

Г.С. МИХАЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор, БГТУ (Россия)

В.Н. ЯЗЫКОВ, ассистент, БГТУ (Россия)

В.С. КОССОВ, д-р техн. наук, ФГУП ВНИКТИ МПС РФ (Россия)

А.В. СПИРОВ, инженер, ФГУП ВНИКТИ МПС РФ (Россия)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОДОВОЙ ДИНАМИКИ И ИЗНОСА КОЛЕС ГРУЗОВОГО ЛОКОМОТИВА С РАДИАЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ КОЛЕСНЫХ ПАР

Приведено результати комп'ютерного моделювання руху вантажного тепловоза з оригінальними тривісними візками з механізмом радіальної установки колісних пар конструкції ФГУП ВНИКТИ МПС. Чисельне моделювання руху здійснювалося за допомогою програмного комплексу «Універсальний механізм».

Приведены результаты компьютерного моделирования движения грузового тепловоза с оригинальными трехосными тележками с механизмом радиальной установки колесных пар конструкции ФГУП ВНИКТИ МПС. Численное моделирование движения осуществлялось с помощью программного комплекса «Универсальный механизм».

Results of detailed simulation of motion of the freight locomotive equipped with original three axle bogies with the radial steering mechanism designed by VNIKTI are given. The simulation was performed with the help of the program UM Loco developed at BSTU. To solve the wheel-rail contact problem an approximate model which does not lead to stiff equations of motion and can be used for non-elliptical contact areas was used.

Снижение износа колёс и уменьшение воздействия локомотивов на путь являются важнейшими задачами, которые необходимо решать при создании современного тягового подвижного состава и его эксплуатации.

В последнее время среди возможных мероприятий по уменьшению износа все больше внимания уделяется тележкам с радиальной установкой колесных пар (РУКП). Применение тележек такой конструкции позволяет значительно снизить износ, поскольку уменьшается величина угла набегания колес на рельсы и, следовательно, относительное проскальзывание в контакте «колесо – рельс». Экспериментальные и теоретические исследования доказали большую эффективность тележек с РУКП в уменьшении износа колес.

Для экипажей с РУКП почти всегда необходимо искать компромиссные конструктивные решения, направленные на обеспечение устойчивого движения в прямых и уменьшение износа колес и рельсов в кривых. Эта задача решается обычно путем подбора упруго-диссипативных параметров экипажной части, что предполагает большой объем теоретических исследований.

В БГТУ выполнено компьютерное моделирование движения грузового тепловоза с оригинальными трехосными тележками с меха-

низмом РУКП конструкции ФГУП ВНИКТИ МПС (рис. 1). Буксы крайних колесных пар 1 соединены с помощью тяг 2 с поперечными балансирными 3, которые шарнирно укреплены на раме тележки, и имеют только вращательную степень свободы. Балансиры связаны между собой системой тяг и рычагов, обеспечивающих радиальную установку колесных пар по принципу антипараллелограмма.

Радиальная установка колесных пар в этих тележках обеспечивается за счет действия сил в контакте колеса с рельсом и уменьшения продольной жесткости связи колесных пар с рамой тележки. Однако уменьшение продольной жесткости и кинематическая связь колесных пар механизмом РУКП приводит к нестабильному движению экипажа при повышенных скоростях в прямых участках пути и пологих кривых.

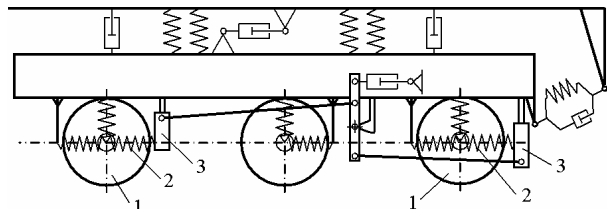


Рис.1. Схема тележки с механизмом РУКП

Численное моделирование движения исследуемого экипажа осуществлялось с помощью программного комплекса «Универсальный ме-

ханизм» [1] (www.umlab.ru), разработанного в БГТУ под руководством проф. Погорелова Д.Ю. Компьютерная модель тепловоза представляет собой систему абсолютно твердых тел, связанных шарнирами и силовыми элементами. Причем все силовые элементы являются невесомыми, то есть их собственная динамика не учитывается, что вполне оправдано, так как она крайне незначительно влияет на динамику экипажа в целом. Созданная модель тепловоза имеет 78 степеней свободы.

Проведено моделирование движения экипажа с механизмом РУКП в прямых и кривых участках пути с вертикальными и горизонтальными неровностями. Используемые неровности соответствуют пути удовлетворительного содержания по данным ВНИИЖТа. В качестве тестовых кривых приняты кривые радиусом 300 и 600 м. Для моделирования выбраны два вида колесных профилей: стандартный конический и профиль ДМетИ. Рельс имеет профиль типа Р65. Показатели износа колес и динамики экипажа с механизмом РУКП сравнивались с показателями серийного тепловоза ТЭ116. Причем основные инерционные и геометрические параметры исследуемых экипажей приняты одинаковыми.

Для решения задачи контакта колеса с рельсом разработана модель негерцевского контакта [2], на основе которой был построен быстрый алгоритм, не приводящий к жестким уравнениям движения и позволяющий получить приемлемые результаты по быстродействию численного моделирования движения рельсовых экипажей. Кроме того, для оценки износа колес и рельсов был разработан алгоритм, рассчитывающий распределение работы сил трения в пятне контакта по профилям колес и рельсов в процессе моделирования движения железнодорожных экипажей.

Проведенные численные эксперименты показали, что динамика в прямых участках пути исследуемого экипажа с исходными параметрами хуже, чем у экипажа-эталона ТЭ116. И если при моделировании со стандартным коническим профилем колес динамика экипажа с РУКП все же удовлетворительна, то с применением колесных профилей ДМетИ этот экипаж имеет недопустимо высокий уровень динамических показателей при скоростях выше критических, но находящихся в рабочем диапазоне. В то же время, показатели износа колес экипажа с РУКП значительно ниже, чем у экипажа ТЭ116. Поэтому сделан вывод о необходимости поиска конструктивных путей, кото-

рые позволили бы улучшить динамические качества исследуемого экипажа при движении в прямых участках и заметно не снизили эффективность работы механизма РУКП при движении в кривых. Рассмотрены следующие конструктивные решения: 1) установка гасителей колебаний в механизме РУКП, 2) установка гасителей виляния между кузовом и тележкой, 3) разумное увеличение жесткости продольной связи колесной пары и рамы тележки c_{x1} .

Установлено, что самое значительное улучшение динамики из рассмотренных вариантов оказывает введение в конструкцию механизма РУКП гасителя колебаний. Увеличение жесткости продольной связи и установка гасителей виляния между кузовом и тележкой также снижают показатели динамики, хотя и менее существенно. Лучшая динамика из исследуемых экипажей с механизмом РУКП, как и ожидалось, у экипажа, в котором реализованы все предложенные пути повышения динамических качеств.

Проведенный анализ показал, что установка колесных пар экипажа в кривых участках пути, а соответственно и показатели износа колес, не зависят от параметров гасителей колебаний, которые варьировались при исследовании динамики. В то же время, величина жесткости продольной связи колесной пары и рамы тележки c_{x1} оказывает значительное влияние на углы набегания колес. Поэтому анализ проводился только для экипажа-эталона ТЭ116 и двух вариантов экипажей с механизмом РУКП: с исходной жесткостью продольной связи $c_{x1} = 7 \cdot 10^5$ Н/м и увеличенной жесткостью $c_{x1} = 1,9 \cdot 10^6$ Н/м.

Исследования показали, что применение механизма РУКП значительно уменьшает износ колесных профилей, причем эффект увеличивается со снижением жесткости продольной связи крайних колесных пар с рамой тележки. При использовании колесного профиля типа ДМетИ эффективность механизма РУКП выше, чем со стандартными коническими профилями колес за счет большего момента сил кривизны, подворачивающего колесную пару в сторону уменьшения угла набегания. При моделировании движения экипажей с профилями ДМетИ в кривой радиусом 300 м без неровностей углы набегания экипажа с РУКП с исходной величиной $c_{x1} = 7 \cdot 10^5$ Н/м имеют практически нулевые значения для первой колесной пары (рис. 2), а работа сил трения для набегающего колеса первой колесной пары этого экипажа уменьши-

лась более чем в пять раз в сравнении с экипажем ТЭ116.

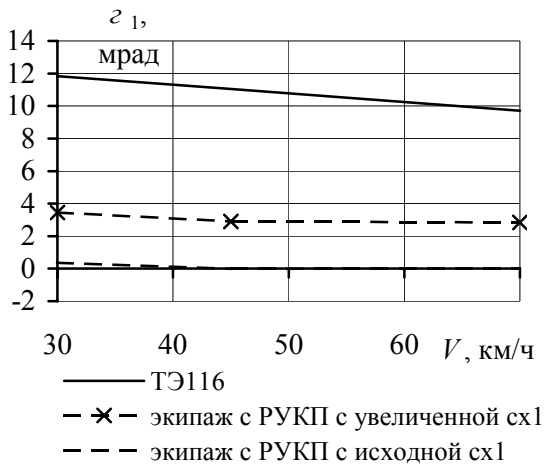


Рис.2. Углы набегания 1 КП с профилями ДМетИ

При использовании стандартного конического профиля колес углы набегания и работа сил трения на круге катания у экипажей с механизмом РУКП в сравнении с экипажем ТЭ116 также заметно снизились. Для экипажа с РУКП с исходной жесткостью продольной связи углы набегания и работа трения уменьшились примерно в три раза, а с увеличенной жесткостью – в два раза (рис.3).

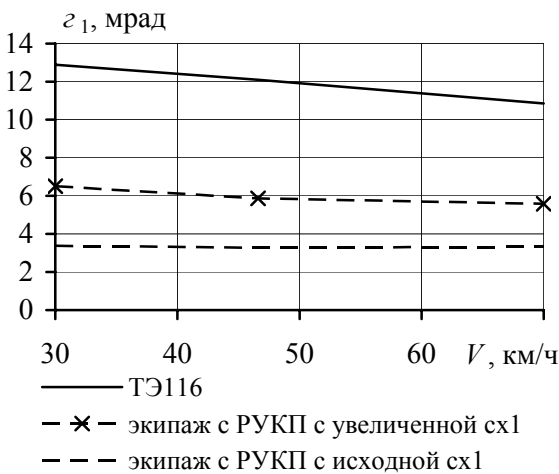


Рис. 3. Углы набегания 1 КП с коническими профилями

Рассмотрим более подробно результаты моделирования движения экипажей с колесными профилями ДМетИ. На рис. 4 приведены пятна контакта набегающего колеса первой колесной пары и рельса при установившемся движении исследуемых экипажей в ровной кривой радиусом 300 м. На рисунке серым цветом закрашены области сцепления, а белым – области скольжения.

Из рисунка видно, что пятно контакта смещается в сторону гребня с увеличением жесткости c_{x1} у экипажей с РУКП, а самое близкое расположение пятна к гребню – у экипажа ТЭ116. Необходимо отметить тот факт, что при движении в кривой экипажа ТЭ116 на всех колесах первых колесных пар тележек наблюдается полное проскальзывание (рис. 4,в). Тогда как для экипажей с механизмом РУКП полного проскальзывания нет ни на одном колесе, а из-за меньшего крива у экипажа с исходной жесткостью c_{x1} область сцепления в пятнах контакта больше, чем у экипажа с повышенным значением c_{x1} (рис. 4,а; 4,б).

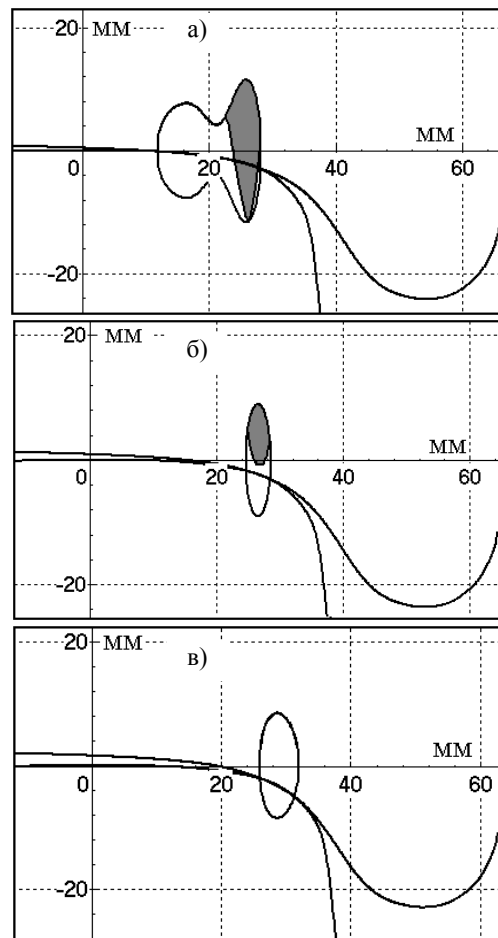


Рис.4. Пятна контакта при движении экипажей в ровной кривой: а – экипаж с РУКП с исходной c_{x1} ; б – экипаж с РУКП с увеличенной c_{x1} ; в – ТЭ116

Такие показатели как углы набегания и работа сил трения в контакте, дают, по сути, только относительную информацию об износе, и по ним нельзя судить каким образом будут изнашиваться колесные профили. Для более полного анализа приведем графики распределения работы сил трения по профилю колеса при прохождении кривой, которые в первом приближении могли бы показать, какие участки

профиля подвергаются большому износу (рис.5). Как видно, из-за большего угла набегающего колесный профиль экипажа ТЭ116 не только значительно изнашивается, но и, как говорилось ранее, положение контактного пятна больше смещено к выкружке колеса в сравнении с экипажами с механизмом РУКП, что вызывает повышенный подрез гребней.

При моделировании движения экипажей с коническими колесами пятна контакта и на круге катания, и на гребне набегающих колес первой колесной пары по форме и расположению мало отличаются друг от друга для разных экипажей. Основное отличие состоит в том, что для экипажа ТЭ116 в пятне контакта на круге катания вследствие больших крипов отсутствует область сцепления, тогда как в пятнах контакта экипажей с механизмом РУКП есть и область сцепления, и области скольжения. В силу того, что формы пятен контакта примерно одинаковы, то изнашиваются одни и те же участки на профиле, но с разной интенсивностью. А именно, износ колес экипажа ТЭ116 – наибольший, а экипажа ТА25ВН с исходной жесткостью c_{x1} – наименьший.

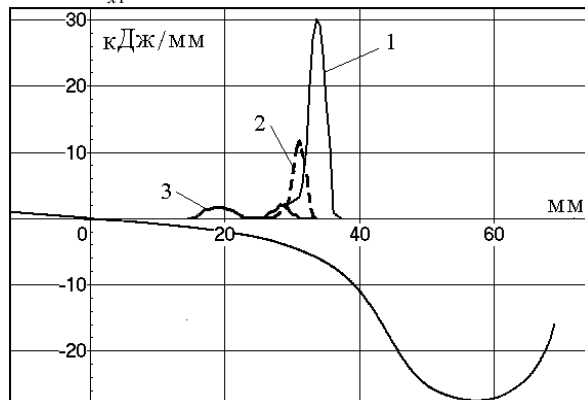


Рис.5. Распределение работы трения по профилю колеса: 1 – ТЭ116; 2 – экипаж с РУКП с увеличенной c_{x1} ; 3 – экипаж с РУКП с исходной c_{x1}

Кроме того, было проведено моделирование движения экипажей в неровной кривой $R = 300$ м и сделан вывод, что и в кривой с не-

ровностями использование механизма РУКП значительно снижает износ колесных профилей за счет снижения квазистатической составляющей углов набегающего.

Численные эксперименты проводились также для ровной кривой $R = 600$ м, в результате чего было показано, что в этой кривой применение механизма РУКП для снижения износа колесных профилей дает существенный эффект.

Проведенный анализ показал, что применение механизма радиальной установки колесных пар значительно снижает износ колесных профилей, причем эффект увеличивается с уменьшением жесткости продольной связи крайних колесных пар с рамой тележки, однако это ведет к ухудшению динамики экипажа при движении в прямых участках пути.

Предложенные конструктивные пути улучшения динамики (введение в конструкцию механизма РУКП гасителя колебаний, установка гасителей виляния между кузовом и тележкой и увеличение жесткости продольной связи крайних колесных пар с рамой тележки) существенно улучшают динамические показатели экипажа локомотива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михальченко Г.С., Погорелов Д.Ю. Автоматизированный программный комплекс для изучения динамики взаимодействия твердотельных моделей рельсовых экипажей и пути. // Сб. научн. трудов междунар. конф. «Высшее профессиональное заочное образование на железнодорожном транспорте: настоящее и будущее» РГО-ТУПС. – М.: РГОТУПС. – 2001. – С. 225-226.
2. Kovalev R., Yazykov V.N., Mikhilchenko G.S., Pogorelov D.Yu. Railway Vehicle Dynamics: Some Aspects of Wheel-Rail Contact Modeling and Optimization of Running Gears // Mechanics Based Design of Structures and Machines. – 2003. – V.31. – №3. – P.315–335.