

$$\begin{aligned} \ddot{z}_{T2} = & -\frac{\beta_n}{m_1} \dot{z}_2 + \frac{\beta_n}{m_1} \dot{y}_1 - \frac{\varepsilon_{\tau} + \varepsilon_n}{m_1} z_2 + \frac{\varepsilon_{\tau}}{m_1} z_{T1} - \\ & + \frac{\varepsilon_{\tau}}{m_1} \varphi_{T1} + \frac{\varepsilon_n}{m_1} y_2; \end{aligned}$$

Выводы:

Получена система дифференциальных уравнений описывающих движение экипажа по вертикальным неровностям пути. Дальнейшая детализация плоских расчетных схем, количество принятых степеней свободы зависит от целей, которые решаются при исследовании колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Челноков И.И. Динамика вагона. М., Транспорт, 1978, 352 с.
2. Спиридонов Б.Д. Основы теории колебаний вагона на рессорном подвешивании. Гомель, Издательство БелИЖТ, 1972, 175 с.

УКД 629.45

Тулбаев Сакен Коптлеувич – управляющий директор по вагонному хозяйству (Астана, ТОО «Камкор-Менеджмент»)

К ВОПРОСУ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДВИЖЕНИЯ ЭКИПАЖА ПО ПУТИ, ИМЕЮЩЕМУ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ НЕРОВНОСТИ

Для изучения влияния на уровень контактных напряжений вертикальных сил, скорости движения экипажей и технического состояния пути необходимо знать значения динамических сил взаимодействия колеса и рельса.

Современные математические модели учитывают большое количество эксплуатационных факторов: геометрические неровности на поверхности катания колеса и рельса, упругие неровности пути и другие.

В программах для ЭВМ, разработанных во ВНИИЖТе под руководством доктора технических наук А.Я. Когана, приведены наиболее характерные по форме неровности рельсовых нитей [1]. Характеристика верхнего строения пути этой дороги идентична верхнему строению ряда направлений рассматриваемых участков железных дорог: ширина колеи 1067 мм, рельсы Р50, 1840 деревянных шпал на км, балласт щебеночный. Поэтому, в расчетах по определению вертикальных сил использованы программы ВНИИЖТа. В расчетах предусмотрены два технических состояния пути: с износом рельсов от 7мм (удовлетворительное состояние) и с износом рельсов от 7 до 10мм (неудовлетворительное состояние). Каждому состоянию пути соответствовал свой спектр параметров, характеризующих неровности пути. Расчеты проводили для наиболее распространенных типов подвижного состава: грозового вагона «GREMIERS-T₂» на двухосных тележках «Т₂», с одинарным рессорным подвешиванием, осевой нагрузкой до 180кН, для скорости движения 20, 40, 60 и 80км/ч. Задачу решали при значениях расчетных параметров системы, приведенных в таблице 1.

Расчетные параметры системы «экипаж-путь»

а) Параметры пути

№	Наименование параметров	Обозначение параметров	Единица измерения	Основные зависимости	Численные значения
1	2	3	4	5	6
1.	Модуль упругости рельсовой стали	E	кг/см ²	–	0,21·10 ⁷
2.	Модуль упругости пути	U_z	кг/см ²	$U_z = \frac{ab}{2l} c\alpha$	25-330
	ширина шпалы	a	см	–	20-24
	длина шпалы	b	см	–	200-240
	расстояние между шпалами	l	см		76-50
	коэффициент изгиба шпалы	α		–	0,9-0,95
	коэффициент постели	G	км/см ³	–	1-6
3.	Эпюра шпал		шп/км		1320, 1611, 1750, 1840, 2000
4.	Коэффициент относительной жесткости пути	K_z^0		$K_z^0 = \sqrt[4]{\frac{U_z}{4EJ}}$	0,006-0,014
		K_y^0			0,012-0,018
5.	Момент инерции рельса	J_z	см ⁴	–	1020-2176
		J_y	см ⁴		200-399
6.	Жесткость пути	C_z^0	км/см	$C_z^0 = \frac{P}{Z_p}$	(65-562)·10 ³
		C_y^0	км/см		(14-22)·10 ³
7.	Прогиб рельса	Z_p	см	–	(1,8-13,8)·10 ⁻²
		Y_p	см		(2,7-13,5)·10 ⁻²
8.	Распределенная масса пути	m_z^0	кг·с ² /см ²	$m_z = m_{пу} + m_6 + m_{zp}$	(7,22-3,09)·10 ⁻³
		m_y^0	кг·с ² /см ²		(1,3-4,8)·10 ⁻³
9.	Распределенное демпфирование в пути	α_z	кг·с ² /см ²		(40-200)·10 ⁻²
		α_y	кг·с ² /см ²		(28-62)·10 ⁻²

б) Расчетные параметры грузового вагона

№	Наименование параметров	Обозначение параметров	Единица измерения	Численные значения
1	2	3	4	5
1.	Параметры надбуксового подвешивания:			
	- вертикальная жесткость	C_z^+	кН/м	$0,100 \cdot 10^{16}$
	- коэффициент вертикального демпфирования	K_z^+	кН·с/м	$0,100 \cdot 10^{16}$
2.	Параметры центрального подвешивания:			
	- вертикальная жесткость	C_z^*	кН/м	$0,500 \cdot 10^4$
	- горизонтальная жесткость	C_y^*	кН/м	$0,600 \cdot 10^4$
	- коэффициент вертикального демпфирования	K_z^+	кН·с/м	$0,153 \cdot 10^2$
	- коэффициент горизонтального демпфирования	K_y^*	кН·с/м	$0,375 \cdot 10^2$
3.	Угловая жесткость поворота колесной пары/тележки	C_ψ^+	кН·м	$0,500 \cdot 10^5$
4.	Поперечная жесткость связи между колесной парой и тележкой	C_y^+	кН/м	$0,500 \cdot 10^5$
5.	Коэффициент углового демпфирования кузова	K	кН·с/м	$0,100 \cdot 10^3$
6.	Масса:			
	- колесной пары	m	кг	$0,108 \cdot 10^4$
	- надрессорной балки	m^*	кг	$0,700 \cdot 10^4$
	- 2-х осной тележки (в сборе)	m^+	кг	$0,325 \cdot 10^4$
7.	Статическая осевая нагрузка	$P_{ст}$	кН	$0,187 \cdot 10^3$
8.	Центральный момент инерции 2-осной тележки относительно:			
	- вертикальной оси	I_z^+	кг·м ²	$0,700 \cdot 10^3$
	- горизонтальной поперечной оси	I_y^+	кг·м ²	$0,580 \cdot 10^3$
9.	Центральный момент инерции надрессорной балки (верт.)	I_z	кг·м ²	$0,200 \cdot 10^3$
10.	Центральный момент инерции кузова (брутто):			
	- вертикальной оси	I_z^*	кг·м ²	$0,150 \cdot 10^6$
	- горизонтальной поперечной оси	I_y^*	кг·м ²	$0,150 \cdot 10^6$
	- горизонтальной продольной оси	I_x^*	кг·м ²	$0,88 \cdot 10^6$
11.	База:			

№	Наименование параметров	Обозначение параметров	Единица измерения	Численные значения
	- 2-осной тележки	$2a_1^+$	м	$0,160 \cdot 10^1$
	- вагона	$2a_1$	м	$0,100 \cdot 10^2$
12.	Радиус колеса	R_3	м	0,375
13.	Расстояние от центра массы кузова до поверхности катания	h^+	м	$0,182 \cdot 10^1$
14.	Расстояние между центрами буксовых узлов колесной пары	b^+	м	$0,210 \cdot 10^1$
15.	Скорость движения экипажа	V	км/ч	40, 60, 80
16.	Радиус кривой	R	м	80, 100-500
17.	Половина расстояния между кругами катания колесной пары	S_1	м	0,570
18.	Возвышение наружного рельса	h_p	мм	40-120
19.	Половина ширины зазора в колее	Δ	мм	0-28
20.	Коэффициент, учитывающий влияние износа колеса		1/м	$0,400 \cdot 10^0$
21.	Состояние пути:	удовлетворительно - неудовлетворительно		
	- в продольной профиле			
	- в плане и по уровню			

Для решения задач использовались разработанные во ВНИИЖТе программы. Задача по определению сил, действующих на рельсовые нити, реализована как комплекс программ на языке Фортран-IV для ЭВМ серии ЕС. Этот комплекс программ состоит из двух частей, которые состыкованы для получения выходных характеристик задачи.

Для исследования вертикальных колебаний галопирования и подпрыгивания нами использована первая часть программ под названием «PUT». Структурная схема программ приведена на рисунке 1.

Программа и «PUT» состоит из трех основных подпрограмм: TRAP, WAY, TRAIN. Кроме того, для обращения матрицы использованы подпрограмм CINV₁, MATIN, а для решения системы дифференциальных уравнений – подпрограмма ROOTS. В подпрограмме TRAP реализованы операторы 1-17, 19, 22-25, в подпрограмме WAY-3-14, 19, 22-25, в подпрограмме TRAIN-29-40. Структурной схемой предусмотрены операторы 18, 20, 21, 26 и 38, которые реализуется подпрограммой STURM, являющейся одной из стыковочных для программ PUT и RAIL.

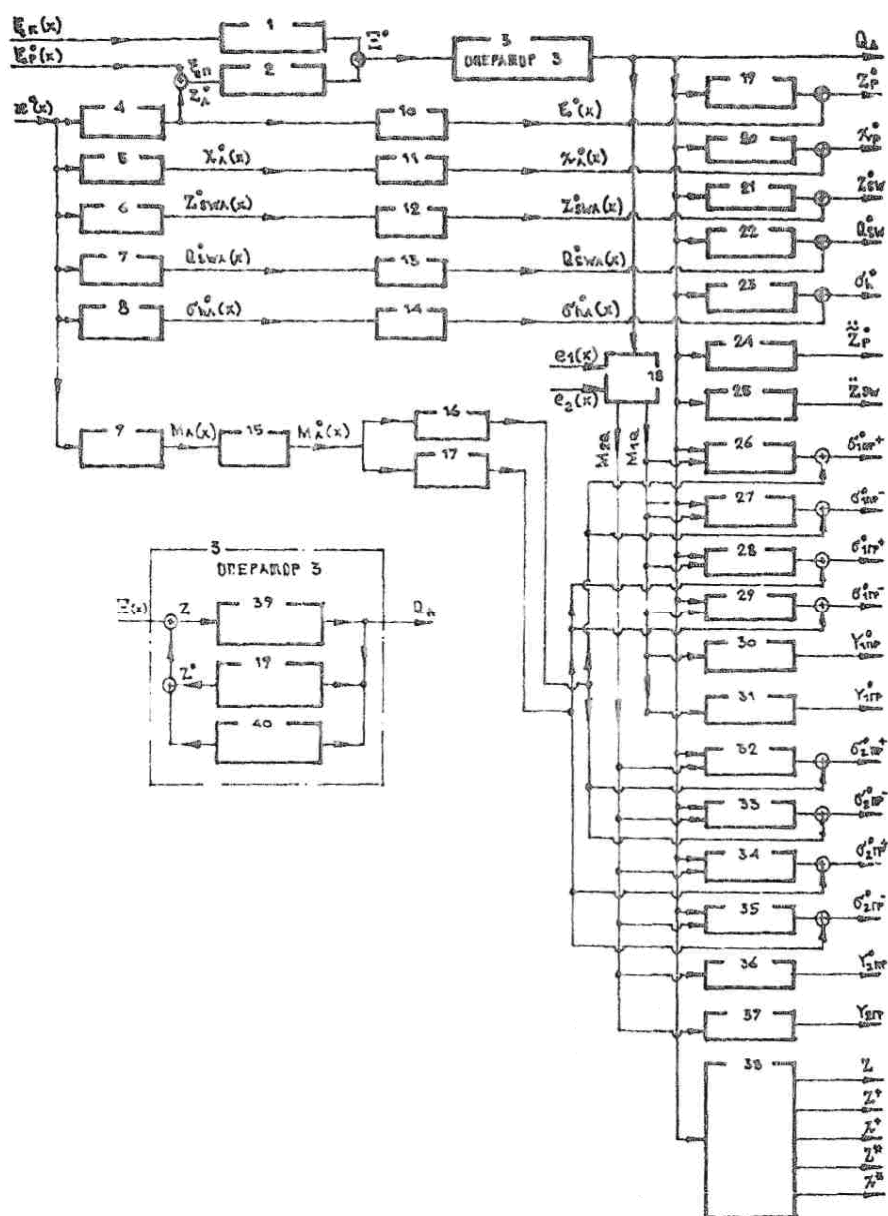
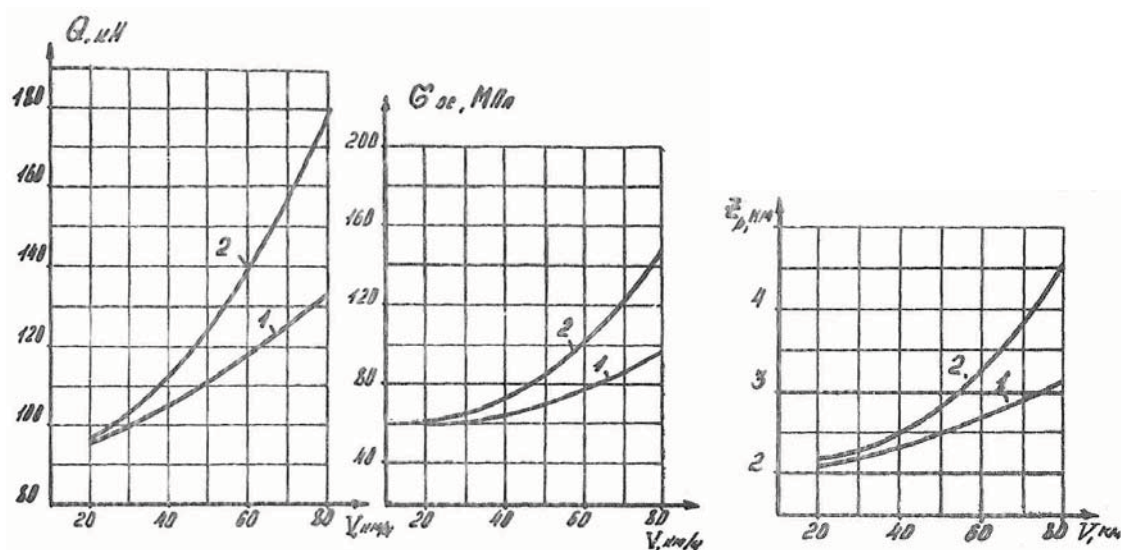


Рисунок 1 – Структурная схема решения задачи взаимодействия пути и подвижного состава при вертикальных колебаниях экипажа

Текст программ, определяющих воздействие экипажа на путь при колебаниях галопирования и подпрыгивания, приведен в работах [2-3] и др.

Результаты расчетов приведены в виде графиков на рисунке 2.



Q – вертикальная сила, кН

σ_{oc} – осевое напряжение, МПа

Z_p – вертикальный прогиб рельса, мм;

1,2 – при удовлетворительном и неудовлетворительном состоянии пути

Рисунок 2 – Результаты исследования вертикальных сил взаимодействия системы «экипаж-путь»

Выводы:

Выполненные теоретические исследования, показали, что динамическое взаимодействие экипажа и пути при вертикальных колебаниях в значительной степени зависит от скорости движения экипажа, технического состояния пути, характеризующегося геометрическими и упругими неровностями, а также от ряда других факторов.

При скорости движения экипажа до 80км/ч максимальные значения динамических сил соответственно составляют: для удовлетворительного состояния пути $Q_{дин1}=133$ кН и неудовлетворительного $Q_{дин2}=179$ кН (рисунок 2,а). Величину динамических сил определяют максимальные значения контактных напряжений, формируемых влиянием скорости движения и состоянием пути. Как видно из рисунка 2,б, значения осевых напряжений в рельсах находятся в пределах допустимых 160МПа и составляют 100МПа – для удовлетворительного состояния пути, в 150МПа – для неудовлетворительного состояния. Вертикальный прогиб рельсов соответственно достигает 3,2мм в первом случае и 4,5мм - во втором.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коган А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь. М., Трансп., /Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп., вып. 402. 1969, 206 с.
2. Коган А.Я. Расчеты железнодорожного пути на вертикальную динамическую нагрузку. М., Транспорт, 1973, 78 с. Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп.; вып. 502.
3. Соколов М.М. Хусидов В.Д., Минкин Ю.Г. Динамическая нагруженность вагона. М., Транспорт, 1981, 206 с.