаний. Показатель плавности хода составлял 3,25, что не соответствовало нормам, принятым министерством путей сообщения. Поэтому для модернизации

тележки были определены критические величины коэффициентов сопротивления гасителей на основе расчетов вертикальных и боковых колебаний вагона.

Установлено, что для вертикальных колебаний кузова критическое значение коэффициента сопротивления гасителя составляет 2,0 тс/м, а для боковых — 10 тс/м. Для этого при интегрировании системы дифференциальных уравнений задавалось начальное боковое отклонение кузова от положения равновесия и расчетным путем подбиралось такое значение, при котором процесс собственных затухающих колебаний становился апериодичным.

При вынужденных пространственных колебаниях пассажирского вагона на тележках типа КВЗ-ЦНИИ необходимая величина демпфирования вертикальных колебаний должна была быть в два раза больше, чем для боковых. Это обстоятельство следовало учитывать при определении рационального угла установки гасителя в тележке для совместного гашения вертикальных и боковых колебаний, а также при выборе коэффициентов сопротивления вертикальных и боковых гасителей, участвующих в раздельном гашении колебаний.

На предварительном обсуждении вариантов модернизации тележки КВЗ-ЦНИИ в ОАО «ТВЗ» было высказано предположение о том, что гашение боковых колебаний может быть осуществлено за счет трения в шарнирах люлечного подвешивания без постановки дополнительного гасителя.

В серии расчетов анализировались динамические показатели вагона при углах установки 45°, 60°, 75° к горизонтальной плоскости и различных коэффициентах сопротивления жидкости. В качестве динамических показателей вагона исследовались максимальные значения суммарных вертикальных сил в центральном подвешивании, действующих на надрессорный брус; вертикальных и боковых сил — на рессорные комплекты центрального подвешивания; боковых сил — между колесом и рельсом; рамных сил — на колесные пары; вертикальных и боковых ускорений кузова и рам тележек.

Сравнение результатов показало, что угол установки гасителя 45° является неблагоприятным, так как демпфирующие

силы большие по величине в горизонтальном, а не в вертикальном направлении. Предварительные расчеты этих величин зафиксировали, что они отличаются в два раза, и следовательно, для вертикальных колебаний при таком угле демпфирующей силы не хватает, а для боковых она получается излишней.

Наилучшие динамические характеристики отмечены при коэффициенте сопротивления гасителя 6–8 тс/м и угле установки 60–75°. Ускорения по кузову составляют 0,06–0,80 g, а по раме не превышают 0,50–0,60 g в диапазоне скоростей движения от 15 до 50 м/с (54–180 км/ч). При таких коэффициентах сопротивления гасителя и углах его установки обеспечивается необходимое соотношение демпфирующих сил в вертикальном и поперечном направлениях, а величины коэффициентов сопротивления близки к 0,25.

Стандартный гаситель тележки КВЗ-ЦНИИ имеет определенный по стендовой диаграмме коэффициент сопротивления порядка 12 тс/м.

Отсечка диаграммы предохранительным клапаном составляет примерно 1,5 т. Для указанных параметров гасителя проведены расчеты при четырех углах установки, равных 45°, 60°, 75°, 80°.

Эффективность мероприятий по модернизации центральной и буксовой ступеней рессорного подвешивания определяется показателями плавности хода в вертикальном и боковом направлениях. Показатели плавности хода получены расчетным путем при интегрировании системы, которая описывает динамическое состояние вагона. Согласно Шперлингу – по формуле:

$$W_f = 2,7K^{10}\sqrt{Z_0^3\omega^5},$$

где ω – частота колебаний; Z_0 – амплитуда колебаний; K – эмпирический коэффициент.

Для расчетов значения коэффициента K определялись по графику, показывающему изменение его значений в зависимости от частоты и направления колебаний. При этом за исходные величины состояния пути были взяты длины вертикальных и горизонтальных неровностей – 25 м; амплитуды вертикальной и горизонтальной неровностей – 0,02 м; ширина колеи – 1520 мм.

Типовой вариант тележки имел угол наклона гидравлического гасителя 45°, в буксовой ступени подвешивания располагались фрикционные гасители с силой трения 0,07 т, причем упругие прокладки отсутствовали. Модернизированный вариант тележки получил угол наклона гидравлического гасителя 60°, в буксовой ступени подвешивания фрикционные гасители отсутствовали, но были поставлены упругие прокладки со следующими характеристиками:

– жесткость прокладки на сжатие – 4000 т/м;

– жесткость на сдвиг – 2500 т/м;

– жесткость на смятие – 1500 т/м;

– коэффициенты неупругого сопротивления прокладок при деформациях сжатия, сдвига и смятия – соответственно 0,4, 0,3 и 0,3 тс/м;

– радиальные зазоры между прокладкой и шпинтоном – 10 мм.

Лучшую плавность хода показал вариант с отдельным гашением колебаний в центральной ступени и модернизированным вариантом буксовой ступени. Показатели плавности хода такой тележки в вертикальном и боковом направлениях были 2,80 и 2,09 при скоростях движения 30 и 45 м/с. Что на 25–30% превышало данные типового варианта.

Пользователи железнодорожного транспорта на каждом историческом этапе неизменно демонстрировали потребность в повышении эффективности пассажирских перевозок, и это было самым действенным стимулом к совершенствованию конструкции пассажирского вагона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагоны: учебник / Под ред. М. В. Винокурова. – М.: Трансжелдориздат, 1949. – 610 с.
2. Вагоны: учебник / Под ред. В. В. Лукина. – М.: Транспорт, 1988. – 280 с.
3. Ефимова Г. Н. История создания и перспективы модернизации пассажирского вагона / Дис... канд. техн. наук. – М., 2009. – 269 с.
4. Тарасова В. Н., Ефимова Г. Н. Как экипаж превратился в пассажирский вагон // Мир транспорта. – 2006. – № 2. – С. 134–143; 2006. – № 3. – С. 146–154.
5. Соловьева А. М. Железнодорожный транспорт России во второй половине XIX в. – М.: Наука, 1975. – 316 с.
6. Динамика пассажирского вагона и пути модернизации тележки КВЗ-ЦНИИ / В. В. Хусидов, А. А. Хохлов, Г. И. Петров, В. Д. Хусидов; под ред. А. А. Хохлова. – Екатеринбург: Полиграфист, 2001. – 163 с.
7. Шадур Л. А. Развитие отечественного вагонного парка. – М.: Транспорт, 1988. – 279 с.

