

УКД 625.032

Сравнительный анализ продольной динамики железнодорожных экипажей при переходных режимах

Ж.С. Мусаев, В.Г. Солоненко, Т.М. Дюсенгалиева

Рассмотрены основные причины, обуславливающие возникновение квазистатических сил на подвижном составе железных дорог различных стран. Приведена сравнительная характеристика конструктивных особенностей традиционных пассажирских вагонов и вагонов «Тальго».

Ключевые слова: подвижной состав, продольная динамика, квазистатические силы.

Comparative analysis of longitudinal dynamics of railway vehicles under transients

J.S. Musayev, V.G. Solonenko, T.M. Dyusengalieva

The main reasons leading to the occurrence of quasi-static forces on the rolling stocks of various countries have been considered. The comparative characteristics of the design features of railway vehicles are given.

Keywords: rolling stock, longitudinal dynamics, quasi-static forces.

Актуальность исследования квазистатических сил поезда — важный фактор безопасности движения железнодорожного состава и комфорта пассажиров.

Приоритетным направлением в исследовании движения поездов являются надежность, скорость движения, комфортность пассажиров в вагоне, а также энергоемкость и нанесение наименьшего ущерба окружающей среде.

Состав из вагонов с автосцепками представляет собой многосвязный шарнирно-стержневой механизм. Звенья этого механизма — вагон, автосцепки — при растяжении поезда на прямом участке пути располагаются на одной прямой линии, если закрепление хвостовиков автосцепки сцентрировано. В этом случае повышение продольной растягивающей силы в поезде не вызывает увеличения бокового воздействия колес на рельсы, но возникают дополнительные групповые воздействия колес на путь из-за эксцентриситета закрепления хвостовика автосцепки в горизонтальной и вертикальной плоскости. Значение эксцентриситета обусловлено отклонением от номинального положения хвостовика автосцепки при изготовлении экипажа на заводе, а высота автосцепки зависит от нагрузки вагона и износа колес. При ведении поезда возникают вертикальные перекосы при сжатии.

При квазистатическом сжатии поезда его звенья (вагон и автосцепка с фрикционным аппаратом) в процессе движения поезда стараются



МУСАЕВ

Жанат Султанбекович

доктор технических наук, профессор
(Казакская академия транспорта
и коммуникаций им. М. Тынышпаева)

MUSAYEV

Janat Sultanbekovich

Dr. Sc. Techn., Professor
(Kazakh Academy of Transport
and Communications named
after M. Tynyshpaev)



СОЛОНЕНКО

Владимир Гельевич

доктор технических наук, профессор
(Казакская академия транспорта
и коммуникаций им. М. Тынышпаева)

SOLOENENKO

Vladimir Geliyevich

Dr. Sc. Techn., Professor
(Kazakh Academy of Transport
and Communications named
after M. Tynyshpaev)



ДЮСЕНГАЛИЕВА

Турлы Мухтаровна

кандидат технических наук,
и.о. доцента

(Казакская академия транспорта
и коммуникаций им. М. Тынышпаева)

DYUSENGALIEVA

Turly Muhtarovna

Candidate of Engineering Sciences, acting
Assoc. Prof.

(Kazakh Academy of Transport
and Communications named
after M. Tynyshpaev)

перекосятся. Удерживают их в основном положении связи, роль которых играют тележки с рессорами и колесными парами, взаимодействующие с рельсовой колеей, а у локомотивов, пассажирских и рефрижераторных вагонов, кроме того, устройства упругой поперечной связи кузова с рамой тележки [1].

Вследствие наличия зазоров между гребнями и головкой рельса, а также в рессорах, буксовых и пятниковых узлах (у локомотивов и цельнометаллических вагонов в устройствах связи кузова с рамой тележки), из-за извилистого движения экипажей, наличия эксцентриситетов горизонтального и вертикального расположения хвостовиков автосцепки относительно номинальной (проектной) продольной линии осей автосцепок, кузова и автосцепки экипажей располагаются в процессе движения с некоторыми начальными перекосами. Эти перекосы чаще всего возникают по схеме «елочки». При такой схеме групповое дополнительное воздействие колес тележки на путь является максимальным (рис. 1).

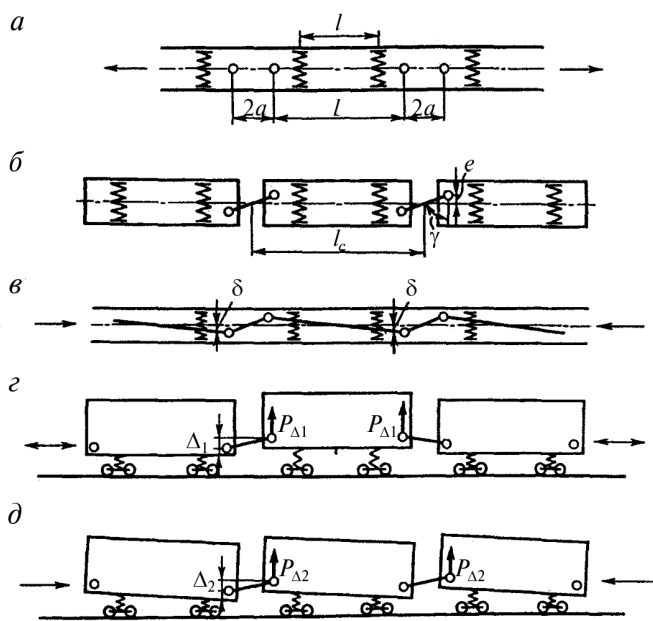


Рис. 1. Схемы расположения экипажей на прямом участке пути:

a — в растянутом поезде при сцентрированном закреплении хвостовиков автосцепки; *b* — при горизонтальном эксцентриситете закрепления хвостовиков автосцепки *e*; *в* — в сжатом поезде при перекосе экипажей по схеме «елочки»; *г* — при вертикальном эксцентриситете Δ_1 уровня автосцепок; *д* — в сжатом поезде с образованием вертикальных перекосов экипажей Δ_2

Такие дополнительные поперечные силы, приложенные к тележке, и создают в горизонтальном направлении дополнительное групповое боковое воздействие колес тележки на путь. При этом колеса смежных тележек действуют на разные рельсы нити, т. е. стремятся распереть колею или сдвинуть ее смежными тележками в разные стороны (рис. 2).

В кривых воздействие группового давления определяется по формуле [2]:

$$H_R = F \cos\left(90^\circ - \frac{\lambda}{2}\right) = F \sin \frac{90^\circ l_c}{\pi R} = F \sin \frac{90^\circ(L - 2a)}{\pi R}, \quad (1)$$

где H_R — групповое боковое воздействие; F — квазистатическая сила; R — радиус кривой; l_c — длина экипажа между осями сцепления автосцепок; L — длина кузова; a — длина автосцепки.

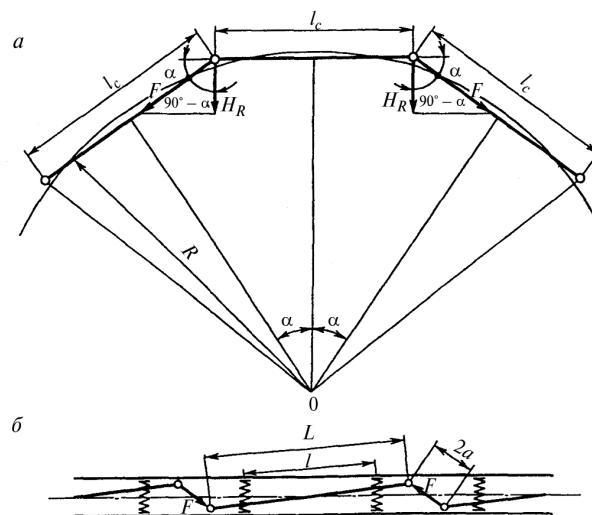


Рис. 2. Схема расположения экипажей:

a — в кривой при растяжении поезда; *б* — при перекосе по схеме «елочки» в прямой в сжатом поезде

На прямых участках при $R = \infty$, $H_R = a$, но на кривых участках, чем меньше радиус, тем больше дополнительное групповое боковое действие колес тележки на путь. Под тележкой четырехосного полувагона ($l_c = 1392$ м) в кривых $R = 800$ и 300 м при квазистатическом растяжении поезда чрезвычайно большой силой $F = 2000$ кН сила H_R составляет соответственно 35 и 93 кН. При квазистатическом сжатии движущегося поезда на прямом участке пути,

групповое воздействие колес тележки на путь, обусловленное эксцентриситетом закрепления хвостовиков автосцепки и горизонтальным поперечным перемещением кузова в зоне тележки из-за перекосов по схеме «елочка», определяется по формулам:

$$H_e = \frac{eFL}{al}; H_\delta = \frac{\delta F}{a} \left(\frac{L}{l} \right),$$

где H_e — групповое воздействие колес тележки на путь; H_δ — групповое воздействие на путь горизонтальным перемещением кузова в зоне тележки из-за перекосов по схеме «елочки»; a — длина автосцепки (0,87 м); L — длина кузова между упорами хвостовика автосцепки; δ — горизонтальное поперечное перемещение кузова; F — квазистатическая сила.

С учетом воздействия этих двух факторов формула преобразуется к следующему виду:

$$H_{\delta e} = \frac{Fl(\delta L + el)}{ae^2}.$$

Для снижения квазистатических сил необходимо изменить параметры e , δ , и радиус кривых. Если радиус кривых можно увеличить спрямлением пути, то изменение других параметров зависит от конструкции вагона.

На традиционном отечественном подвижном составе автосцепка не имеет стабилизирующего шарнира в хвостовике, поэтому сжимающая сила хвостовиком автосцепки передается опорной плите в точке и при перекосах экипажей по схеме «елочки» эта точка контакта перемещается в поперечном направлении относительно экипажа незначительно.

За рубежом на большинстве железных дорог применяется автосцепка со стабилизирующим шарниром в зоне контакта хвостовика с опорной плитой.

Значительную долю уменьшения квазистатических сил составляют зазоры между гребнями колес и рельсом, зазоры в буксах, пятниковых и других узлах вагонов, влияющих на перемещение кузова в поперечном направлении [3].

Использование изложенной методики расчета воздействия тележки на путь в зависимости от F , δ , e , L , l и R позволяет научно обосновать причину схода колес.

Традиционные пассажирские вагоны опираются на четыре пружинные опоры, которые работают статически и квазистатически на постоянной высоте. При такой системе опор возникают квазистатические силы при входе в кривую, сжатии и торможении тормозом локомотива, а также на прямом участке пути при торможении и сжатии поезда.

В системе вагонов «Тальго» поддерживаются традиционные принципы: легкая конструкция, направляемые оси с колесами независимого вращения, низкий центр тяжести, сочлененное соединение между элементами, подвижные кузова, система естественной маятниковой подвески «Тальго».

Специфическое расположение тележки между вагонами было использовано при создании вагонов «Тальго» для размещения подвески кузова вагона на уровне, близком к уровню потолка, намного выше центра тяжести кузова. За счет этого центробежная сила наклоняет вагон во внутреннюю сторону поворота (рис. 3). Эта система естественной подвески не вызывает смещения по касательной кривой железнодорожного пути, т. е. исключает квазистатиче-

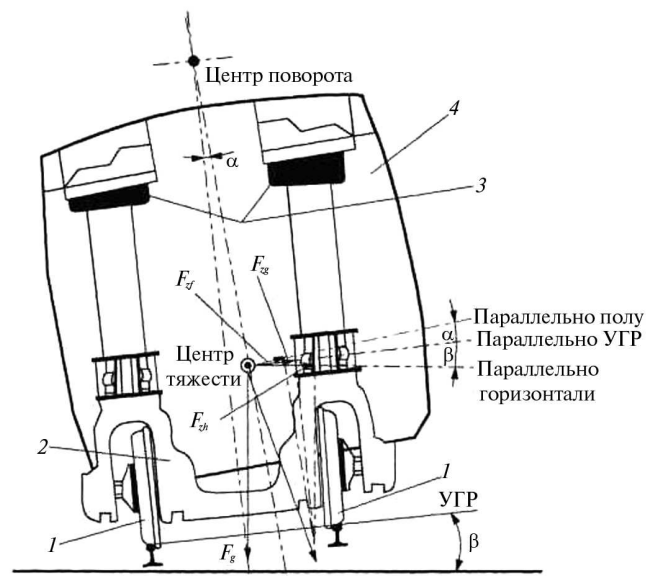


Рис. 3. Кинематика системы наклона кузова «Тальго» в поезде:

$F_{zг}$ — поперечная сила, действующая параллельно полу вагона; F_{zg} — то же, параллельно уровню головок рельсов; F_{zh} — то же, параллельно горизонтали; F_g — сила тяжести; 1 — колесный блок; 2 — рама одноосной тележки; 3 — пневморессоры; 4 — кузов

ские силы, направленные наружу кривой. Подобное явление наблюдается при прохождении поезда в кривой, когда кузов вагона оказывает существенное влияние на величину квазистатических сил.

Ходовая часть «Тальго Пендулар» устанавливается между двумя соседними вагонами и имеет одну ось с независимым вращением колес.

В системе «Тальго» оси всегда ориентируются перпендикулярно пути. Это значит, что каждое колесо даже в кривой расположено параллельно рельсу и не может оказывать влияние на путь в боковом направлении. Специальный механизм, действующий автоматически, постоянно удерживает колеса параллельно рельсам, как на прямых участках пути, так и на кривых. Независимое вращение колес исключает проскальзывание колеса, идущего по внутреннему рельсу, что исключает возможность возникновения ползунов на поверхности катания колес. Независимые колеса благоприятно воздействуют на экипажную часть, уменьшают акустическое загрязнение окружающей среды. В системе «Тальго» используется специальный механизм направления колес осей торцевых тележек, состоящий из системы тяг и включающий необходимость наличия специальных буферов на локомотиве.

Упругая осевая тяга между вагонами служит соединением в продольном направлении вагонов и передает тяговое усилие локомотива, сжатие при сцепке с локомотивом или при торможении, также передает и поперечные воздействия, которые возникают между экипажами, давая возможность относительному вращению.

Кузова вагонов «Тальго Пендулар» опираются на три точки подвески. Одна из них — на соседнем вагоне, механическая, а две другие — пневматические. Такая форма опоры позволяет в каждом вагоне обеспечить автономную маятниковую подвеску, не зависящую от подвески других вагонов.

Выводы

Таким образом, можно подвести итог причин возникновения квазистатических сил на подвижном составе железных дорог Казахстана.

1. Хвостовик автосцепки традиционного подвижного состава не имеет стабилизатора, нейтрализующего эксцентриситет передачи от экипажа к экипажу продольной сжимающей силы поезда; при этом обеспечивается низкая жесткость поперечной горизонтальной связи кузова с тележкой, особенно у локомотивов, пассажирских и рефрижераторных вагонов при отсутствии буферов.

2. При таком чувствительном к продольным сжимающим квазистатическим силам подвижном составе на отечественных дорогах неоправданно используют приемы торможения поезда только локомотивом, экстренным, полным служебным и рекуперативным торможением.

3. На отечественных традиционных экипажах не исследован в полной мере вопрос конструктивных эксцентриситетов передачи автосцепками продольных сжимающих сил от экипажа к экипажу.

4. Концентрация в голове поезда двух, тем более трех шестиосных секций локомотива с осевой нагрузкой 230...240 кН при ведении порожнего, а тем более сборного поезда с перебежкой порожних и груженых вагонов создает аварийную ситуацию при использовании только локомотивного тормоза на четвертой позиции, а также при экстренном и полном служебном торможении, особенно в конце затяжных спусков.

5. Положительной стороной маятниковой подвески кузова у вагонов по системе «Тальго» является исключение толчков и рывков, имеющих место в отечественных пассажирских вагонах. Заклинивание колесных пар практически исключено, так как поверхность катания колеса не используется как фрикционная и, кроме того, автоматически контролируется вращение колеса.

Литература

1. Лукьянов А.В., Лукьянов С.А. Методика экспериментальных исследований условий контактирования с рельсами колес движущихся поездов. Повышение прочности и надежности пути // Сб. науч. тр. М.: Транспорт, 1989. С. 36—42.
2. Лысюк В.С. Основные причины и механизм схода колес рельсов // Путь и путевое хозяйство. 1996. № 4. С. 11—90. № 5. С. 17—37.
3. Мусаев Ж.С., Шимбулатова А.Б., Токмурзина Н.А. Анализ возникновения квазистатических сил в поездах на

железных дорогах республики Казахстан // Вестник КазАТК. 2009. № 1 (56). С. 24—28.

References

1. Luk'ianov A.V., Luk'ianov S.A. *Metodika eksperimental'nykh issledovaniy uslovii kontaktirovaniia s rel'sami koles dvizhushchikhsia poezdov Povyshenie prochnosti i nadezhnosti puti* [The method of experimental studies contact conditions with rails wheels moving trains. Rugged and reliable way]. *Sbornik nauchnykh trudov* [Collection of scientific works]. Moscow, Transport publ., 1989, pp. 36—42.

2. Lysiuk V.S. *Osnovnye prichiny i mekhanizm skhoda koles rel'sov* [The main causes and mechanism of gathering wheel rails]. *Put' i putevoe khoziaistvo*, 1996, no. 4, pp. 11—90, no. 5, pp. 17—37.

3. Musaev Zh.S., Shimbulatova A.B., Tokmurzina N.A. *Analiz vozniknoveniia kvazistaticheskikh sil v poezdakh na zheleznykh dorogakh respubliky Kazakhstan* [Analysis of quasi-static forces in trains on the railways of the Republic of Kazakhstan]. *Vestnik KazATK*, 2009, no. 1 (56), pp. 24—28.

Статья поступила в редакцию 10.10.2012

Информация об авторах

МУСАЕВ Жанат Султанбекович (Алматы) — доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны». Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (050012, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко, 97, e-mail: mussaev19-75@mail.ru).

СОЛОНЕНКО Владимир Гельевич (Алматы) — доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны». Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (050012, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко, 97, e-mail: v.solonenko@mail.ru).

ДЮСЕНГАЛИЕВА Турлы Мухтаровна (Алматы) — кандидат технических наук, и.о. доцента кафедры «Конструкция транспортных сооружений». Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (050012, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко, 97).

Information about the authors

MUSAYEV Janat Sultanbekovich (Almaty) — Dr. Sc. Techn., Professor of «Wagons» Department. Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev (Shevchenko Str. 97, 050012 Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: mussaev19-75@mail.ru).

SOLOHENKO Vladimir Gelievich (Almaty) — Dr. Sc. Techn., Professor of «Wagons» Department. Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev (Shevchenko Str. 97, 050012 Almaty, Republic of Kazakhstan. e-mail: v.solonenko@mail.ru).

DYUSENGALIEVA Turly Muhtarovna (Almaty) — Candidate of Engineering Sciences, acting Assoc. Prof. of «Construction of Transport Facilities» Department. (Shevchenko str. 97, 050012 Almaty, Republic of Kazakhstan).