

ДИНАМИЧЕСКАЯ НАГРУЖЕННОСТЬ И ПЛАВНОСТЬ ХОДА БОЛЬШЕГРУЗНОГО АВТОМОБИЛЯ ПРИ ДЕТЕРМИНИРОВАННОМ ДОРОЖНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Для определения экстремальных значений динамических нагрузок в узлах автомобиля и ускорений поддресоренных и неподдресоренных масс используют различные типовые формы детерминированных дорожных неровностей [1]. С помощью типовых дорожных неровностей или их сочетаний можно реализовать наиболее неблагоприятные режимы экстремального динамического нагружения узлов и элементов автомобиля, например проезд выбоин, железнодорожного полотна, наезд на бордюр и др. [2]. Наибольшее распространение среди типовых дорожных неровностей при исследовании переходных характеристик колебательных процессов получили единичные косинусоидальные неровности [3].

Для анализа динамической нагруженности и плавности хода автомобиля грузоподъемностью 280 т были использованы математические модели, разработанные на основе пространственных расчетных схем и отражающие конструктивные особенности направляющих устройств следующих типов подвесок: передняя и задняя подвески зависимые с продольными и поперечными штангами; передняя подвеска на штангах с гидравлическим балансиrom (гидравлические полости упругих элементов соединены), задняя – на жестком продольном рычаге; передняя подвеска на штангах без гидравлического балансира, задняя – на жестком продольном рычаге.

В математических моделях автомобиля с вышеуказанными вариантами подвесок, состоящих из системы дифференциальных уравнений 20-го порядка, отражены вертикальные и горизонтальные поперечные колебания поддресоренных и неподдресоренных масс с учетом жесткости рамы, кинематики направляющих устройств подвесок, нелинейных характеристик амортизаторов, упругих элементов и шин. Относительный коэффициент демпфирования в шине был принят равным 0,06, а в подвеске 0,3 – на ходе отбоя и 0,05 – на ходе сжатия как для груженого, так и снаряженного состояний автомобиля. Балки передних и задних мостов имели сдвоенные шины, и для каждой из четырех шин оси моделировались свои неровности. При кососимметричном расположении неровностей одновременно происходил наезд двумя левыми передними и двумя правыми задними шинами, а при одностороннем расположении – автомобиль проезжал неровности только левыми колесами сначала передней, а затем и задней осей. В качестве входного воздействия было выбрано детерминированное единичное косинусоидальное воздействие высотой 200 мм и длиной 1400 мм с высотой въезда и съезда 70 мм при скоростях проезда через неровности 10,25 и 40 км/ч.

В результате математического моделирования на ЭВМ процесса переезда автомобилем неровностей на скоростях 10, 25 и 40 км/ч получены переходные характеристики выходных параметров колебаний и динамические максимальные и минимальные значения следующих параметров: скручивающего момен-

Табл. 1. Параметры колебаний автомобиля с штанговыми подвесками

Параметр	Режим проезда					
	кососимметричный			односторонний		
	Скорость автомобиля, км/ч					
	$v=10$	$v=25$	$v=40$	$v=10$	$v=25$	$v=40$
1	2	3	4	5	6	7
Скручивающий момент в раме, кН·м:						
max	1053,8	465,27	2186,1	682,62	1637,5	1248,3
	97,307	77,308	127,83	103,56	164,53	242,17
min	-1515,1	-3000	-4649	-839,92	-1717,7	-3018,1
	-175,54	-414,85	-525,95	-115,17	-269,37	-314,51
Усилие в передней штанге, кН:						
max	382,33	184,96	573,11	364,91	227,65	307,94
	332,44	298,43	404,52	339,23	321,43	368,26
min	-345,83	-166,14	-360,8	-273,27	-317,05	-375,3
	-359,6	-265,43	-381,96	-369,69	-269,26	-385,82
Усилие в задней штанге, кН:						
max	270,82	218,81	305,27	169,15	180,06	193,85
	58,321	107,25	129,72	9,132	104,59	112,46
min	-428,75	-228,06	-337,39	-281,45	-271,11	-401,89
	-53,218	-129,02	-148,1	-6,5398	-69,24	-104,11
Вертикальное ускорение водителя, m/c^2:						
max	8,2902	12,464	27,147	10,895	15,52	26,26
	15,961	21,375	25,416	15,483	28,979	37,343
min	-11,118	-9,0768	-12,884	-7,7868	-11,826	-13,294
	-10,378	-23,246	-25,553	-9,6886	-21,732	-29,159
Горизонтальное поперечное ускорение водителя, m/c^2:						
max	1,8722	0,86448	2,7599	1,3944	2,3253	2,293
	7,6752	8,6299	9,0593	7,82	9,5029	9,8211
min	-1,9485	-1,2676	-4,0113	-1,8724	-1,2743	-1,9586
	-5,2085	-7,2834	-9,6475	-4,6447	-9,0067	-10,779

1	2	3	4	5	6	7		
Вертикальное ускорение кузова над передней балкой, м/с ² :	max	<u>7,8167</u>	<u>9,4736</u>	<u>17,468</u>	<u>6,9361</u>	<u>9,234</u>	<u>14,977</u>	
		7,6632	16,091	19,57	7,6042	15,446	19,552	
	min	<u>-6,5269</u>	<u>-5,5115</u>	<u>-6,659</u>	<u>-5,232</u>	<u>-6,7792</u>	<u>-6,7866</u>	
		-5,9645	-10,51	-12,406	-5,7252	-11,313	-13,221	
	Вертикальное ускорение кузова над задней балкой, м/с ² :	max	<u>8,9266</u>	<u>6,8051</u>	<u>9,4361</u>	<u>6,7119</u>	<u>8,2869</u>	<u>8,6621</u>
			6,3912	40,89	44,415	5,4132	33,731	55,983
min		<u>-7,4122</u>	<u>-6,3998</u>	<u>-5,1569</u>	<u>-0,91855</u>	<u>-8,5145</u>	<u>-6,3313</u>	
		-8,3851	-28,618	-30,048	-3,5553	-17,406	-22,878	

Табл. 2. Параметры колебаний автомобиля с задней подвеской на продольном рычаге (кососимметричный проезд)

Параметр	Вариант передней подвески							
	с гидробалансиром			без гидробалансира				
	Скорость автомобиля, км/ч							
	<i>v</i> = 10	<i>v</i> = 25	<i>v</i> = 40	<i>v</i> = 10	<i>v</i> = 25	<i>v</i> = 40		
1	2	3	4	5	6	7		
Скручивающий момент в раме, кН·м:	max	<u>843,2</u>	<u>1075,5</u>	<u>1363,8</u>	<u>1107,2</u>	<u>741,89</u>	<u>2297,2</u>	
		233	726,56	623,91	337,22	539,46	672,25	
	min	<u>-1155,4</u>	<u>-1361,2</u>	<u>-1240,8</u>	<u>-1761,8</u>	<u>-3217,4</u>	<u>-5199,6</u>	
		-249,9	-841,9	-798,16	-748,44	-2031,5	-2252,3	
	Усилие в передней штанге, кН:	max	<u>545,54</u>	<u>408,28</u>	<u>452,3</u>	<u>372,94</u>	<u>190,14</u>	<u>624,68</u>
			265,68	296,15	467,13	232,36	249,18	628,22
min		<u>-384,64</u>	<u>-218,09</u>	<u>-403,33</u>	<u>-306,51</u>	<u>-158,31</u>	<u>-417,53</u>	
		-316,79	-268,91	-352	-290	-224,79	-325	

1	2	3	4	5	6	7
Усилия в переднем левом цилиндре, кН:						
max	<u>1576,2</u>	<u>1570,6</u>	<u>1859,2</u>	<u>1818,1</u>	<u>2816,2</u>	<u>3596,1</u>
	871,6	1019,9	1182,7	956,37	2245,2	2950,8
min	<u>356,31</u>	<u>276,3</u>	<u>442,65</u>	<u>346,88</u>	<u>346,9</u>	<u>440,91</u>
	159,37	123,83	128,26	164,26	115,41	1,8516
Вертикальное ускорение водителя, м/с²:						
max	<u>9,8274</u>	<u>14,56</u>	<u>10,588</u>	<u>9,691</u>	<u>11,156</u>	<u>24,08</u>
	17,824	31,544	35,704	15,672	40,543	66,27
min	<u>-8,6249</u>	<u>-13,3</u>	<u>-13,061</u>	<u>-8,646</u>	<u>-9,606</u>	<u>-13,243</u>
	-14,681	-35,735	-29,82	-13,303	-24,4	-27,897
Горизонтальное поперечное ускорение водителя, м/с²:						
max	<u>1,9937</u>	<u>1,42</u>	<u>2,166</u>	<u>1,659</u>	<u>1,076</u>	<u>3,243</u>
	5,434	12,358	10,713	4,845	12,69	14,176
min	<u>-2,773</u>	<u>-2,82</u>	<u>-2,74</u>	<u>-1,972</u>	<u>-1,46</u>	<u>-4,392</u>
	-5,137	-13,999	-12,561	-5,285	-7,685	-9,238
Вертикальное ускорение кузова над передней балкой, м/с²:						
max	<u>8,388</u>	<u>7,69</u>	<u>6,157</u>	<u>8,475</u>	<u>8,965</u>	<u>16,338</u>
	10,66	15,286	21,437	9,138	24,785	40,695
min	<u>-6,521</u>	<u>-7,42</u>	<u>-6,801</u>	<u>-6,064</u>	<u>-6,474</u>	<u>-7,223</u>
	-7,208	-13,78	-12,338	-5,655	-8,919	-13,718
Вертикальное ускорение кузова над задней балкой, м/с²:						
max	<u>8,669</u>	<u>7,89</u>	<u>5,586</u>	<u>8,251</u>	<u>6,826</u>	<u>7,246</u>
	8,035	39,959	31,535	8,397	51,039	39,518
min	<u>-8,085</u>	<u>-6,73</u>	<u>-4,733</u>	<u>-7,708</u>	<u>-6,529</u>	<u>-4,979</u>
	-7,655	-15,84	-15,439	-8,703	-16,455	-15,59

та в раме; усилий в поперечных штангах передней и задней подвесок; деформаций и усилий в шинах передней и задней осей; ходов и усилий в упругих элементах подвесок; вертикальных и горизонтальных поперечных ускорений поддресоренных масс в точке расположения водителя; вертикальных ускорений поддресоренных масс над передней и задней осями. Результаты моделирования частично представлены в табл. 1 и 2 в виде максимальных и

минимальных положительных и отрицательных амплитуд переходных характеристик в числителе для груженого, а в знаменателе для снаряженного состояния автомобиля.

В табл. 1 приведены результаты расчета варианта зависимых передних и задних подвесок с штанговыми направляющими устройствами, в табл. 2 — расчет автомобиля с передней зависимой подвеской (с гидробалансиром и без гидробалансира) на продольных и поперечных штангах и задней подвеской на продольном рычаге.

Для варианта зависимых штанговых подвесок (передней и задней) максимальный динамический скручивающий момент в раме для груженого состояния выше в среднем в 6–8 раз, чем для снаряженного состояния при кососимметричном проезде и в 6–9,5 раза при одностороннем проезде. При передней подвеске на штангах, задней на продольном рычаге (без гидробалансира) максимальный скручивающий момент в раме у груженого автомобиля также выше, чем у снаряженного, но уже в 2,4–2,2 раза при кососимметричном расположении препятствий и в 2–3,4 раза — при одностороннем. Для подвески с гидробалансиром эта же разница составляет соответственно 4,6–1,5 и 6–1,2 раза. Наибольшие динамические скручивающие моменты в раме возникают при наезде на препятствия, расположенные кососимметрично (знак минус в таблице), что в 1,5–2 раза выше, чем при одностороннем их проезде. С увеличением скорости проезда препятствий динамические нагрузки в раме возрастают.

С введением гидравлического балансира в переднюю подвеску в диапазоне скоростей 10...40 км/ч снижаются пиковые динамические скручивающие нагрузки в раме при кососимметричном проезде в 1,5–4,2 раза для груженого и в 2,5–3 раза для снаряженного состояний. При одностороннем проезде препятствий также наблюдается снижение динамических моментов в раме в 1,1–3,5 раза для груженого и в 1,2–3,2 раза для снаряженного состояний.

Сравнивая конструкции подвесок с позиции их влияния на динамические нагрузки в раме, можно утверждать, что в груженом состоянии при кососимметричном проезде препятствий у автомобиля с подвесками на штангах динамические нагрузки на 10...15 % ниже, чем у автомобиля с задней подвеской на продольном рычаге (без гидробалансира). Такая же тенденция наблюдается и при одностороннем проезде препятствий. У снаряженного автомобиля со штанговыми передними и задними подвесками при кососимметричном проезде пиковый динамический скручивающий момент в раме в 4,2–4,3 раза меньше, чем у автомобиля с задней подвеской на продольном рычаге. При одностороннем расположении препятствий в этом случае скручивающий момент в раме также в 3–4 раза ниже.

Анализ нагрузок в поперечных штангах показывает, что при кососимметричном проезде препятствий автомобилем со штанговыми подвесками растягивающие усилия (знак "плюс" в таблице) на 10...60 % выше сжимающих. При одностороннем проезде сжимающие динамические нагрузки превышают растягивающие на 20...40 %. Нагрузки на переднюю штангу в груженом состоянии автомобиля соизмеримы с нагрузками в снаряженном состоянии и на отдельных скоростях даже имеют тенденцию к превышению. Задняя подвеска на продольном рычаге при кососимметричном и одностороннем проезде препятствий незначительно снижает динамические растягивающие и сжимающие на-

грузки в поперечной передней штанге по сравнению со штанговой задней подвеской (на 5...10 %). Введение гидробалансира в переднюю подвеску увеличивает у груженого автомобиля динамические сжимающие и растягивающие нагрузки в передней штанге при кососимметричном расположении препятствий и скоростях 10 и 25 км/ч на 40...110 %. Для одностороннего проезда препятствий увеличение при этом же диапазоне скоростей составляет 15...60 %. У снаряженного автомобиля с гидробалансирной передней подвеской также просматривается тенденция к повышению уровня нагруженности передней штанги в среднем на 10...15 % как при кососимметричном, так и при одностороннем расположении препятствий по сравнению с подвеской без гидробалансира.

Так как задняя поперечная штанга была только в одном расчетном варианте, то ее нагруженность сравним с нагруженностью передней штанги. При кососимметричном и одностороннем расположении препятствий растягивающие (положительные) усилия в штанге груженого и снаряженного автомобилей на 15...100 % меньше, чем сжимающие, т.е. наблюдается тенденция, обратная поведению передней подвески, что можно объяснить особенностью расположения поперечных штанг на автомобиле. Нагрузки, возникающие в передней и задней поперечных штангах, в груженом состоянии в общем можно считать равновеликими. При снаряженном состоянии автомобиля задняя штанга нагружена в 2—7 раз меньше, чем при груженом.

Рассматриваемые конструкции подвески оказывают также различное влияние на нагруженность шарниров и ход гидропневматических упругих элементов, нагруженность шин и ускорения поддрессоренных и неподдрессоренных масс. Так, например, гидравлический балансир в передней подвеске снижает динамические нагрузки в шарнирах ее упругих элементов в 1,8—2 раза.

Максимальные динамические нагрузки в упругих элементах превышают статические в 3,5—3,6 раза. Подвеска на продольном рычаге снижает динамические нагрузки в упругих элементах в 1,4—1,5 раза по сравнению с подвеской на штангах и практически не оказывает влияния на отрыв колес передней и задней осей. В то же время она незначительно (на 2...5 %) увеличивает динамическую нагруженность задних шин. Гидравлический балансир в передней подвеске приводит к увеличению ее динамических ходов на 10...20 % для снаряженного и 30...70 % для груженого автомобиля, и при этом у груженого автомобиля имеют место пробои передней подвески на ходе сжатия. Максимальный динамический ход сжатия и отбоя задней подвески на продольном рычаге на 30...80 % меньше, чем у подвески на штангах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яценко Н.Н., Прутчиков О.К. Плавность хода грузовых автомобилей. М., 1968.
2. Раймпель Й. Шасси автомобиля: Элементы подвески / Пер. с нем. М., 1987.
3. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. М., 1972.