

ВЛИЯНИЕ НАКЛОНА КУЗОВА ВАГОНА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО КРИВЫМ УЧАСТКАМ ПУТИ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕС С РЕЛЬСАМИ

У статті наведено інформацію щодо розрахункових сил взаємодії в системі «колесо-рейка» при русі вагона по кривих ділянках колії зі швидкістю до 160 км/год та прогнозується зміна зносу коліс.

В статье приведена информация о расчетных силах взаимодействия в системе «колесо-рельс» при движении по кривым участкам пути со скоростью до 160 км/ч и прогнозируется изменение износа колес.

In the article the information on calculated forces of interaction in the system "wheel-rail" is presented at movement on curve sections of a track with a speed less than 160 km/h and the change of wear of wheels is predicted.

Предельно допустимые возвышения наружного рельса в кривых, принятые на отечественных железных дорогах, не позволяют поднимать скорости движения из-за ограничений по непогашенному ускорению. Эта проблема может быть решена путем оборудования поездов устройствами для наклона кузова [1, 2].

Системы для наклона кузова применяются на большинстве современных пассажирских железнодорожных транспортных средствах, в первую очередь на новейших высокоскоростных поездах и в пригородном сообщении. Их эволюция происходит в направлении усовершенствования механических схем, обеспечивающих наклон кузова, совершенствовании силового привода путем перехода от гидравлического к электромеханическому. Параллельно разрабатываются электронные системы управления, обладающие большей отказоустойчивостью и эффективностью.

В научно-технической литературе информации о динамике вагонов с наклоняемыми кузовами недостаточно и, прежде всего, относительно сил взаимодействия колес с рельсами. В [3] отмечается, что оборудование вагона механизмом наклона кузова ухудшает динамику движения в прямых участках пути, а именно – увеличивается боковая качка вагонов. Кроме того, наклон кузова приводит к взаимному смещению центров масс экипажных частей, что может влиять на их динамические показатели.

В данной работе преследовалась следующая цель: исследовать влияние наклона кузова вагона на силы взаимодействия в системе «колесо-рельс» при движении по кривым, оценить изменение износа колес при различных конструкциях механизмов и устройств, реализующих этот наклон.

Как отмечается в научно-технической литературе по данной тематике, поворот кузова лучше всего осуществлять относительно продольной оси симметрии вагона, размещенной на высоте центра масс пассажиров, чтобы обеспечить для них наиболее комфортные условия. Однако координата центра масс пассажиров по высоте является величиной переменной, т.к. зависит от типа вагона (спальный, пригородного сообщения с сидячими местами, двухэтажный и др.). Кроме того, у каждого пассажира расположение центра масс индивидуальное (например, у детей и взрослых). Следовательно, координата центра масс пассажиров является случайной величиной. Все это влечет за собой либо увеличение номенклатуры конструкций механизмов поворота кузова, либо необходимость в их настройке в зависимости от типа вагона.

В связи с этим конструкторы предпочитают размещать продольную ось поворота кузова по высоте не в самом центре масс системы «кузов – пассажиры», а вблизи него.

По месту расположения продольной оси кузова относительно общего центра масс, механизмы поворота можно разделить на два типа.

К первому типу отнесем механизмы, реализующие повороты кузова вокруг продольной оси, размещенной ниже общего центра масс. Они могут быть реализованы, например, с помощью пневматических рессор. Под воздействием центробежной силы кузов отклоняется (заваливается) наружу кривой, принуждая увеличивать угол поворота (внутрь кривой), реализуемый механизмом наклона кузова. Применение пневматических рессор, жесткость которых поддается регулированию, позволяет предотвратить заваливание кузова. Более того, воз-

можно реализация наклона кузова внутрь кривой на угол до 4° . Такая система получила название «гибридной» и получила воплощение на японских поездах с принудительным наклоном кузова и активным пневматическим рессорным подвешиванием [4, 5].

Ко второму типу устройств отнесем механизмы, осуществляющие повороты кузова вокруг продольной оси, размещенной выше центра масс. Такие устройства содержат роликовые опоры кузова на тележки, которые перемещаются по направляющим, выполненным в виде дуг окружностей и размещенных на раме тележки. Известны также устройства второго типа, конструкция которых подобна люлечному подвешиванию вагонов. В последнем случае наблюдаются вертикальные перемещения координаты продольной оси поворотов кузова, приводящие к поперечным смещениям общего центра масс системы «кузов-пассажиры». Это перераспределяет нагрузки от колес на наружный и внутренний рельсы, изменяя направляющие силы, действующие на гребни колес, углы набега гребней, их износ и прокат колес. Количественные оценки этих изменений в научно-технической литературе освещены недостаточно.

В связи с этим нами исследовано влияние наклона кузова на рабочие свойства системы «колесо - рельс».

Исследование производилось путем математического моделирования с использованием компьютерных технологий. Рассмотрено установившееся движение по кривым обобщенного экипажа вагона, имеющего нелинейные характеристики связей рам тележек с кузовом и буксами, пневматическое рессорное подвешивание во второй ступени, опорно-рамную подвеску тяговых электродвигателей (у моторного вагона), устройства для наклона кузова различной конструкции. Силы в контактах поверхностей качения колес с рельсами находились по нелинейной модели крипа или сухого трения [6].

Исследование показало, что наклон кузова не оказывает заметного влияния на распределение вертикальных сил между наружным и внутренним рельсами, если центр поворота кузова совпадает с центром масс системы «кузов-пассажиры». Смещение же продольной оси поворота вверх или вниз от центра масс вызывает поперечные отклонения центра масс.

Первый тип устройств смещает центр масс внутрь кривой, а второй тип смещает его наружу кривой. При этом изменяются вертикальные нагрузки от колес на рельсы, а вместе с ними

изменяются силы трения (крипа) в контактах колес с рельсами.

Направляющая сила, действующая на гребень колеса, набегающего на рельс, определяется по известной зависимости

$$Y_n = Y_B \pm F_{тр}$$

где Y_B – боковая сила, действующая от колеса на рельс, вызывая его упругое отжатие; $F_{тр}$ – поперечная составляющая силы трения на поверхности качения этого же колеса.

У двухосных тележек со шкворнем, размещенным в середине рамы, полюс поворота находится позади передней колесной пары. Поэтому знак перед $F_{тр}$ будет положительным, т.е. уменьшение нагрузки на набегающее колесо приведет к уменьшению направляющей силы, а увеличение ее – к соответствующему увеличению этой силы у систем наклона кузова первого и второго типов. Следовательно, можно ожидать соответствующих изменений износа гребня этого колеса, поскольку он прямо пропорционален направляющей силе (рис. 1).

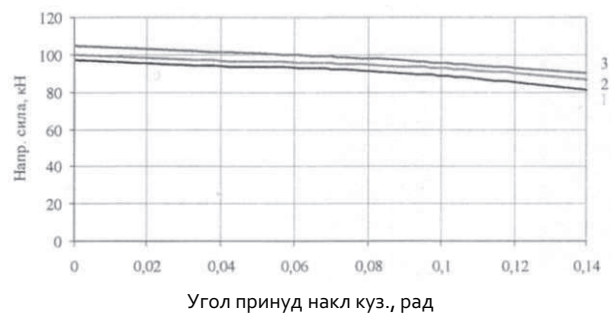


Рис. 1. Зависимость направляющей силы, действующей на гребень колеса, катящегося по наружному рельсу кривой радиусом: 1 – 1000 м, 2 – 650 м, 3 – 350 м, - от угла наклона кузова; скорость движения 160 км/ч; механизм наклона первого типа

Исследование показало, что при первом типе устройств для наклона кузова уменьшение износа гребня набегающего колеса снижается в сравнении с экипажем без наклона кузова, но в меньшей мере, чем ожидалось. Это объясняется тем, что одновременно увеличивается угол перекоса тележки в колее, составляющий основную долю угла набега гребня на рельс (рис. 2). Этот угол возрастает в связи с тем, что увеличение угла наклона кузова приводит к уменьшению непогашенного ускорения соответствующей центробежной силы, передающейся через шкворень на тележку. При этом снижается эффект от наблюдаемого уменьшения направляющих сил.

Моделирование показало, что износ гребня направляющего колеса экипажа снижается при использовании механизмов первого типа, смещающих центр масс системы «кузов-пассажиры» внутрь кривой (рис. 3). Эта особенность свойственна механизму наклона кузова на основе пневморессор.

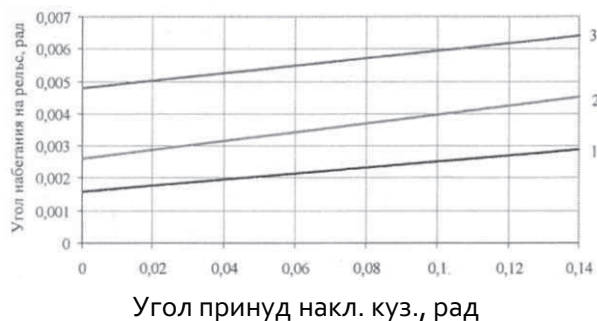


Рис. 2. Зависимость угла набегания гребня колеса, катящегося по наружному рельсу кривой радиусом: 1 - 1000 м, 2 - 650 м, 3 - 350 м, от угла наклона кузова; скорость движения до 160 км/ч

Исследование влияния на процесс взаимодействия направляющих колес экипажа оборудованного устройствами для наклона кузова второго типа с рельсами выявило следующие особенности. Центр масс системы «кузов-пассажиры» смещается в поперечном направлении наружу кривой, что увеличивает вертикальные нагрузки от колес на наружный рельс.

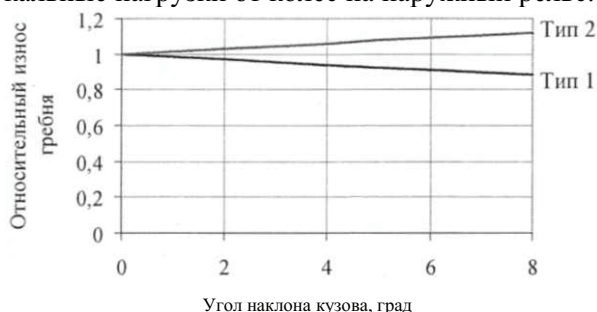


Рис. 3. Зависимость износа гребня колеса от угла наклона кузова для механизмов наклона первого и второго типа

В результате этого возрастают направляющие силы, действующие на гребни набегających колес экипажа. Углы набегания этих гребней на рельсы изменяются также как и при устройствах для наклона кузова первого типа. Исследование показало, что при реализации наклона кузова посредством механизмов второго типа, смещающих центр масс системы наружу кривой, износ гребней при тех же условиях будет больше, чем у вагона без наклона кузова, другими словами, он имеет тенденцию к росту пропорционально увеличению угла наклона кузова (см. рис. 3).

Оценка износа поверхности качения колеса в кривых участках пути по «фактору износа» показала, что прокат колес изменяется пропорционально величине смещения центра масс системы.

Выводы

1. Проведен анализ наиболее характерных конструкций механизмов, осуществляющих наклон кузова вагона в кривых участках пути, который позволил разделить их на два типа, у первого из которых продольная ось поворота (наклона), кузова размещена ниже центра масс системы «кузов-пассажиры», а у второго она расположена выше этого центра масс.

2. При наклонах кузова наблюдается смещение центра масс системы «кузов-пассажиры» в поперечном направлении у первого типа устройств внутрь кривой, а у второго типа наружу кривой.

3. Поперечные смещения центра масс системы «кузов-пассажиры» приводит к перераспределению нагрузок на наружный и внутренний рельсы кривой: при первом типе устройств наружный рельс разгружается, а при втором типе – догружается до 11 % при угле наклона 8° .

4. Конструктивно механизмы первого типа содержат пневматические рессоры в центральной ступени, а механизмы второго типа содержат опорные ролики, размещаемые в дугообразных направляющих, установленных между кузовом и тележкой, либо содержат устройства типа люлечного подвешивания вагонов.

5. Механизмы первого типа, осуществляющие поворот кузова путем изменения давления или количества воздуха в правой и левой группах рессор с помощью многофункциональных питательных высоторегулирующих клапанов (или других устройств). Они незначительно усложняют конструкцию экипажа, но угол принудительного наклона, который можно реализовать, не превышает 4° по условиям надежной работы автосцепных устройств.

6. Механизмы второго типа, содержащие опорные ролики или выполненные по типу люлечного подвешивания вагонов в большей мере усложняют конструкцию экипажей, но позволяют получить угол наклона кузова до 8° .

7. Исследование показало, что в целом наклон кузова в кривых не приводит к существенным изменениям направляющих сил, действующих от боковой грани рельса на гребень колеса, а, следовательно, и его износа, который при самых больших углах наклона кузова из-

меняется в пределах 9 % при движении со скоростями до 160 км/ч.

8. Боковые силы, вызывающие упругие отжатая наружного рельса в кривых, изменяются в зависимости от поперечной составляющей силы трения колеса по внутреннему рельсу: смещение центра масс внутрь кривой приводит к увеличению боковой силы, а наружу к ее уменьшению.

9. В большей мере это увеличение боковых сил наблюдается у первого типа механизмов вследствие того, что у них смещение центра масс системы «кузов-пассажиры» происходит в направлении от центра кривизны пути наружу кривой, когда перегружается внутренний рельс.

10. Таким образом, выбор типа механизма для наклона кузова вагона в кривых в процессе проектирования экипажной части решается конструктором с учетом технологических возможностей производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корниенко, В. В. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт [Текст] / В. В. Корниенко, В. И. Омеляненко. – Х.: НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с.

2. Поезда с наклоняемыми кузовами для скоростного пассажирского движения [Текст] / В. И. Омеляненко и др. // Локомотив-информ. – Х.: Техностандарт, 2008. – № 5. – С. 12-17.
3. Zolotas, A. C. A Comparison of Tilt Control Approaches for High Speed Railway Vehicles [Текст] / A. C. Zolotas, R. M. Goodall, G. D. Halikiast // Proc. ICSE 2000, Coventry, UK. – vol. 2 (2000), September. – P. 632-636.
4. Маслиев, В. Г. К вопросу о выборе системы управления наклоном кузова скоростного подвижного состава [Текст] / В. Г. Маслиев, Д. И. Якунин // Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля. – Луганськ, 2008. – № 5 (123). – С. 33-36.
5. A control method for hybrid tilting system using tilting beams and air spring inclination [Текст] / S. Kamoshita et al. // QR of RTRI. – Vol. 48, No. 1. – Feb 2007.
6. Некоторые результаты компьютерного моделирования динамики перспективного подвижного состава [Текст] / В. Г. Маслиев и др. // Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля. – Луганськ, 2007. – № 8 (114). – С. 31-34.

Поступила в редколлегию 28.08.2009