

С. В. МЯМЛИН, д.т.н., профессор, ДИИТ (Украина);
В. В. ЖИЖКО, ДИИТ (Украина)

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ТЕЛЕЖЕК ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

У статті представлено попередню оцінку динамічних якостей пасажирських вагонів та зроблено вибір параметрів ступенів підвішування візка 68-7007 з метою їх удосконалення та збільшення експлуатаційних швидкостей руху.

В статье представлена предварительная оценка динамических качеств пассажирских вагонов и сделан выбор параметров ступеней подвешивания тележки 68-7007 с целью их усовершенствования и увеличения эксплуатационных скоростей движения.

In the paper a preliminary estimation of the dynamic qualities of passenger coaches is presented and the choice of parameters of suspension stages for bogie 68-7007 is performed with the purpose of their improvement and increase of operation traffic speeds.

При разработке конструкций новых типов пассажирских вагонов необходимо выполнить предварительную оценку их динамических качеств. Определяющим фактором снижения динамической нагруженности, повышения устойчивости и плавности хода пассажирских вагонов и, как следствие, повышения скорости движения является выбор параметров ступеней подвешивания тележек [1-9].

Целью настоящей работы является предварительное определение параметров пневморессор центрального подвешивания тележки 68-7007 с целью совершенствования демпфирующих качеств рессорного подвешивания и достижения эксплуатационных скоростей движения до 300 км/ч.

Ранее рассматривались различные математические модели как отдельных гасителей колебаний и амортизаторов, так и в составе более полных математических моделей рельсовых экипажей [1,3,6-11]. Были сделаны также попытки усовершенствования математического описания пространственных колебаний пассажирских вагонов [12]. Но оптимальные параметры именно пневмоподвешивания не определялись. С учетом основных тенденций развития пассажирского вагоностроения, определение параметров пневморессор для тележек пассажирских вагонов является актуальной задачей для железнодорожного транспорта.

Вначале необходимо выбрать возмущения (неровности), действующие со стороны пути, которые будут использованы при определении оптимальных параметров пневморессор тележки. Для выбора неровностей выполним моделирование движения по прямому участку пути,

эксплуатируемого в настоящее время на железных дорогах Украины пассажирского вагона на тележках КВЗ-ЦНИИ. Амплитуду неровностей зададим такой, чтобы динамические показатели оставались в допустимых пределах вплоть до установленной максимальной скорости движения пассажирских поездов равной 120 км/ч [13]. Таким образом, пассажирский вагон на тележках КВЗ-ЦНИИ окажется в условиях близких к эксплуатационным. При этом очевидно, что интенсивность возмущений будет несколько завышенной, что пойдет в запас безопасности движения.

Допустимые величины динамических показателей пассажирских вагонов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Допустимые величины динамических показателей пассажирских вагонов

Показатель	Величина
Коэффициент вертикальной динамики рамы кузова (Кдвц)	0,20
Коэффициент вертикальной динамики рамы тележки (Кдвб)	0,35
Коэффициент горизонтальной динамики рамы тележки (Кдг)	0,24
Показатель плавности хода в вертикальной (W _в) и горизонтальной (W _г) плоскостях	3,25
Коэффициент запаса устойчивости от схода вагона с рельсов при доверительной вероятности 0,001 (K _у)	1,80

Результаты выбора неровностей приведены на рис. 1 – 4.

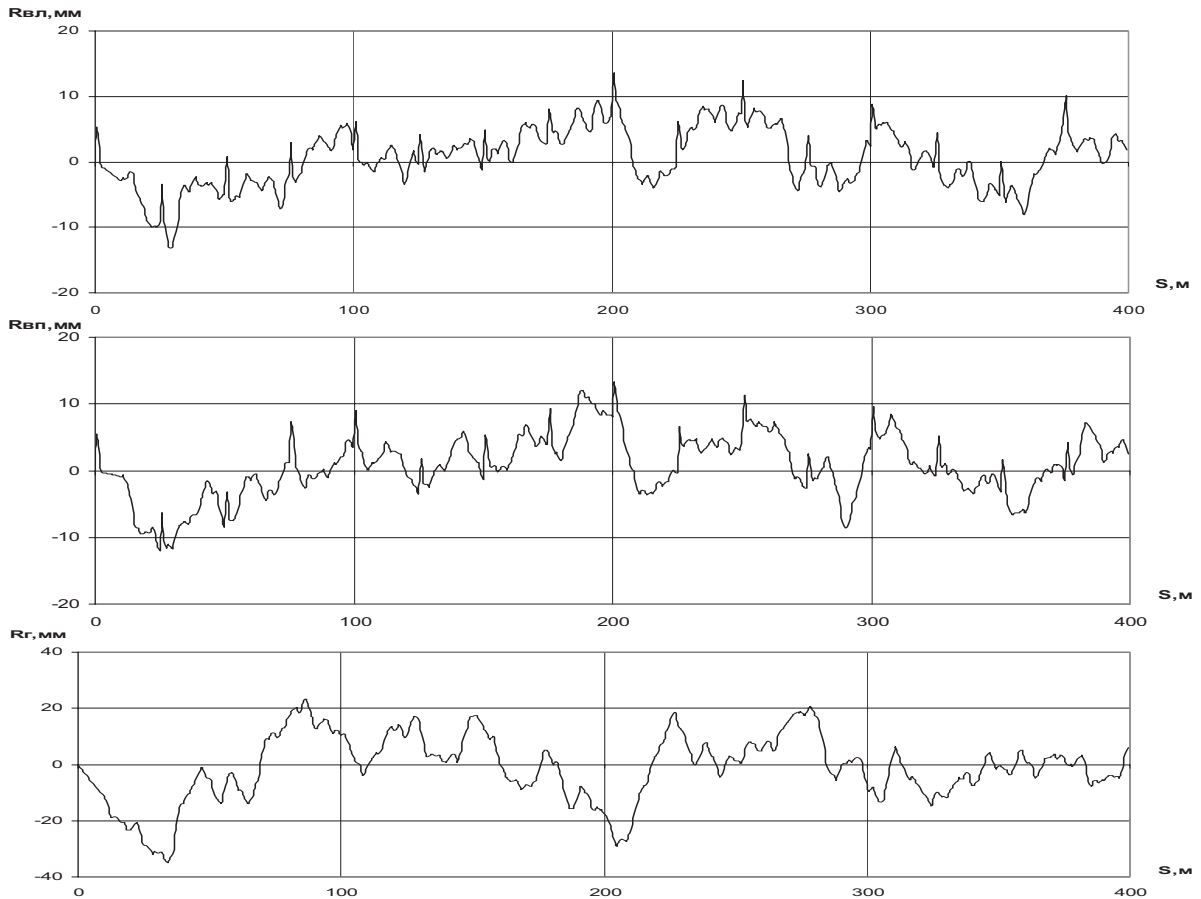


Рис. 1. Неровности пути в вертикальной и горизонтальной плоскости

На рис. 1 приведены неровности пути в вертикальном и горизонтальном направлении. На рис. 2 и 3, сплошными жирными линиями показаны результаты для вагонов на тележках КВЗ-ЦНИИ, сплошными тонкими – для вагона 61-779 на тележках 68-7007, а пунктирными – для вагона 61-788 на тележках 68-7007, жирными горизонтальными линиями – допустимые величины динамических показателей.

Как видно из рисунков, все динамические показатели для вагонов на тележках КВЗ-ЦНИИ укладываются в допустимые пределы при скоростях до 120 км/ч включительно. При дальнейшем увеличении скорости движения величины $K_{двб}$ и $K_{дг}$ превосходят свои предельно допустимые значения. Для вагонов модели 61-779 и 61-788 на тележках 68-7007 величины динамических показателей практически одинаковы во всем диапазоне рассмотренных скоростей.

Для вагонов модели 61-779 и 61-788 нет никаких проблем с вертикальной динамикой – величины $K_{двб}$, $K_{двц}$ и W_b существенно меньше допустимых значений при скоростях до 300 км/ч.

Что касается горизонтальной динамики, то величина $K_{дг}$ выходит за допустимый предел при 220 км/ч. Так как этот показатель относится к первой (буксовой) ступени подвешивания, то прежде чем перейти к определению параметров пневморессоры второй (центральной) ступени подвешивания следует решить проблему снижения величины $K_{дг}$ до допустимого значения.

Для поиска приемлемых, с точки зрения величин динамических показателей, параметров буксовой ступени подвешивания вагона модели 61-779 на тележках 68-7007 был использован метод Монте-Карло. После перебора примерно 2000 вариантов были получены 10 вариантов параметров буксового подвешивания.

Полученные значения сведены в табл. 2.

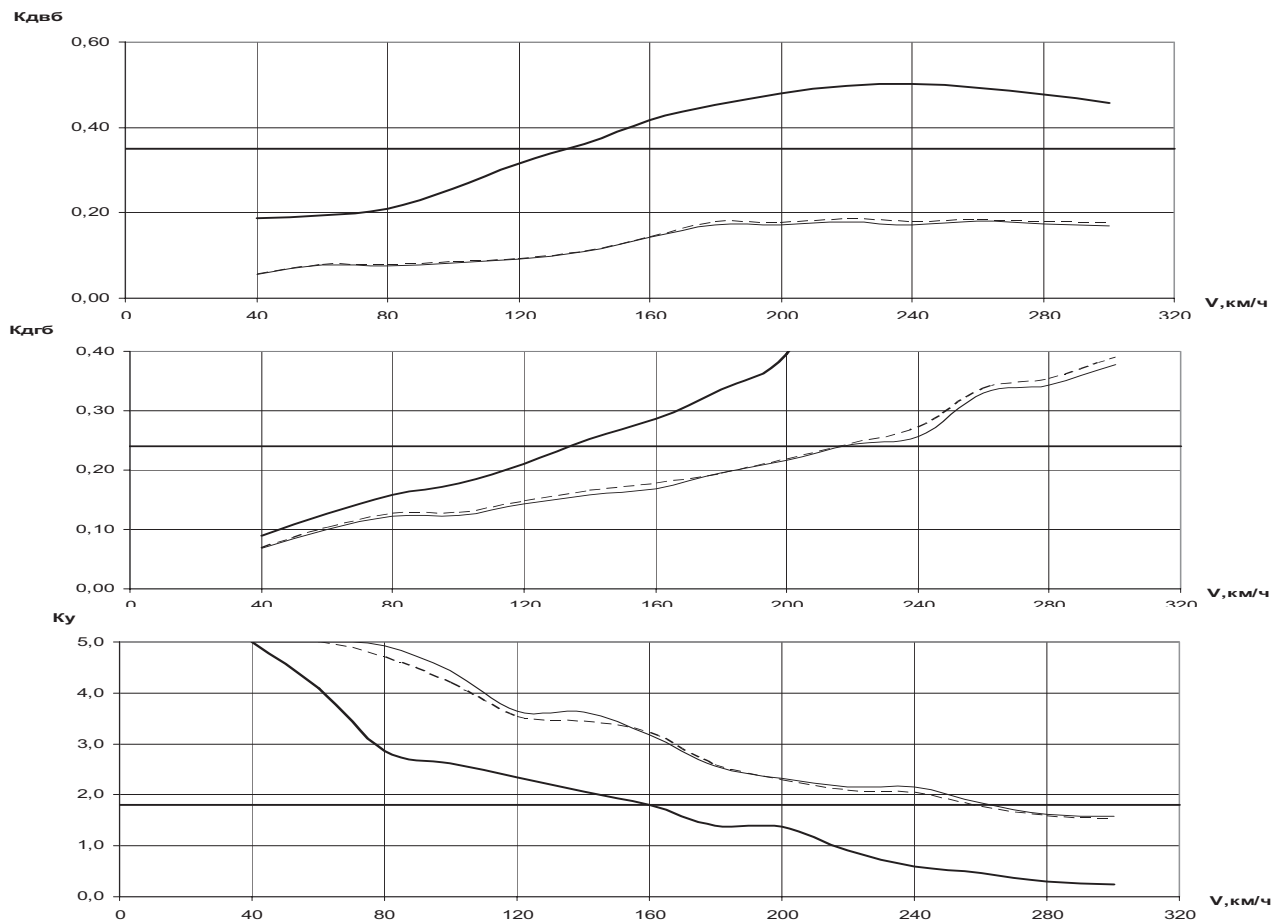


Рис. 2. Динамические показатели $K_{двб}$, $K_{дг}$ и K_y пассажирских вагонов

Таблица 2

Варианты параметров буксового подвешивания для скорости 300 км/ч

Варианты параметров	$K_{бх}$ [кН/м]	$B_{бх}$ [кНс/м]	$K_{бы}$ [кН/м]	$B_{бы}$ [кНс/м]	$K_{бз}$ [кН/м]	$B_{бз}$ [кНс/м]
I	1290	27,4	255	12,6	1222	10,1
II	436	99,2	247	7,9	1137	10,9
III	1610	20,8	251	25,5	1791	8,4
IV	1627	26,6	402	19,5	359	20
V	1482	71,9	240	3,2	1051	11,8
VI	756	92,6	243	20,9	1706	9,2
VII	1793	30,9	419	8,7	1731	7
VIII	1802	65,3	236	16,2	1620	10,1
IX	939	3,7	412	4	1645	7,9
X	948	38	228	11,5	1535	11

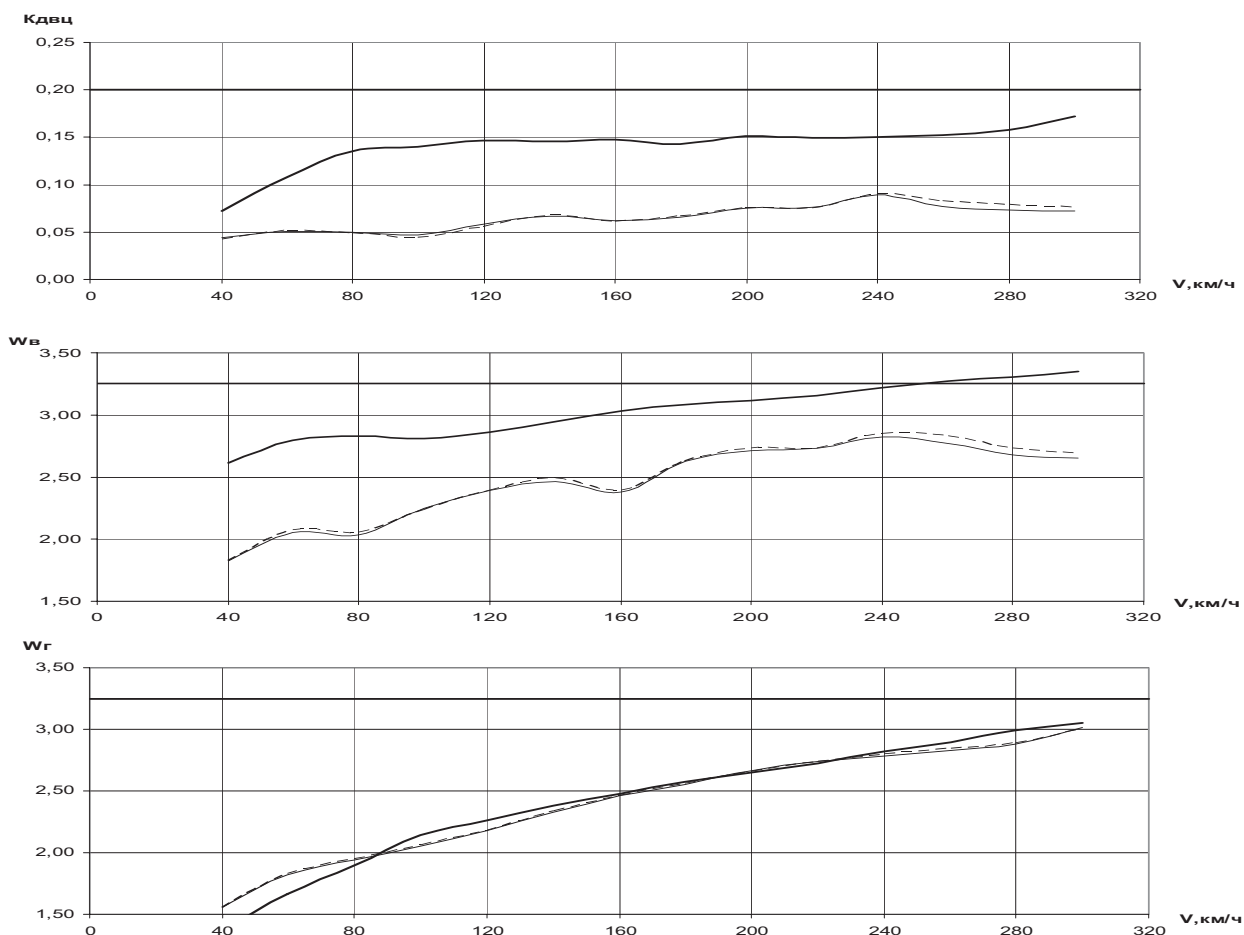


Рис. 3. Динамические показатели Кдвц, Wв и Wг пассажирских вагонов

Т.к. расчеты, при поиске параметров буксового подвешивания, выполнялись только при скорости 300 км/ч, то необходимо выполнить проверочные расчеты во всем диапазоне скоростей. В результате таких расчетов будут от-

брошены те варианты, при которых динамические показатели выходят за допустимые пределы при скоростях ниже 300 км/ч.

Результаты проверочных расчетов приведены в табл. 3 – 13.

Таблица 3

Динамические показатели для варианта I

Вариант I	V, км/ч	Кдвб	Кдг	Ку	Кдвц	Wв	Wг
		40	0,056	0,065	5	0,034	1,831
	60	0,124	0,063	5	0,054	2,226	1,691
	80	0,126	0,069	5	0,044	2,172	1,759
	100	0,15	0,067	5	0,044	2,262	1,884
	120	0,156	0,086	5	0,046	2,412	2,068
	140	0,191	0,112	4,836	0,055	2,537	2,198
	160	0,234	0,119	4,641	0,069	2,573	2,313
	180	0,262	0,122	4,429	0,065	2,566	2,487
	200	0,308	0,119	4,484	0,078	2,785	2,565
	220	0,317	0,124	4,446	0,073	2,861	2,625
	240	0,321	0,139	3,826	0,082	2,883	2,713
	260	0,306	0,156	2,814	0,098	2,974	2,772
	280	0,279	0,17	2,583	0,098	2,977	2,848
	300	0,266	0,172	2,777	0,082	2,912	2,896

Таблица 4

Динамические показатели для варианта II

Вариант II	V, км/ч	Кдвб	Кдг	Ку	Кдвц	Wв	Wг
	40	0,054	0,068	5	0,033	1,824	1,518
	60	0,118	0,058	5	0,052	2,198	1,701
	80	0,121	0,072	5	0,041	2,156	1,761
	100	0,141	0,069	5	0,042	2,247	1,903
	120	0,146	0,087	5	0,044	2,383	2,068
	140	0,188	0,11	5	0,055	2,507	2,18
	160	0,228	0,116	4,939	0,066	2,546	2,275
	180	0,261	0,115	5	0,065	2,565	2,436
	200	0,301	0,113	4,88	0,073	2,766	2,543
	220	0,315	0,118	4,85	0,071	2,837	2,614
	240	0,315	0,119	4,583	0,085	2,869	2,706
	260	0,295	0,129	4,013	0,098	2,948	2,78
280	0,287	0,15	3,819	0,094	2,944	2,82	
300	0,269	0,146	3,374	0,078	2,883	2,892	

Таблица 5

Динамические показатели для варианта III

Вариант III	V, км/ч	Кдвб	Кдг	Ку	Кдвц	Wв	Wг
	40	0,074	0,055	5	0,029	1,849	1,451
	60	0,143	0,064	5	0,051	2,267	1,646
	80	0,205	0,065	5	0,044	2,252	1,744
	100	0,203	0,067	5	0,054	2,319	1,901
	120	0,226	0,081	5	0,051	2,454	2,064
	140	0,243	0,104	4,797	0,066	2,549	2,216
	160	0,293	0,117	4,186	0,079	2,601	2,387
	180	0,317	0,129	3,85	0,076	2,583	2,538
	200	0,351	0,144	3,568	0,09	2,767	2,622
	220	0,379	0,159	3,343	0,076	2,899	2,668
	240	0,393	0,174	2,942	0,089	2,908	2,748
	260	0,389	0,203	2,577	0,103	2,986	2,829
280	0,367	0,24	2,183	0,099	3,034	2,893	
300	0,345	0,237	2,121	0,091	2,988	2,937	

Таблица 6

Динамические показатели для варианта IV

Вариант IV	V, км/ч	Кдвб	Кдг	Ку	Кдвц	Wв	Wг
	40	0,031	0,062	5	0,024	1,711	1,415
	60	0,056	0,085	5	0,028	1,853	1,607
	80	0,08	0,071	5	0,027	1,917	1,692
	100	0,107	0,084	5	0,032	2,046	1,801
	120	0,144	0,089	5	0,047	2,189	1,929
	140	0,189	0,111	4,722	0,047	2,199	2,051
	160	0,263	0,135	3,872	0,055	2,274	2,2
	180	0,294	0,149	3,354	0,051	2,412	2,333
	200	0,336	0,155	3,287	0,062	2,482	2,424
	220	0,358	0,166	3,072	0,067	2,54	2,486
	240	0,369	0,181	2,835	0,058	2,57	2,557
	260	0,352	0,201	2,596	0,051	2,516	2,628
280	0,352	0,216	2,448	0,052	2,5	2,713	
300	0,345	0,23	2,257	0,053	2,484	2,764	

Таблица 7

Динамические показатели для варианта V

Вариант V	V, км/ч	Кдвб	Кдг	Ку	Кдвц	Wв	Wг
	40	0,05	0,076	5	0,031	1,818	1,531
	60	0,108	0,065	5	0,049	2,189	1,712
	80	0,111	0,078	5	0,042	2,141	1,773
	100	0,134	0,077	5	0,04	2,238	1,925
	120	0,143	0,097	5	0,046	2,39	2,102
	140	0,183	0,124	4,863	0,055	2,519	2,205
	160	0,226	0,126	4,617	0,068	2,541	2,301
	180	0,261	0,12	4,542	0,067	2,558	2,441
	200	0,298	0,114	4,662	0,074	2,775	2,562
	220	0,317	0,117	4,493	0,071	2,833	2,625
	240	0,313	0,12	4,47	0,085	2,861	2,702
	260	0,293	0,134	4,157	0,094	2,945	2,737
	280	0,28	0,135	4,084	0,088	2,931	2,799
	300	0,279	0,196	3,598	0,073	2,864	2,846

Таблица 8

Динамические показатели для варианта VI

Вариант VI	V, км/ч	Кдвб	Кдг	Ку	Кдвц	Wв	Wг
	40	0,073	0,056	5	0,03	1,843	1,467
	60	0,138	0,056	5	0,052	2,255	1,653
	80	0,186	0,066	5	0,043	2,233	1,75
	100	0,193	0,064	5	0,049	2,305	1,888
	120	0,213	0,081	5	0,051	2,434	2,045
	140	0,238	0,102	4,897	0,065	2,532	2,192
	160	0,284	0,115	4,394	0,076	2,586	2,347
	180	0,308	0,129	4,16	0,076	2,582	2,514
	200	0,344	0,143	3,894	0,086	2,762	2,588
	220	0,369	0,15	3,655	0,074	2,887	2,649
	240	0,378	0,161	3,057	0,089	2,9	2,731
	260	0,371	0,173	2,751	0,101	2,978	2,802
	280	0,346	0,188	2,67	0,101	3,018	2,874
	300	0,33	0,203	2,504	0,09	2,976	2,925

Таблица 9

Динамические показатели для варианта VII

Вариант VII	V, км/ч	Кдвб	Кдг	Ку	Кдвц	Wв	Wг
	40	0,072	0,064	5	0,029	1,855	1,492
	60	0,152	0,096	5	0,051	2,276	1,734
	80	0,208	0,077	5	0,045	2,26	1,838
	100	0,202	0,095	5	0,051	2,323	1,965
	120	0,22	0,095	5	0,051	2,454	2,12
	140	0,234	0,118	4,344	0,066	2,547	2,295
	160	0,28	0,149	3,505	0,079	2,602	2,463
	180	0,299	0,163	3,32	0,076	2,582	2,576
	200	0,335	0,17	3,348	0,089	2,769	2,672
	220	0,373	0,164	3,493	0,074	2,895	2,678
	240	0,389	0,169	3,396	0,088	2,903	2,757
	260	0,384	0,179	3,1	0,101	2,989	2,795
	280	0,361	0,187	2,722	0,102	3,033	2,884
	300	0,342	0,196	2,807	0,092	2,988	2,922

Таблица 10

Динамические показатели для варианта VIII

Вариант VIII	V, км/ч	Кдвб	Кдг	Ку	Кдвц	Wв	Wг
	40	0,068	0,059	5	0,029	1,84	1,481
	60	0,136	0,058	5	0,053	2,254	1,655
	80	0,174	0,066	5	0,043	2,216	1,739
	100	0,184	0,062	5	0,05	2,296	1,886
	120	0,203	0,082	5	0,049	2,436	2,059
	140	0,228	0,099	5	0,064	2,541	2,208
	160	0,274	0,109	4,618	0,076	2,593	2,338
	180	0,304	0,114	4,54	0,073	2,573	2,513
	200	0,345	0,122	4,434	0,086	2,767	2,591
	220	0,371	0,13	3,976	0,073	2,889	2,641
	240	0,371	0,142	3,469	0,087	2,895	2,725
	260	0,366	0,164	2,835	0,099	2,979	2,798
	280	0,339	0,18	2,727	0,1	3,019	2,865
	300	0,317	0,17	2,965	0,089	2,97	2,916

Таблица 11

Динамические показатели для варианта IX

Вариант IX	V, км/ч	Кдвб	Кдг	Ку	Кдвц	Wв	Wг
	40	0,068	0,067	5	0,031	1,849	1,495
	60	0,146	0,1	5	0,051	2,269	1,763
	80	0,186	0,081	5	0,042	2,243	1,874
	100	0,192	0,098	5	0,048	2,311	1,99
	120	0,205	0,103	5	0,052	2,449	2,148
	140	0,225	0,122	4,265	0,063	2,549	2,314
	160	0,271	0,157	3,406	0,078	2,6	2,468
	180	0,293	0,18	3,191	0,075	2,587	2,612
	200	0,328	0,191	3,08	0,088	2,78	2,689
	220	0,358	0,195	2,815	0,075	2,895	2,717
	240	0,37	0,197	2,759	0,087	2,907	2,737
	260	0,37	0,193	2,749	0,1	2,99	2,812
	280	0,346	0,202	2,603	0,103	3,026	2,838
	300	0,319	0,221	2,42	0,09	2,974	2,868

Таблица 12

Динамические показатели для варианта X

Вариант X	V, км/ч	Кдвб	Кдг	Ку	Кдвц	Wв	Wг
	40	0,067	0,065	5	0,031	1,835	1,501
	60	0,13	0,057	5	0,052	2,242	1,672
	80	0,157	0,065	5	0,04	2,203	1,745
	100	0,176	0,063	5	0,046	2,286	1,9
	120	0,192	0,086	5	0,05	2,429	2,051
	140	0,22	0,104	5	0,062	2,537	2,215
	160	0,267	0,108	4,986	0,076	2,587	2,335
	180	0,301	0,11	5	0,073	2,577	2,49
	200	0,345	0,113	5	0,085	2,774	2,585
	220	0,368	0,119	4,389	0,074	2,883	2,627
	240	0,369	0,134	3,927	0,086	2,895	2,713
	260	0,363	0,148	2,686	0,099	2,979	2,76
	280	0,336	0,157	2,752	0,101	3,008	2,826
	300	0,315	0,169	3,225	0,088	2,956	2,88

Как видно из приведенных таблиц, большая часть полученных вариантов параметров не удовлетворяют ограничениям по Кдвб. Величины Кдвб, выходящие за допустимое значение, в таблицах отмечены жирным шрифтом. Пригодным для дальнейшего рассмотрения оказались 3 варианта параметров (I, II и V). Для этих вариантов на рис. 4 и 5 показаны графики динамических показателей.

Оставшиеся 3 варианта параметров буксовой ступени подвешивания параметров (I, II и V), как видно из рис. 4 и 5, мало отличаются друг от друга. Небольшое отличие величин K_u и $K_{дг}$

вряд ли может стать критерием для окончательного предпочтения одного из них, т.к. величины этих показателей для всех вариантов далеки от допустимых значений.

В дополнение к рассмотренным динамическим показателям на рис. 6 приведены графики показателей износа колес на поверхности катания (Φ_k) и на гребне (Φ_g). На этом же рисунке для сравнения жирной линией показаны показатели износа для варианта - вагон модели 61-779 на тележках 68-7007 с паспортными характеристиками амортизаторов.

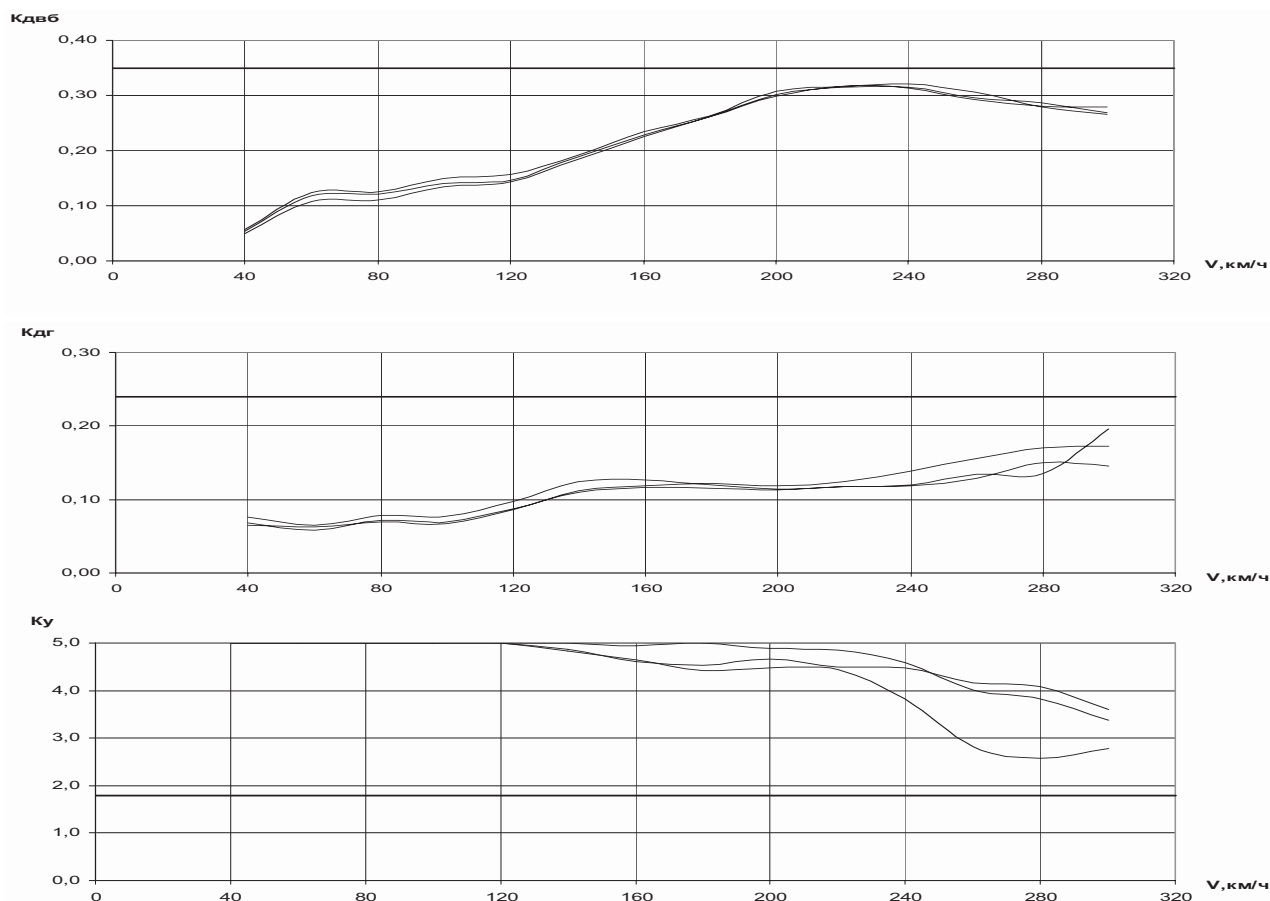


Рис. 4. Динамические показатели $K_{двб}$, $K_{дг}$ и K_u пассажирских вагонов модели 68-779

Из приведенных рисунков видно, что:

1. Показатели износа для полученных 3-х вариантов параметров буксового подвешивания при скоростях выше 140 км/ч существенно меньше, чем для тележки с паспортными параметрами буксового подвешивания.
2. Полученные 3 варианта параметров при скоростях выше 200 – 240 км/ч заметно отличаются между собой. С точки зрения показателей износа колес предпочтень следует вариант I. Кроме этого не следует забывать, что износ колесных

пар происходит, в первую очередь, из-за интенсивного виляния, что в свою очередь приводит к избыточным затратам на тягу поезда.

Таким образом, для скоростей движения пассажирских вагонов до 300 км/ч наиболее предпочтительными, прежде всего с точки зрения износа колес и затрат на тягу поезда, являются параметры буксового подвешивания, соответствующие варианту I. Поэтому именно эти параметры и следует рекомендовать для реализации.

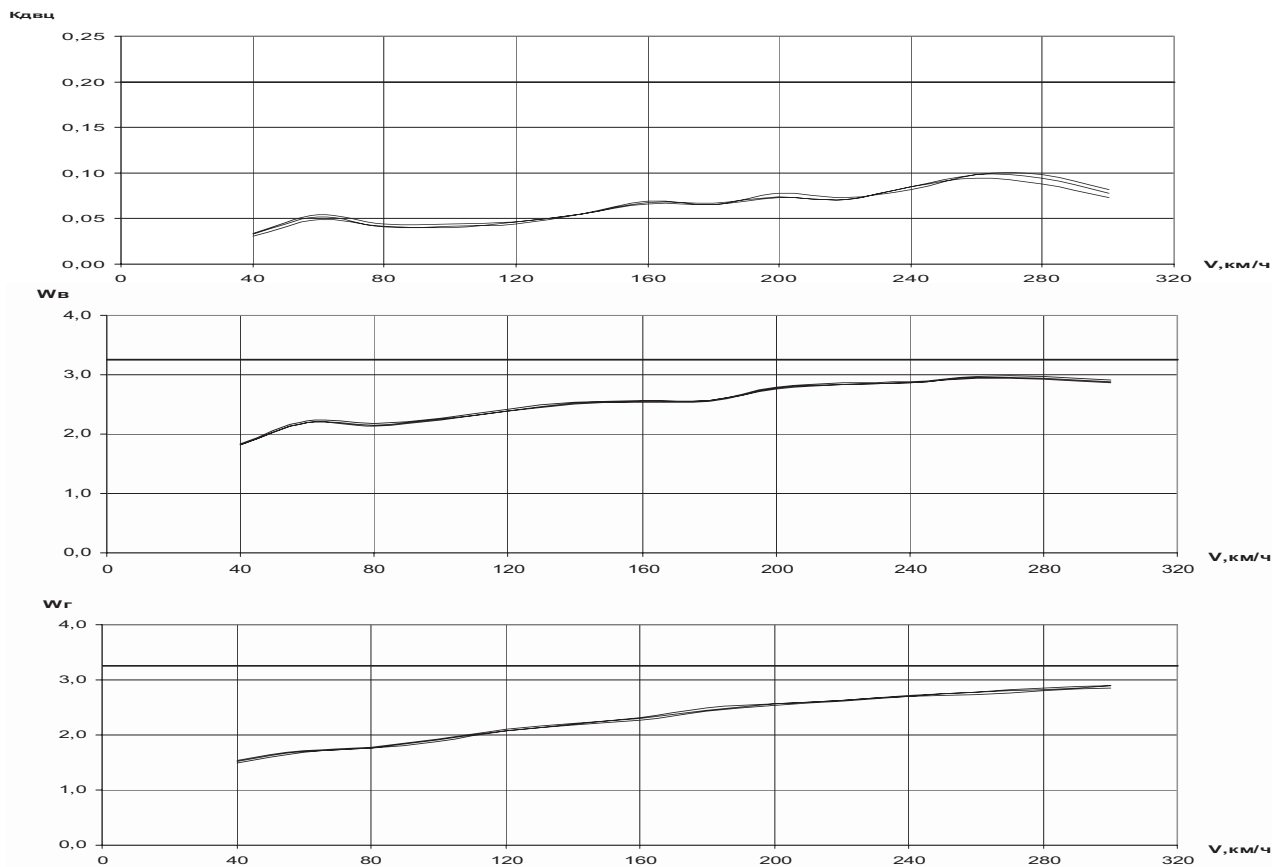


Рис. 5. Динамические показатели $K_{dvц}$, $W_{в}$ и $W_{г}$ пассажирских вагонов модели 68-779

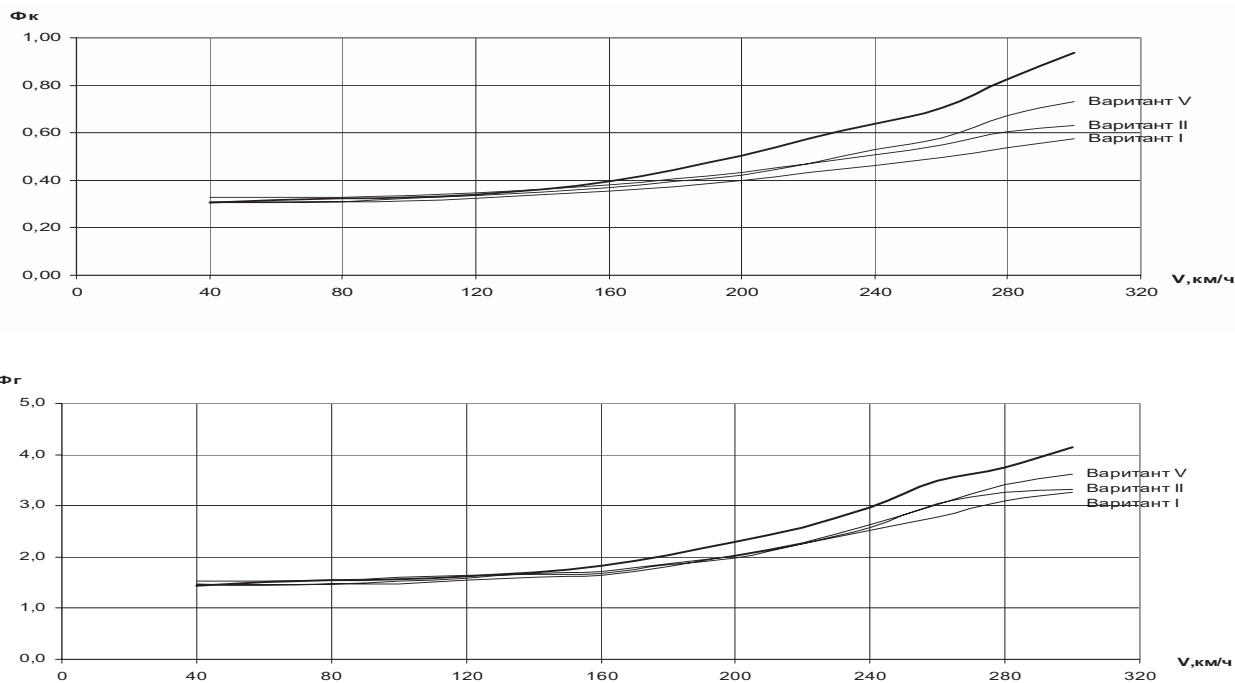


Рис. 6. Показатели износа колес на поверхности катания $\Phi_{к}$ и на гребне $\Phi_{г}$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мямлин, С. В. Улучшение динамических качеств рельсовых экипажей путем усовершенствования характеристик рессорного подвешивания [Текст] : дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07. – Д., 2003. – 455 с.
2. Теоретичні дослідження динаміки пасажирського вагону для швидкостей руху до 250 км/год [Текст] : звіт про НДР (заключ.) / Науково-виробниче підприємство «Укртранскад». – 4-107/ЮР; № ДР 0106U007472; Інв. № 0307U007208. – Д., 2006. – 386 с.
3. Мямлин, С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей [Текст] / С. В. Мямлин. – Д.: Новая идеология, 2002. – 240 с.
4. Мямлин, С. В. Влияние жесткости рессорного подвешивания на динамические показатели качества пассажирского вагона [Текст] / С. В. Мямлин // Транспорт. – Д.: ДІПТ, 2002. – № 10. – С. 46-50.
5. Вибір раціональних параметрів ресорного підвішування візка моделі 68-7007 [Текст] : звіт про НДР (заключ.) / Науково-виробниче підприємство «Укртранскад». – 4-106/ЮР; № ДР 0106U007471; Інв. № 0307U007207. – Д., 2006. – 112 с.
6. Николаев, В. А. Разработка методов аналитического конструирования квазиинвариантных систем рессорного подвешивания железнодорожных экипажей [Текст] : автореф. дис. ... докт. техн. наук / Омск. гос. ун-т путей сообщ. – Омск, 2003. – 42 с.
7. Камаев, В. А. Оптимизация параметров ходовых частей железнодорожного подвижного состава [Текст] / В. А. Камаев. – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.
8. Соколов, М. М. Гасители колебаний железнодорожного подвижного состава [Текст] / М. М. Соколов, В. И. Варава, Г. М. Левит. – М.: Транспорт, 1985. – 216 с.
9. Манашкин, Л. А. Гасители колебаний и амортизаторы ударов рельсовых экипажей (математические модели) [Текст] / Л. А. Манашкин, С. В. Мямлин, В. И. Приходько. – М.: АРТ-ПРЕСС, 2007. – 196 с.
10. Вершинский, С. В. Динамика вагона [Текст] / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов. – М.: Транспорт, 1991. – 359 с.
11. Лазарян, В. А. Динамика вагонов [Текст] / В. А. Лазарян. – М.: Транспорт, 1964. – 256 с.
12. Мямлин, С. В. Совершенствование математической модели пространственных колебаний пассажирского вагона [Текст] / С. В. Мямлин, В. И. Приходько, В. В. Жижко // Пр. 67 Міжн. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д.: ДІПТ, 2007. – С. 40-41.
13. Нормы допустимых швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях Державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 (1524) мм [Текст] . – К.: УЗ, 2004. – 52 с.

Поступила в редколлегию 04.09.2009