

А.А. ЛУНИН, ФГУП ВНИКТИ (Россия)

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

А.С. ЕВСТРАТОВ, д-р. техн. наук, ФГУП ВНИКТИ (Россия)

ВЫБОР УПРУГО-ДИССИПАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКИПАЖНЫХ ЧАСТЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

У статті приведені результати модельних іспитів макетних зразків важкого спеціального рухомого складу з осьовими навантаженнями до 25 тс і швидкісних легких екіпажів з осьовими навантаженнями до 23 тс і 16 тс на універсальних візках.

В статье приведены результаты модельных испытаний макетных образцов тяжелого специального подвижного состава с осевыми нагрузками до 25 тс и скоростных легких экипажей с осевыми нагрузками до 23 тс и 16 тс на универсальных тележках.

The directions of special rolling stock development and problems of the choice of elastic and dissipative characteristics for vehicle components have been considered.

Постоянная тенденция повышения скоростей движения железнодорожного подвижного состава вызывает необходимость проведения исследований по созданию и совершенствованию экипажных частей, отвечающих требованиям безопасности и комфорта при повышенных скоростях движения. Одним из наиболее важных узлов, определяющих ходовые качества рельсовых экипажей, является система рессорного подвешивания.

Современный подход к разработке любой технической системы, имеющей механическую часть, предполагает выполнение теоретических исследований ее поведения в условиях, близких к реальным. Наиболее распространенным в настоящее время методом исследований на стадии проектирования системы или машины является метод компьютерного моделирования. Основу этого метода составляют математическая модель и программные средства. Для решения задач динамики подвижного состава (локомотивов, вагонов, путевых машин) во ВНИКТИ применяются методы компьютерного моделирования с использованием специализированного программного комплекса «Универсальный механизм (УМ)», разработанного в Брянском государственном техническом университете (БГТУ) [1, 2].

Применение компьютерного моделирования позволяет:

– определять основные динамические характеристики экипажей при движении в прямых и кривых участках пути, в режимах тяги и выбега с учетом неровностей, соответствующим

реальному железнодорожному пути различного состояния;

– варьировать основные геометрические, инерционные, жесткостные и упруго-диссипативные параметры моделей;

– исследовать движение экипажей при различных профилях колес и рельсов, жесткостных характеристиках пути с использованием различных моделей сил крипа при различных значениях коэффициента трения;

– исследовать силовое взаимодействие колеса и рельса, а также процессов схода колесной пары с рельса.

Программный комплекс позволяет получать различные показатели динамических качеств экипажа и выполнять их статистическую обработку. Имеется возможность в процессе работы программы визуализировать силы и моменты, действующие в элементах конструкции, в пространственном представлении.

Уравнения движения рельсового экипажа формируются на базе теоремы о движении центра масс и динамических уравнений Эйлера:

$$m_i a_i = F_i + R_i,$$

$$J_i \varepsilon_i + \omega_i \times J_i \omega_i = M_i + L_i, \quad (1)$$

где m_i , J_i – масса и тензор инерции тела i ; a_i , ε_i , ω_i – ускорение центра масс, угловое ускорение и угловая скорость; F_i , M_i – главный вектор и главный момент активных сил, приведенные к центру масс; R_i , L_i – главный вектор и главный момент сил реакций, приведенные к центру масс.

При моделировании макрогеометрии пути в кривых участках в общем случае предусматривается создание S-образной кривой, состоящей из начального прямого участка; двух переходных кривых для первой кривой постоянного радиуса; прямой вставки; двух переходных кривых для второй кривой постоянного радиуса; выходного прямого участка. На переходных участках согласно Правилам технической эксплуатации железных дорог реализуются соответствующие уширения. Для построения геометрии переходной кривой (наружной рельсовой нити) используется уравнение кубической параболы. На идеальную макрогеометрию рельсовых нитей в прямых и кривых участках пути наложены случайные вертикальные и горизонтальные неровности. Методикой предусмотрены два способа получения неровностей пути:

- на основе выбранной исследователем в зависимости от состояния пути обобщенной спектральной плотности амплитуд неровностей, которая затем с помощью разработанной подпрограммы численного моделирования по алгоритму Райса-Пирсона генерируется в случайную геометрическую неровность по длине пути;

- в виде конкретной геометрической неровности по длине пути, полученной в результате натуральных измерений.

Имеются также геометрические неровности для кривых радиусами 300 и 600 м участка Голутвин – Озеры Московской железной дороги, на которой проводятся испытания различного подвижного состава специалистами ФГУП ВНИКТИ. Эти неровности синтезированы на основе данных измерений этих участков путеизмерителем со стрелой хорды 20 м и шагом 5 м. Одна из таких неровностей для кривой радиусом 300 м показана на рис. 1.

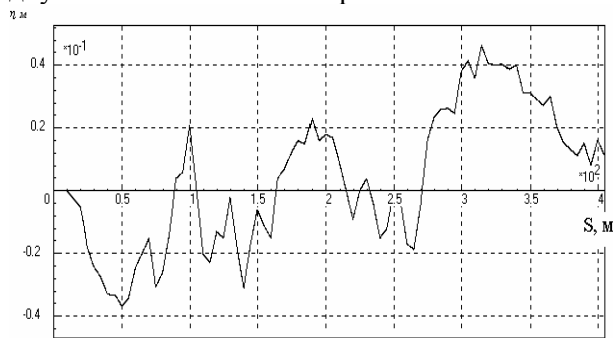


Рис. 1. Геометрическая неровность для кривой радиуса 300 м участка Голутвин – Озеры Московской ж.д.

Модели экипажей специального подвижного состава (СПС) построены с использованием

подхода систем тел, в соответствии с которым механическая система представляется набором абсолютно твердых тел, связанных посредством шарниров и силовых элементов (буксовые узлы, боковые опоры, скользуны, пружины, гасители). Расчетная схема экипажа включает 7 твердых тел (кузов, две рамы тележки, 4 колесные пары) и имеет 42 степени свободы. Структурное представление модели основано на использовании метода подсистем. Общий вид компьютерной модели экипажа представлен на рис. 2. Для каждой модели СПС с различными осевыми нагрузками заданы соответствующие инерционные, жесткостные, упруго-диссипативные и геометрические параметры. Исходные данные параметров моделей СПС приведены в табл. 1.

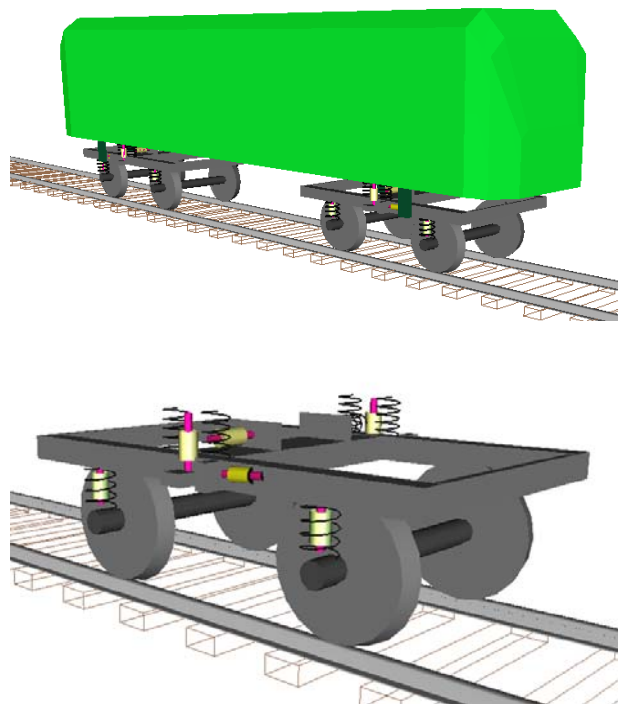


Рис.2. Общий вид компьютерной модели экипажа СПС

При моделировании движения тяжелого СПС в прямых участках пути расчетные динамические показатели экипажа оказались следующими. Максимальные значения вертикальных ускорений кузова в области шкворня (рис. 3) при скорости 100 км/ч составили 0,28g, при скорости 110 км/ч – 0,32g и не превышали нормативное значение 0,5g для самоходного СПС. Коэффициенты вертикальной динамики буксовой ступени не превышали 0,28 (при допустимом значении 0,5). Рамные силы при скоростях от 60 до 100 км/ч увеличивались с 22 до 25 кН (рис. 4). При скорости движения 110 км/ч значения рамных сил достигали 29 кН, при этом отношение рамной силы U_r к осевой на-

грузке 2Рст составило 0,12. Максимальные значения горизонтальных ускорений кузова (рис. 5) при движении в прямой со скоростью 100 км/ч равнялись 0,17g, при 110 км/ч – 0,22g и не превышали допустимое значение 0,4g. Угловые перемещения тележек в поперечной плоскости относительно кузова достигали 7 мрад. При движении в кривой радиуса 600 м со скоростью 100 км/ч равные силы достигали 63 кН (отношение $U_p/2P_{ст} = 0,25$), максимальный уровень горизонтальных ускорений равнялся 0,27g. Вертикальные ускорения при этом

составляли 0,28g, а коэффициенты динамики – 0,32. В кривой радиуса 300 м при скорости движения 70 км/ч (непогашенное ускорение составляло 0,7g) максимальное значение рамных сил оказалось равным 68,5 кН ($U_p/2P_{ст} = 0,274$), горизонтальных ускорений – 0,23g. Вертикальные ускорения и коэффициенты динамики составили 0,18g и 0,33 соответственно. Максимальные угловые перемещения тележек относительно кузова достигали значений 13 мрад в кривой радиуса 600 м, 21 мрад – в кривой 300м.

Таблица 1

Исходные данные параметров моделей специального подвижного состава с осевыми нагрузками $P_{ос}$, равными 25, 23 и 16 тс

Наименование параметра	Размерность	СПС $P_{ос}=25$ тс	СПС $P_{ос}=23$ тс	СПС $P_{ос}=16$ тс
1	2	3	4	5
<u>1. Массы</u>				
1.1. Кузов	кг	72000	64000	36000
1.2. Тележка	кг	14000	14000	14000
1.3. Неподрессоренная часть на колесную пару	кг	3650	3650	3650
<u>2. Жесткости</u>				
2.1. Жесткость буксовой ступени рессорного подвешивания:				
– вертикальная на буксу	кН/м	1190	1720	1230
– поперечная на буксу	кН/м	2000	2000	2000
2.2. Жесткость центральной ступени рессорного подвешивания в вертикальном направлении (на тележку)	кН/м	28000	2640	1760
		(4*7000)	(6*440)	(4*440)
2.3. Жесткость поперечной связи тележки с кузовом:				
– в пределах зазора 0 – 20 мм	кН/м	800	360	240
– в пределах зазора 20 – 40 мм	кН/м	4000	2100	2100
2.4. Момент сопротивления повороту тележки относительно кузова	кН·м	20	0	0
<u>3. Коэффициенты эквивалентного вязкого трения</u>				
3.1. Демпфер буксовой ступени в вертикальном направлении на буксу	кН·с/м	80	70	70
3.2. Демпферы центральной ступени:				
– вертикальный (два на тележку)	кН·с/м	20	54	54
– виляния (два на тележку)	кН·с/м	0	28	28
– бокового отбоя (два на тележку)	кН·с/м	60	28	28
<u>4. Линейные размеры</u>				
4.1. Шкворневая база кузова	М	8,000	8,000	8,000
4.2. Колесная база тележки	м	2,250	2,250	2,250
4.3. Поперечное расстояние между вертикальными пружинами и демпферами				
– буксовой ступени	м	2,100	2,100	2,100
– центральной ступени	м	2,200	2,200	2,200
4.4. Радиус колеса по кругу катания	м	0,525	0,525	0,525

Для специального подвижного состава с осевой нагрузкой 23 тс (конструкционная скорость которого равна 120 км/ч) движение в прямых участках пути моделировалось со скоростями до 130 км/ч. В результате проведенных расчетов оказалось, что даже при скорости

движения до 130 км/ч максимальные значения основных динамических показателей не превышали нормируемых значений. Так, вертикальные ускорения кузова не превышали 0,33g (см. рис. 3), коэффициенты динамики буксовой ступени – 0,24, центральной – 0,19. Значения

рамных сил (см. рис. 4) при этом достигали 34 кН (отношение $U_p/2P_{ст} = 0,15$), а горизонтальных ускорений кузова – 0,23g (см. рис. 5). Угловые перемещения тележек относительно кузова достигали 10 мрад. При моделировании движения в кривой радиуса 600 м максимальные значения рамных сил составили 59 кН, в кривой 300 м – 55 кН. Отношение рамной силы к статической нагрузке не превышало 0,26. В кривой 600 м при скорости 110 км/ч вертикальные ускорения кузова достигали 0,32g, горизонтальные ускорения – 0,36g. При движении в кривой радиуса 300 м со скоростью 70 км/ч максимальные значения ускорений оказались ниже и составили 0,21g и 0,28g соответственно. Значения коэффициентов вертикальной динамики в кривых участках пути в буксовой ступени не превышали 0,3, а в центральной ступени – 0,22. Максимальные значения угловых перемещений тележек в кривой 600 м достигали 15 мрад, в кривой 300 м – 23 мрад.

Максимальные значения вертикальных ускорений кузова при моделировании движения скоростного СПС в прямых участках пути со скоростью до 160 км/ч составили 0,35g (рис.3), коэффициенты динамики в буксовой ступени рессорного подвешивания достигали 0,31, в центральной ступени – 0,17. Значения рамных сил (см. рис. 4) при конструкционной скорости 140 км/ч составили 41 кН (отношение $U_p/2P_{ст}=0,26$), а при увеличении скорости движения до 160 км/ч – 53 кН ($U_p/2P_{ст}=0,33$), горизонтальные ускорения кузова оказались равными 0,22g и 0,28g соответственно (см. рис. 5). Угловые перемещения тележек относительно кузова не превышали 9 мрад. В кривых участках пути основные динамические показатели также не превышали допустимых значений. В кривой радиуса 600 м при скорости 110 км/ч вертикальные ускорения кузова достигали 0,3g, в кривой 300 м при скорости 70 км/ч – 0,2g. Коэффициенты динамики буксовой ступени при этом составили 0,32 и 0,26 соответственно, центральной ступени – 0,21 и 0,18. Максимальные значения рамных сил не превышали в кривой 600 м 47 кН (отношение $U_p/2P_{ст} = 0,29$), в кривой 300м – 45кН ($U_p/2P_{ст} = 0,28$), горизонтальные ускорения – 0,37g и 0,27g соответственно. Значения угловых перемещений тележек относительно кузова в кривой 600 м достигали 16 мрад, в кривой 300 м – 18 мрад.

Ходовые модельные испытания СПС на универсальных тележках показали, что максимальные расчетные значения основных динамических показателей экипажей с осевыми на-

грузками 25, 23 и 16 тс с конструкционными скоростями 100, 120 и 140 км/ч соответственно не превышают допускаемых нормируемых показателей согласно [3].

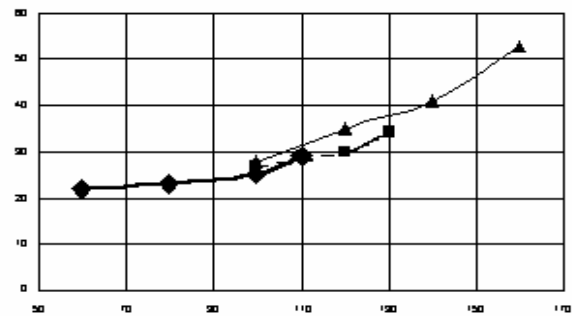


Рис. 3. Максимальные значения вертикальных ускорений кузова СПС в области шкворня при моделировании движения в прямых участках пути

- 1 – СПС с осевой нагрузкой 25 тс;
- 2 – СПС с осевой нагрузкой 23 тс;
- 3 – СПС с осевой нагрузкой 16 тс

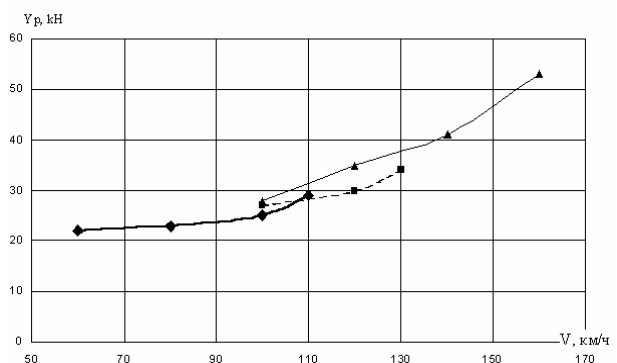


Рис. 4. Максимальные значения рамных сил при моделировании движения в прямых участках пути

- 1 – СПС с осевой нагрузкой 25 тс;
- 2 – СПС с осевой нагрузкой 23 тс;
- 3 – СПС с осевой нагрузкой 16 тс

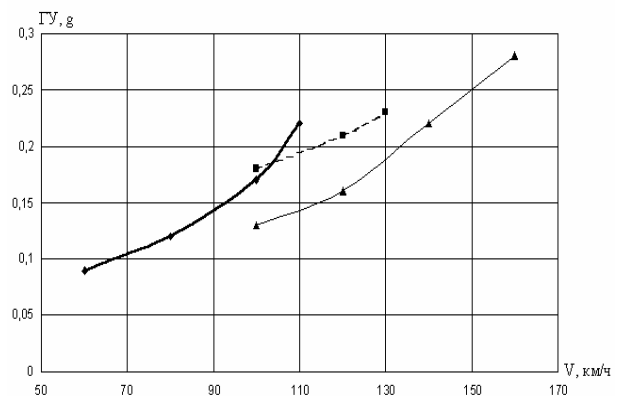


Рис.5 – Максимальные значения горизонтальных ускорений кузова СПС при моделировании движения в прямых участках пути

- 1 – СПС с осевой нагрузкой 25 тс
- 2 – СПС с осевой нагрузкой 23 тс
- 3 – СПС с осевой нагрузкой 16 тс

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Погорелов Д.Ю. Введение в моделирование динамики систем тел. – Брянск, БГТУ, 1997.
2. Руководство пользователя программного комплекса «Универсальный механизм», 2002.
3. РД 32.65 – 96. Специальный подвижной состав. Нормы и требования безопасности, эргономики, санитарно-гигиенические и природоохранные. Основные положения.