

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕССОРНЫХ КОМПЛЕКТОВ ТЕЛЕЖЕК ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

У статті поставлена та вирішена задача із знаходження оптимальних значень параметрів ресорних комплектів буксового та центрального підвищення візків пасажирського вагону. Це дозволяє збільшити конструкційну швидкість пасажирського вагону до швидкостей вище 160...200 км/год.

В статье поставлена и решена задача о нахождении оптимальных значений параметров ресорных комплектов буксового и центрального подвешивания тележек пассажирского вагона. Это позволяет увеличить конструкционную скорость пассажирского вагона до скоростей выше 160...200 км/ч.

In article the problem about a finding of optimum values of parameters of spring complete sets axle box and the central suspension of the carriage is put and solved. It allows increasing constructional speed of the carriage till the speeds above 160...200 km/h.

Для пассажирского вагона, имеющего двухступенчатое ресорное подвешивание, динамические качества определяются несколько иным набором нормируемых показателей качества и также зависят от параметров буксовой и центральной ступеней подвешивания.

Для пассажирского вагона список нормируемых динамических показателей выглядит так:

1. Коэффициент вертикальной динамики рамы тележки с надбуксовым подвешиванием ($K_{двб}$).
2. Отношение боковой рамной силы к статической осевой нагрузке ($K_{дгб}$).
3. Коэффициент запаса устойчивости от схода колес с рельсов (K_y).
4. Коэффициент вертикальной динамики кузова ($K_{двц}$).
5. Вертикальное ускорение кузова ($A_{кв}$).

6. Горизонтальное ускорение кузова ($A_{кг}$).

7. Плавность хода в вертикальном направлении (W_B).

8. Плавность хода в горизонтальном направлении (W_G).

Предельно допустимые значения всех выше перечисленных динамических показателей пассажирского вагона (табл. 1) приведены в [1].

В данном случае динамические показатели качества нормируются также как и для грузового полувагона, а в критерии качества вместо 6-ти слагаемых будет 8 по числу нормируемых показателей пассажирского вагона. Для того, чтобы, как и в предыдущем случае, функция цели изменялась в диапазоне 0...1 величины весовых коэффициентов будут равны $\lambda_i = 0,125$.

Таблица 1

Допустимые значения динамических показателей

$K_{двб}^{max}$	$K_{дгб}^{max}$	K_y^{min}	$K_{двц}^{max}$	$A_{кв}^{max}, g$	$A_{кг}^{max}, g$	W_B^{max}	W_G^{max}
0,4	0,3	1,8	0,25	0,25	0,15	3,25	3,25

Итак, введем вектор нормированных значений динамических показателей качества пассажирского вагона и целевую функцию в следующем виде:

$$\bar{\varphi} = \left[\begin{array}{c} K_{двб}^{max} \quad K_{дгб}^{max} \quad (K_y^{max} - K_y) \\ K_{двб}^{max} \quad K_{дгб}^{max} \quad K_y^{max} - K_y^{min} \end{array} \times \right. \\ \left. \times \frac{K_{двц}}{K_{двц}^{max}} \frac{A_{кв}}{A_{кв}^{max}} \frac{A_{кг}}{A_{кг}^{max}} \frac{W_B}{W_B^{max}} \frac{W_G}{W_G^{max}} \right]^T \quad (1)$$

$$F(\bar{\varphi}) = \sum_{i=1}^{i=8} \lambda_i \varphi_i, \quad (2)$$

где λ_i – весовые коэффициенты каждого показателя; φ_i – нормированные значения перечисленных выше динамических показателей качества пассажирского вагона.

Приведем перечень оптимизируемых параметров пассажирского вагона:

1. Величины жесткостей ресорных комплектов буксового подвешивания в трех направлениях ($K_{бх}, K_{бy}, K_{бz}$).

2. Величины вязкостей в горизонтальном продольном и горизонтальном поперечном направлениях ($\beta_{\text{оx}}, \beta_{\text{оy}}$) и величина коэффициента сухого трения в вертикальном направлении ($C_{\text{бz}}$).

3. Величины жесткостей центрального подвешивания в трех направлениях ($K_{\text{цx}}, K_{\text{цy}}, K_{\text{цz}}$).

4. Величины вязкостей центрального подвешивания в трех направлениях ($\beta_{\text{цx}}, \beta_{\text{цy}}, \beta_{\text{цz}}$).

Таким образом, и в этом случае имеем 12 оптимизируемых параметров:

$$\bar{X} = [K_{\text{оx}} K_{\text{оy}} K_{\text{бz}} \beta_{\text{оx}} \beta_{\text{оy}} C_{\text{бz}} \times K_{\text{цx}} K_{\text{цy}} K_{\text{цz}} \beta_{\text{цx}} \beta_{\text{цy}} \beta_{\text{цz}}]^T. \quad (3)$$

На величины оптимизируемых параметров накладываются такие же ограничения: $\forall X_i \geq 0$.

Как и в предыдущем случае, вначале были найдены оптимальные значения параметров рессорных комплектов при движении пассажирского вагона по прямолинейному участку пути с конструкционной скоростью равной 160 км/ч с такими же неровностями. В качестве начальных значений оптимизируемых параметров выбраны величины равные стандартным значениям для пассажирского вагона на тележках КВЗ-ЦНИИ. На рис. 1 показан график изменения функции цели в ходе поиска ее минимального значения.

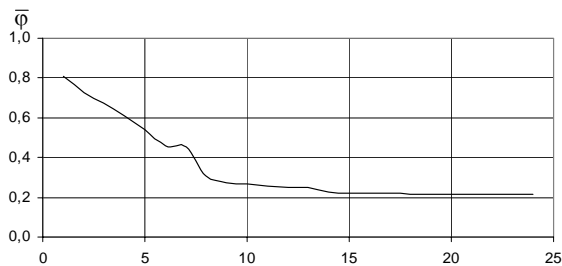


Рис. 1. График изменения функции цели

На рис. 2–4 показаны графики изменения оптимизируемых параметров.

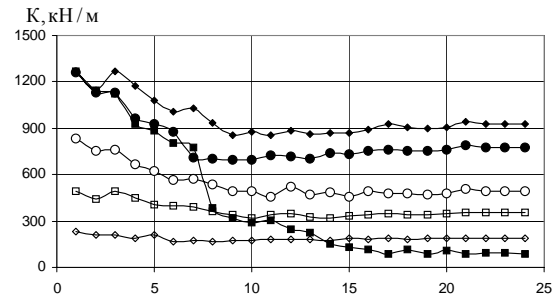


Рис. 2. График изменения жесткостей рессорных комплектов:
 $\blacklozenge - K_{\text{оx}}; \blacksquare - K_{\text{оy}}; \bullet - K_{\text{бz}}; \diamond - K_{\text{цx}}; \square - K_{\text{цy}}; \circ - K_{\text{цz}}$

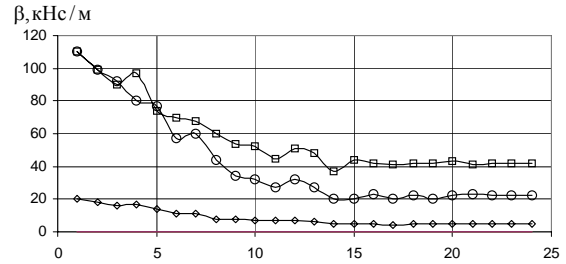


Рис. 3. График изменения вязкостей рессорных комплектов:
 $\diamond - \beta_{\text{цx}}; \square - \beta_{\text{цy}}; \circ - \beta_{\text{цz}}$

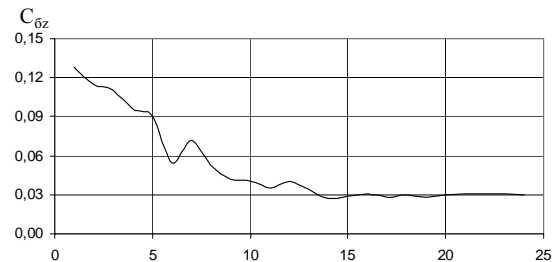


Рис. 4. График изменения коэффициента сухого трения буксовой ступени подвешивания $C_{\text{бz}}$

Как видно из рис. 1–4, в процессе решения поставленной задачи и функция цели, и величины оптимизируемых параметров практически перестали меняться уже после 15 шага.

В табл. 2 приведены начальные значения оптимизируемых параметров и значения, полученные после оптимизации, а в табл. 3 значения динамических показателей качества при начальных и оптимальных значениях параметров рессорных комплектов.

Таблица 2

Начальные и оптимальные значения параметров рессорных комплектов

Значения	$K_{\text{оx}}$	$\beta_{\text{оx}}$	$K_{\text{оy}}$	$\beta_{\text{оy}}$	$K_{\text{бz}}$	$C_{\text{бz}}$	$K_{\text{цx}}$	$\beta_{\text{цx}}$	$K_{\text{цy}}$	$\beta_{\text{цy}}$	$K_{\text{цz}}$	$\beta_{\text{цz}}$
Начальн.	1269	0	1269	0	1260	0,128	230	20	490	110	835	110
Оптимальное	927	0	89	0	776	0,03	185	5	382	42	493	22

Динамические показатели при начальных и оптимальных параметрах рессорного подвешивания

Значения	$K_{двб}$	$K_{дгб}$	K_y	$K_{двц}$	$A_{кв}, g$	$A_{кр}, g$	W_b	W_r
Начальные	0,293	0,203	1,917	0,159	0,168	0,175	3,166	3,852
Оптимальные	0,127	0,028	3,573	0,063	0,066	0,061	2,38	2,803
% улучшения	56,7	86,2	86,3	60,4	60,7	65,1	24,8	27,2

Как видно из данных, приведенных в табл. 2 и 3, и в этом случае полученные значения параметров рессорных комплектов позволяют существенно улучшить величины динамических показателей качества от 24,8 % для W_b до 86,3 % для K_y . Для пассажирского вагона в процессе поиска оптимальных значений параметров ступеней подвешивания значение функции цели снизилось 0,8...0,22, следствием этого является возможность повысить скорости движения пассажирского вагона.

Как и для грузового вагона, здесь также следует рассмотреть движение экипажа не только по прямолинейным участкам, но и по кривым различных радиусов, после этого оптимальные значения параметров ступеней подвешивания следует определить как средневзвешенное значение.

В табл. 4 приведены величины динамических показателей качества пассажирского вагона при

движении его по этим участкам для оптимальных значений параметров рессорных комплектов. В последнем столбце этой таблицы приведены минимальные значения функции цели.

В табл. 5 приведены значения оптимальных параметров рессорных комплектов пассажирского вагона для различных участков пути. В последней строке табл. 5 приведены средневзвешенные значения оптимальных параметров ($\bar{X}_{опт}$), полученные с округлением величин жесткостей до 10 кН/м, вязкостей – 5 кНс/м, коэффициента сухого трения – 0,01 по формуле

$$\bar{X}_{опт} = \sum \bar{X}_{опти} \bar{\alpha}_i, \quad (4)$$

где $\bar{X}_{опти}$ – вектор оптимальных параметров для одного из криволинейных или прямолинейного участков; $\bar{\alpha}_i$ – вектор весовых коэффициентов.

Таблица 4

Значения динамических показателей качества пассажирского вагона при оптимальных параметрах рессорного подвешивания на различных участках пути

Участок	$K_{двб}$	$K_{дгб}$	K_y	$K_{двц}$	$A_{кв}, g$	$A_{кр}, g$	W_b	W_r	$F(\bar{\varphi})$	
Кривые радиусом, м	250	0,096	0,274	1,879	0,056	0,057	0,097	2,163	2,996	0,45389
	300	0,135	0,257	2,034	0,074	0,073	0,087	2,350	2,871	0,43084
	400	0,071	0,191	2,466	0,047	0,052	0,061	2,038	2,604	0,27528
	600	0,097	0,179	2,472	0,047	0,052	0,053	2,090	2,484	0,26197
	700	0,089	0,173	2,658	0,050	0,055	0,046	2,143	2,388	0,23836
	900	0,092	0,158	2,746	0,053	0,056	0,046	2,183	2,321	0,22569
	1100	0,099	0,144	2,772	0,057	0,059	0,045	2,210	2,386	0,22445
	1300	0,099	0,121	2,949	0,065	0,068	0,046	2,321	2,366	0,21581
Прямая	0,127	0,028	3,573	0,063	0,066	0,061	2,380	2,803	0,21563	

Значения оптимальных параметров рессорного подвешивания пассажирского вагона для различных участков пути

Участок	$K_{\text{бк}}$	$\beta_{\text{бк}}$	$K_{\text{бг}}$	$\beta_{\text{бг}}$	$K_{\text{бз}}$	$C_{\text{бз}}$	$K_{\text{цк}}$	$\beta_{\text{цк}}$	$K_{\text{цг}}$	$\beta_{\text{цг}}$	$K_{\text{цз}}$	$\beta_{\text{цз}}$	
Кривые радиусом, м	250	228	0	1268	0	669	0,037	188	28	534	57	423	52
	300	399	0	945	0	929	0,055	197	19	583	30	490	65
	400	722	0	754	0	674	0,014	30	4	398	30	429	24
	600	998	0	710	0	683	0,034	146	12	398	14	432	19
	700	1005	0	579	0	701	0,022	173	10	400	6	434	20
	900	828	0	584	0	692	0,027	131	6	359	5	442	28
	1100	800	0	603	0	685	0,026	9	14	357	12	497	23
	1300	521	0	467	1	682	0,025	73	1	368	12	516	39
Прямая	927	0	89	0	776	0,030	185	5	352	42	493	22	
$\bar{X}_{\text{опт}}$	880	0	250	0	750	0,03	160	5	360	35	480	25	

Для проверки полученных результатов выполнены расчеты, моделирующие движение пассажирского вагона по аналогичным участкам железнодорожного пути (кривые радиусом 300 и 600 м и прямая). Полученные в результате расчетов динамические показатели пассажирского вагона приведены на рис. 5–12. Так же, как и в предыдущем случае на этих рисунках использованы те же обозначения: \blacklozenge – кривая 300 м; \blacksquare – кривая 600 м; \bullet – прямая; пунктиром обозначены графики при стандартных значениях параметров рессорных комплектов; сплошной линией – при оптимальных значениях.

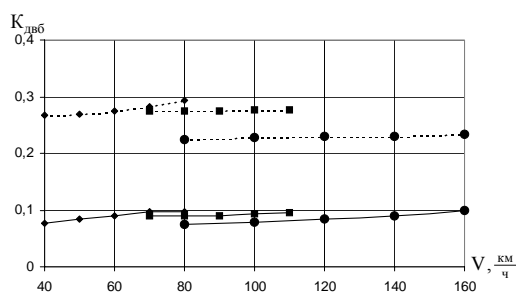


Рис. 5. График зависимости $K_{\text{двб}}$ пассажирского вагона от скорости

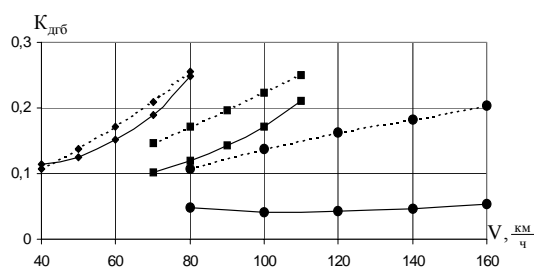


Рис. 6. График зависимости $K_{\text{дгб}}$ пассажирского вагона от скорости

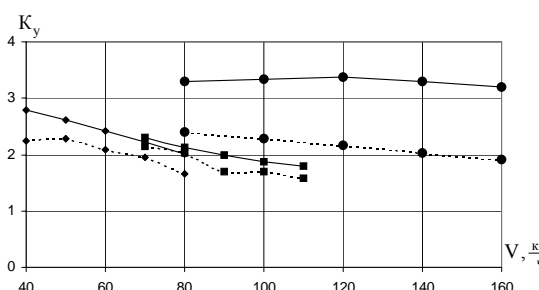


Рис. 7. График зависимости K_y пассажирского вагона от скорости

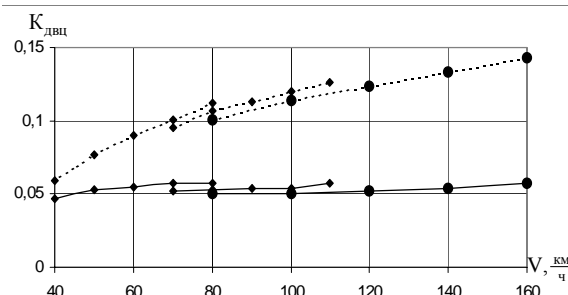


Рис. 8. График зависимости $K_{\text{двц}}$ пассажирского вагона от скорости

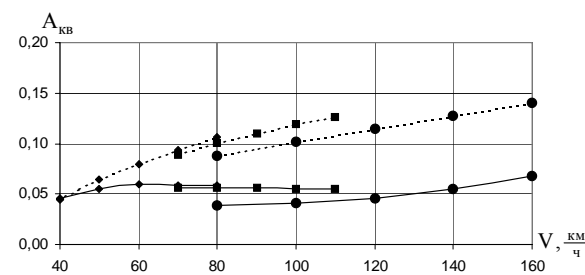


Рис. 9. График зависимости $A_{\text{кв}}$ пассажирского вагона от скорости

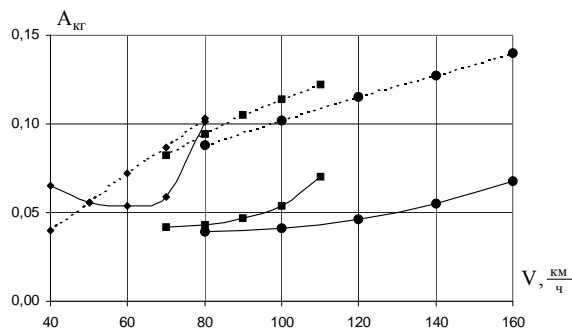


Рис. 10. График зависимости $A_{кг}$ пассажирского вагона от скорости

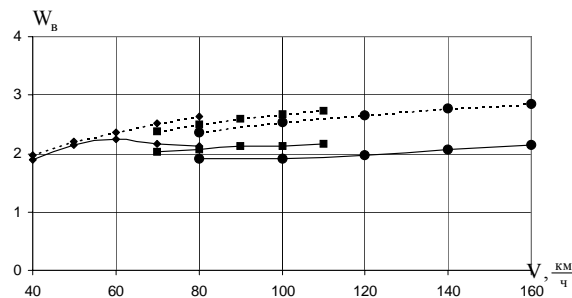


Рис. 11. График зависимости $W_в$ пассажирского вагона от скорости

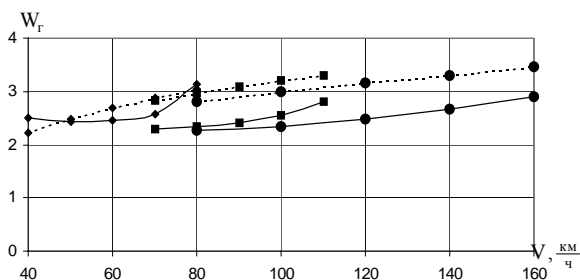


Рис. 12. График зависимости $W_г$ пассажирского вагона от скорости

Как видно из рис. 5–12, и для пассажирского вагона практически во всех случаях динамические показатели, рассчитанные с использованием оптимальных значений параметров рессорных комплектов, улучшились по сравнению с их величинами при стандартных значениях параметров рессорных комплектов. Таким образом, для пассажирского вагона решена поставленная задача о нахождении оптимальных значений параметров рессорных комплектов буксового и центрального подвешивания тележек. Это позволяет увеличить конструкционную скорость пассажирского вагона до скоростей выше 160...200 км/ч, что в дальнейшем нашло отражение при изготовлении вагонов на тележках модели 68-7007.

Серия проведенных динамических ходовых испытаний научно-исследовательскими лабораториями ДИИТа и УкрНИИВа подтвердила правильность рекомендованных параметров рессорного подвешивания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных): ВНИИВ-ВНИИЖТ. – 1983.

Поступила в редколлегию 11.02.2005.