

## РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

Наведено розрахунок основних нормуємих динамічних показників нового пасажирського вагона.

Представлен расчет основных нормируемых динамических показателей нового пассажирского вагона.

The article describes calculation of the main standard dynamic characteristics for a new passenger car.

При выполнении расчетов динамических показателей проектируемых рельсовых экипажей выполняют сравнение расчетных значений основных динамических показателей с нормируемыми величинами [1]. К нормируемым величинам относятся: коэффициент вертикальной динамики, коэффициент горизонтальной динамики, коэффициент запаса устойчивости вагона от опрокидывания, коэффициент запаса устойчивости колеса против схода с рельсов. Эти показатели оцениваются для различных вариантов загрузки. В данном случае для пассажирского вагона – это вариант порожнего вагона и вагона с пассажирами.

Рассмотрим расчет основных нормируемых динамических показателей пассажирского вагона на примере вагона модели 61-779.

Исходные данные для расчета:

- вес вагона порожнего (расчетный)  $Q_B = 618$  кН;
- вес вагона с пассажирами  $Q_{B.п} = 660$  кН;
- вес кузова порожнего  $Q_K = 476$  кН;
- высота центра тяжести кузова порожнего от уровня головок рельсов (УГР)  $h_K = 2,163$  м;
- вес кузова с пассажирами  $Q_{K.п} = 518$  кН;
- высота центра тяжести кузова с пассажирами от УГР  $h_{K.п}^* = 2,119$  м;
- длина вагона по осям сцепления автосцепок  $2L_C = 26,696$  м;
- высота автосцепки над УГР  $h_a = 1,06$  м;
- расстояние между кругами катания колес  $2S = 1,58$  м;
- скорость движения вагона  $V = 160$  км/ч (44,44 м/с);
- вес надрессорной балки  $Q_6 = 6$  кН;
- вес пружин центрального рессорного подвешивания одной тележки  $Q_1 = 0,307$  кН;
- вертикальная жесткость центрального рессорного подвешивания одной тележки  $C_{B1} = 2659,22$  кН/м;

- вес рамы тележки  $Q_{p.т} = 14,68$  кН;
- вес пружин центрального рессорного подвешивания одной тележки  $Q_1 = 0,307$  кН;
- вертикальная жесткость центрального рессорного подвешивания одной тележки  $C_{B1} = 2659,22$  кН/м;
- вес пружин буксового рессорного подвешивания одной тележки  $Q_2 = 0,312$  кН;
- вертикальная жесткость буксового рессорного подвешивания одной тележки  $C_{B2} = 6567,064$  кН/м;
- вес котловой тележки  $Q_{T1} = 74,0$  кН;
- вес котловой тележки  $Q_{T2} = 68,0$  кН;
- высота центра тяжести тележки от УГР  $h_{ц.т} = 0,6$  м;
- боковая проекция кузова  $S_K = 98$  м<sup>2</sup>;
- высота центра тяжести боковой проекции кузова от УГР  $h_{B.K}^* = 2,7$  м;
- боковая проекция тележки  $S_T = 6,8$  м<sup>2</sup>;
- высота центра тяжести боковой проекции тележки от УГР  $h_{B.T} = 0,6$  м;
- число осей вагона  $n = 4$ ;
- расстояние между центрами рессорных комплектов  $2b = 2,036$  м;
- высота от УГР до верхней плоскости центрального рессорного комплекта в свободном состоянии  $h_p = 0,609$  м.

Коэффициент вертикальной динамики  $K_{д.в}$  рассматривается в [1, п. 2.2.2] как случайная функция с вероятностным распределением вида

$$P(k_{д.в}) = 1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \frac{k_{д.в}^2}{k_{д.в}^2} \cdot \beta^2\right).$$

Коэффициент  $k_{д.в}$  определяется как квантиль этой функции при расчетной односторонней вероятности  $P(k_{д.в})$  по формуле

$$k_{д.в} = \frac{\overline{k_{д.в}}}{\beta} \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \ln \frac{1}{1 - P(k_{д.в})}},$$

где  $\overline{k_{д.в}}$  – среднее вероятное значение коэффициента вертикальной динамики

$$\overline{k_{д.в}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} b \cdot \frac{V - 15}{f_{ст}^i},$$

где  $a$  – коэффициент, равный для элементов кузова 0,05;  $b$  – коэффициент, учитывающий влияние числа осей  $n = 2$  в тележке или группе тележек под одним концом экипажа

$$b = \frac{n + 2}{2n} = \frac{2 + 2}{2 \cdot 2} = 1,$$

$V$  – расчетная скорость движения;  $f_{ст}^{(1)}$  – статический прогиб рессорного подвешивания вагона с пассажирами

$$\begin{aligned} f_{ст}^{(1)} &= \frac{Q_{к.п} + 2(Q_6 + 1/3Q_1)}{2C_{в1}} + \\ &+ \frac{Q_{к.п} + 2(Q_6 + Q_1 + Q_{р.т} + 1/3Q_2)}{2C_{в2}} = \\ &= \frac{518 + 2(6 + 1/30,307)}{2 \cdot 2659,22} + \\ &+ \frac{518 + 2(6 + 0,307 + 14,68 + 1/3 \cdot 0,312)}{2 \cdot 6567,064} = \\ &= 0,142 \text{ м}, \end{aligned}$$

где  $f_{ст}^{(2)}$  – статический прогиб рессорного подвешивания порожнего вагона

$$\begin{aligned} f_{ст}^{(2)} &= \frac{Q_к + 2(Q_6 + 1/3Q_1)}{2C_{в1}} + \\ &+ \frac{Q_к + 2(Q_6 + Q_1 + Q_{р.т} + 1/3Q_2)}{2C_{в2}} = \\ &= \frac{476 + 2(6 + 1/30,307)}{2 \cdot 2659,22} + \\ &+ \frac{476 + 2(6 + 0,307 + 14,68 + 1/3 \cdot 0,312)}{2 \cdot 6567,064} = \\ &= 0,131 \text{ м}. \end{aligned}$$

Для вагона с пассажирами

$$\overline{k_{д.в}} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \frac{44,44 - 15}{0,142} = 0,125.$$

Для порожнего вагона

$$\overline{k_{д.в}} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \frac{44,44 - 15}{0,131} = 0,131.$$

Здесь  $\beta$  – параметр распределения, уточняется по экспериментальным данным, для деталей пассажирских вагонов при существующих условиях эксплуатации  $\beta = 1$ ;  $P(k_{д.в})$  – при расчетах на прочность по допускаемым напряжениям принимается 0,97.

Для вагона с пассажирами

$$k_{д.в} = \frac{0,125}{1} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - 0,97}} = 0,264.$$

Для порожнего вагона

$$k_{д.в} = \frac{0,131}{1} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - 0,97}} = 0,277.$$

Для шкворневых узлов рамы значение расчетного коэффициента вертикальной динамики определяется с учетом влияния перевалки кузова вагона по формуле:

$$k_{дв1}^{шк.в} = k_{дв} (1 + \gamma),$$

где  $\gamma$  – коэффициент, который рекомендуется принимать  $\gamma = 0,2$ .

Для груженого вагона

$$k_{дв1}^{шк.в} = 0,264(1 + 0,2) = 0,316.$$

Для порожнего вагона

$$k_{дв1}^{шк.в} = 0,277(1 + 0,2) = 0,332.$$

В соответствии с [1, п. 3.4.1] для вагона с пассажирами  $k_{д.в} = 0,264$ , ход вагона допустимый; для порожнего вагона  $k_{д.в} = 0,277$ , ход вагона допустимый.

Коэффициент горизонтальной динамики  $K_{д.г}$  рассматривается в [1, п. 2.3.1] как случайная функция с вероятностным распределением вида:

$$P(k_{д.г}) = 1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \frac{k_{д.г}^2}{k_{д.г}^2}\right),$$

Коэффициент  $k_{д.г}$  определяется как квантиль этой функции при расчетной односторонней вероятности  $P(k_{д.г}) = 0,97$  по формуле:

$$\begin{aligned} k_{д.г} &= \overline{k_{д.г}} \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \ln \frac{1}{1 - P(k_{д.г})}} = \\ &= 0,099 \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \ln \frac{1}{1 - 0,97}} = 0,21, \end{aligned}$$

где  $\overline{k_{д.г}}$  – среднее вероятное значение коэффициента горизонтальной динамики

$$\overline{k_{д.г}} = b\delta(5 + V) = 1 \cdot 0,002(5 + 44,44) = 0,099,$$

где  $b$  – коэффициент, учитывающий влияние числа осей  $n$  в тележке или группе тележек под одним концом экипажа;  $\delta$  – коэффициент, учитывающий тип ходовых частей вагона, для пассажирских вагонов –  $\delta = 0,002$ ;  $V$  – расчетная скорость движения.

В соответствии с [1, п. 3.4.1] для пассажирского вагона  $k_{д.г} = 0,21$ , ход вагона допустимый.

При оценке устойчивости вагона от опрокидывания рассматривается его движение с максимальной скоростью. При этом учитываются центробежные и ветровые нагрузки, поперечные смещения от центрального положения оси вагона центров тяжести кузова и тележки в результате относительных поперечных зазоров между ними и боковых наклонов кузова за счет односторонних просадок рессорных комплектов при действии боковых опрокидывающих моментов.

Коэффициент запаса устойчивости вагона от опрокидывания определяется по формуле

$$k_{у.о} = \frac{P_{ст}}{P_{дин}} \geq [k_{у.о}],$$

где  $P_{ст}$  – статическая вертикальная сила давления колеса на рельс;  $P_{дин}$  – динамическая вертикальная сила давления колеса на рельс, вызванная действием поперечных сил с учетом перемещений центров тяжести кузова и тележки;  $[k_{у.о}]$  – допускаемый коэффициент запаса устойчивости от опрокидывания.

Силы  $P_{ст}$  и  $P_{дин}$  определяются по формулам:

- вагон порожний

$$P_{ст} = \frac{Q_{в}}{2n},$$

$$P_{дин} = \frac{F_{к}h_{к} + F_{т}h_{ц.т} + F_{в.к}h_{в.к}^* + F_{в.т}h_{в.т}}{n2S} + \frac{Q_{к}\Delta_{к} + (Q_{т1} + Q_{т2})\Delta_{т}}{n2S};$$

- вагон с пассажирами

$$P_{ст} = \frac{Q_{в.п}}{2n},$$

$$P_{дин} = \frac{F_{к}h_{к.п} + F_{т}h_{ц.т} + F_{в.к}h_{в.к}^* + F_{в.т}h_{в.т}}{n2S} + \frac{Q_{к.п}\Delta_{к} + (Q_{т1} + Q_{т2})\Delta_{т}}{n2S},$$

где  $F_{к}$ ,  $F_{т}$  – боковые силы, действующие на кузов и тележку, равные разности центробежных сил и поперечных составляющих сил тяжести, возникающих вследствие возвышения наружного рельса, для пассажирских вагонов принимается 10 % от силы тяжести:

- для груженого кузова

$$F_{к} = Q_{кн} \cdot 0,1 = 518 \cdot 0,1 = 51,8 \text{ кН};$$

- для порожнего кузова

$$F_{к} = Q_{к} \cdot 0,1 = 476 \cdot 0,1 = 47,6 \text{ кН};$$

- для груженого и порожнего вагона

$$F_{т} = (Q_{т1} + Q_{т2})0,1 = (68 + 74)0,1 = 14,2 \text{ кН}.$$

$F_{в.к}$ ,  $F_{в.т}$  – силы давления ветра на кузов и тележку:

- для кузова

$$F_{в.к} = S \cdot p_{в} = 98 \cdot 0,500 = 49 \text{ кН};$$

- для тележки

$$F_{в.т} = S_{т} p_{в} = 6,8 \cdot 0,500 = 3,4 \text{ кН};$$

$S_{к}$ ,  $S_{т}$  – площадь боковой проекции кузова вагона и боковой проекции тележки соответственно;  $p_{в} = 0,500$  кПа – удельное давление ветра;  $h_{к.п}$ ,  $h_{к}$ ,  $h_{ц.т}$  – высота от уровня головок рельсов до центров тяжести кузова с пассажирами, порожнего и тележки соответственно при прогибе рессорного комплекта от статической нагрузки:

- для груженого вагона

$$h_{к.п} = h_{к.п}^* - (f_{ст}^{(1)} - f_{ст}^{(2)}) = 2,119 - (0,142 - 0,131) = 2,188 \text{ м}.$$

$h_{в.к}$ ,  $h_{в.т}$  до геометрических центров боковых проекций кузова и тележки соответственно при прогибе рессорного комплекта от статической нагрузки:

- для груженого вагона

$$h_{в.к} = h_{в.к}^* - (f_{ст}^{(1)} - f_{ст}^{(2)}) = 2,7 - (0,142 - 0,131) = 2,689 \text{ м},$$

$h_a$  – высота от уровня головок рельсов до продольной оси автосцепок;  $\Delta_k$ ,  $\Delta_T$  – суммарные, параллельные плоскости головок рельсов перемещения центров тяжести кузова и тележки относительно центрального положения продольной оси вагона.

Суммарное смещение центра тяжести кузова  $\Delta_k$  в общем случае образуется за счет:  $\Delta_1 = 7$  мм – поперечного одностороннего перемещения из центрального положения рам тележек относительно букс колесных пар;  $\Delta_2 = 43$  мм – то же для наддресорных балок относительно рам тележек;  $\Delta_3 = 3$  мм – то же для пятников (шкворневых устройств) рамы кузова относительно наддресорных балок;  $\Delta_4$  – установочного (технологического) поперечного смещения (отклонения) продольной оси кузова относительно продольной оси, проходящей через центры пятников (шкворневых устройств). Для вагонов длиной до 16 м допускается принимать равной 10 мм, для более длинных вагонов – с увеличением пропорционально длине  $\Delta_4 = 26,1(10/16) = 16$  мм;  $\Delta_5$  – смещения центра тяжести кузова при боковом наклоне кузова за счет зазоров между скользунами кузова и тележек, при жесткой опоре на скользуны  $\Delta_5 = 0$  мм;  $\Delta_6$  – смещение центра тяжести кузова при боковом наклоне кузова за счет одностороннего прогиба рессор при действии боковых сил

$$\Delta_6 = \frac{\Delta f}{b} (h_k - h_{\text{ресс}}),$$

где  $\Delta f$  – дополнительный прогиб рессор с догружаемой стороны вагона и такой же подъем рессор с разгружаемой стороны при действии боковых сил;  $2b$  – поперечное расстояние между центрами рессорных комплектов;  $h_{\text{ресс}}$  – высота от уровня головок рельсов до верхней плоскости центров рессорных комплектов:

- для груженого вагона

$$h_{\text{ресс}} = h_p - f_{\text{ст}}^{(1)} = 0,609 - 0,142 = 0,467 \text{ м};$$

$$\Delta f = 0,0955 \text{ м},$$

$$\begin{aligned} \Delta_6 &= \frac{\Delta f}{b} (h_k - h_{\text{ресс}}) = \\ &= \frac{0,0955}{2,036/2} (2,188 - 0,467) = 0,161 \text{ м}; \end{aligned}$$

- для порожнего вагона

$$h_{\text{ресс}} = h_p - f_{\text{ст}}^{(2)} = 0,609 - 0,131 = 0,478 \text{ м}.$$

$$\Delta f = 0,0888 \text{ м};$$

$$\begin{aligned} \Delta_6 &= \frac{\Delta f}{b} (h_k - h_{\text{ресс}}) = \\ &= \frac{0,0888}{2,036/2} (2,163 - 0,478) = 0,147 \text{ м}; \end{aligned}$$

- для груженого вагона

$$\begin{aligned} \Delta_k &= \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6 = \\ &= 7 + 43 + 3 + 0 + 161 = 214 \text{ мм}; \end{aligned}$$

- для порожнего вагона

$$\begin{aligned} \Delta_k &= \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6 = \\ &= 7 + 43 + 3 + 0 + 147 = 200 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Значение  $\Delta_T$  для всех типовых вагонов рекомендуется принимать равным 8 мм.

При расчете необходимо проверить соответствие опрокидывающего момента, создаваемого действующими на кузов силами (числитель формулы (1)), реактивному моменту рессорного подвешивания определенному по формуле:

$$M_{\text{реакт}} = \frac{\Delta f}{b} \mathcal{K}_{\text{угл}} = \Delta f \cdot 2b \cdot C_B,$$

где  $\mathcal{K}_{\text{угл}} = 2b^2 C_B$  – угловая жесткость рессорных комплектов вагона;  $C_B$  – вертикальная жесткость рессорных комплектов одной стороны вагона

$$\begin{aligned} C_B &= \frac{C_{B1} \times C_{B2}}{(C_{B1} + C_{B2})} = \\ &= \frac{2659,22 \cdot 6567,064}{(2659,22 + 6567,064)} = 1892,774 \text{ кН/м}. \end{aligned}$$

Проверяем соответствие опрокидывающего момента, создаваемого действующими на кузов силами (числитель формулы (1)), реактивному моменту рессорного подвешивания:

для груженого вагона

$$\begin{aligned} M_{\text{опр}} &= F_k h_{k.п} + F_T h_{\text{цт}} + F_{B.к} h_{B.к} + F_{B.т} h_{B.т} + \\ &+ Q_{k.п} \Delta_k + (Q_{T1} + Q_{T2}) \Delta_T = \\ &= 51,8 \cdot 2,188 + 14,2 \cdot 0,6 + 49 \cdot 2,689 + 3,4 \cdot 0,6 + \\ &+ 518 \cdot 0,214 + (74 + 68) 0,008 = 368 \text{ кН} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$M_{\text{реакт}} = \Delta f \cdot 2b \cdot C_B =$$

$$= 0,0955 \cdot 2,036 \cdot 1892,774 = 368 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Данное условие выполняется:

- для порожнего вагона

$$M_{\text{опр}} = F_K h_K + F_T h_{\text{цт}} + F_{\text{в.к}} h_{\text{в.к}}^* + F_{\text{в.т}} h_{\text{в.т}} +$$

$$+ Q_{\text{к.п}} \Delta_K + (Q_{\text{т1}} + Q_{\text{т2}}) \Delta_T =$$

$$= 47,6 \cdot 2,163 + 14,2 \cdot 0,6 + 49 \cdot 2,7 +$$

$$+ 3,4 \cdot 0,6 + 476 \cdot 0,200 + (74 + 68) 0,008 =$$

$$= 342,2 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{реакт}} = \Delta f \cdot 2b \cdot C_B =$$

$$= 0,0888 \cdot 2,036 \cdot 1892,774 = 342,2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Данное условие выполняется.

Формула для определения  $\Delta_6$  действительна при соблюдении условия

$$\Delta f \leq K \cdot f_{\text{ст}}$$

(значение  $K$  и  $f_{\text{ст}}$  принимается согласно [1, п. 7.3.3.]), где  $K$  – коэффициент конструктивно-го запаса для пассажирских вагонов равен 1,5;

$$\Delta f = 0,0955 \leq 1,5 \cdot 0,142 = 0,213 \text{ мм}$$

(условие выполняется);

$$\Delta f = 0,0888 \leq 1,5 \cdot 0,131 = 0,196 \text{ мм}$$

(условие выполняется).

Данное условие выполняется во всех случаях при определении  $\Delta_6$ .

Определение коэффициента устойчивости груженого вагона от опрокидывания:

$$P_{\text{ст}} = \frac{660}{2 \cdot 4} = 82,5 \text{ кН};$$

$$P_{\text{дин}} = \frac{51,8 \cdot 2,188 + 14,2 \cdot 0,6 + 49 \cdot 2,689}{4 \cdot 1,58} +$$

$$+ \frac{3,4 \cdot 0,6 + 518 \cdot 0,214 + (74 + 68) 0,008}{4 \cdot 1,58} =$$

$$= 58,17 \text{ кН},$$

$$k_{\text{у.о}} = \frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{дин}}} = \frac{82,5}{58,17} = 1,42 \geq [k_{\text{у.о}}] = 1,4$$

(выполняется).

Определение коэффициента устойчивости порожнего вагона от опрокидывания:

$$P_{\text{ст}} = \frac{618}{2 \cdot 4} = 77,25 \text{ кН}$$

$$P_{\text{дин}} = \frac{47,6 \cdot 2,163 + 14,2 \cdot 0,6 + 49 \cdot 2,7}{4 \cdot 1,58} +$$

$$+ \frac{3,4 \cdot 0,6 + 476 \cdot 0,200 + (74 + 68) 0,008}{4 \cdot 1,58} =$$

$$= 54,04 \text{ кН},$$

$$k_{\text{у.о}} = \frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{дин}}} = \frac{77,25}{54,04} = 1,43 \geq [k_{\text{у.о}}] = 1,4.$$

Оценка устойчивости колеса против схода с рельсов проводится в соответствии с [1, п. 3.4.3], исходя из независимости процессов вертикальных и горизонтальных колебаний и колебаний боковой качки вагона

Коэффициент устойчивости колесной пары против схода с рельса (по условию вкатывания) определяется по формуле:

$$K_{\text{у.с}} = \varepsilon \cdot \frac{P_{\text{в1}}}{P_6},$$

где

$$\varepsilon = \frac{\text{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \cdot \text{tg} \beta} = \frac{\text{tg} 60^\circ - 0,25}{1 + 0,25 \cdot \text{tg} 60^\circ} = 1,034,$$

где  $\beta$  – угол наклона образующей конусообразной поверхности гребня колеса к горизонтальной оси ( $\beta = 60^\circ$ );  $\mu$  – коэффициент трения ( $\mu = 0,25$ );  $P_{\text{в1}}$  – вертикальная составляющая силы реакции набегающего колеса на головку рельса

$$P_{\text{в1}} = 2Q_{\text{ш}}^{\text{ст}} \left[ \frac{b - a_2}{l} (1 - \bar{k}_{\text{дв1}}) - \frac{b}{l} k_{\text{дбк}} \right] +$$

$$+ H_p \frac{r}{l} + q_{\text{кп}} \frac{b - a_2}{l};$$

$P_{\text{в2}}$  – вертикальная составляющая силы реакции ненабегающего колеса на головку рельса;

$$P_{\text{в2}} = 2Q_{\text{ш}}^{\text{ст}} \left[ \frac{b - a_1}{l} (1 - \bar{k}_{\text{дв1}}) + \frac{b}{l} k_{\text{дбк}} \right] -$$

$$- H_p \frac{r}{l} + q_{\text{кп}} \frac{b - a_1}{l};$$

$P_0$  – горизонтальная составляющая силы реакции набегающего колеса на головку рельса, действующая одновременно с  $P_{в1}$  и  $P_{в2}$

$$P_0 = H_p + \mu P_{в2},$$

$q_{к.п}$  – сила тяжести необрессоренных частей, приходящихся на колесную пару  $q_{к.п} = 13,768$  кН (колесная пара с буксами);  $Q_{ш}^{ст}$  – сила тяжести обрессоренных частей вагона, действующая на шейку оси колесной пары:

- порожний вагон

$$Q_{ш}^{ст} = \frac{Q_{в} - nq_{к.п}}{2n} = \frac{618 - 4 \cdot 13,768}{2 \cdot 4} = 70,356 \text{ кН},$$

- вагон с пассажирами

$$Q_{ш}^{ст} = \frac{Q_{в} - nq_{к.п}}{2n} = \frac{660 - 4 \cdot 13,768}{8} = 75,606 \text{ кН};$$

$\overline{k_{д.в1}}$  – среднее значение коэффициента вертикальной динамики, приближенно принимается  $\overline{k_{д.в1}} = 0,75\overline{k_{д.в}}$  для обрессоренных частей:

- порожний вагон

$$\overline{k_{д.в1}} = 0,75\overline{k_{д.в}} = 0,75 \cdot 0,131 = 0,098,$$

- вагон с пассажирами

$$\overline{k_{д.в1}} = 0,75\overline{k_{д.в}} = 0,75 \cdot 0,125 = 0,094;$$

$\overline{k_{д.бк}}$  – среднее значение коэффициента вертикальной динамики, приближенно принимается

$$\overline{k_{д.бк}} = 0,25\overline{k_{д.в}}:$$

- порожний вагон

$$\overline{k_{д.бк}} = 0,25\overline{k_{д.в}} = 0,25 \cdot 0,131 = 0,033,$$

- вагон с пассажирами

$$\overline{k_{д.бк}} = 0,25\overline{k_{д.в}} = 0,25 \cdot 0,125 = 0,031;$$

$H_p$  – среднее значение рамной силы, вычисляется при среднем значении  $\overline{k_{д.г}}$ ,

$$H_p = P_0 \cdot \overline{k_{д.г}},$$

$P_0$  – осевая нагрузка

- порожний вагон

$$P_0 = \frac{Q_{в}}{n} = \frac{618}{4} = 154,5 \text{ кН},$$

$$H_p = P_0 \cdot \overline{k_{д.г}} = 154,5 \cdot 0,099 = 15,295 \text{ кН};$$

- вагон с пассажирами

$$P_0 = \frac{Q_{вп}}{n} = \frac{660}{4} = 165 \text{ кН}$$

$$H_p = P_0 \cdot \overline{k_{д.г}} = 165 \cdot 0,099 = 16,335 \text{ кН};$$

$2b$  – расстояние между серединами шеек оси ( $2b = 2,036$  м);  $l$  – расстояние между точками контакта колес с рельсами ( $l = 1,555$  м);  $a_1$  – расстояние от точки контакта колеса с рельсом до середины шейки со стороны набегающего колеса ( $a_1 = 0,264$  м);  $a_2$  – расстояние от точки контакта колеса с рельсом до середины шейки со стороны сбегавшего колеса ( $a_2 = 0,217$  м);  $r$  – радиус колеса ( $r = 0,45$  м);

- порожний вагон

$$P_{в1} = 2Q_{ш}^{ст} \left[ \frac{b - a_2}{l} (1 - \overline{k_{д.в1}}) - \frac{b}{l} k_{д.бк} \right] +$$

$$+ H_p \frac{r}{l} + q_{к.п} \cdot \frac{b - a_2}{l} = 2 \cdot 70,356 \times$$

$$\times \left[ \frac{1,018 - 0,217}{1,555} \cdot (1 - 0,098) - \frac{1,018}{1,555} \cdot 0,033 \right] +$$

$$+ 15,295 \cdot \frac{0,45}{1,555} + 13,768 \cdot \frac{1,018 - 0,217}{1,555} =$$

$$= 73,873 \text{ кН},$$

$$P_{в2} = 2Q_{ш}^{ст} \left[ \frac{b - a_1}{l} (1 - \overline{k_{д.в1}}) + \frac{b}{l} k_{д.бк} \right] -$$

$$- H_p \frac{r}{l} + q_{к.п} \frac{b - a_1}{l} = 2 \cdot 70,35 \times$$

$$\times \left[ \frac{1,018 - 0,264}{1,555} \cdot (1 - 0,098) + \frac{1,018}{1,555} \cdot 0,033 \right] -$$

$$- 15,295 \cdot \frac{0,45}{1,555} + 13,768 \cdot \frac{1,018 - 0,264}{1,555} =$$

$$= 66,802 \text{ кН},$$

$$P_0 = H_p + \mu P_{в2} =$$

$$= 15,295 + 0,25 \cdot 66,802 = 31,996 \text{ кН},$$

- вагон с пассажирами

$$P_{в1} = 2Q_{ш}^{ст} \left[ \frac{b-a_2}{l} (1 - \bar{k}_{д.в1}) - \frac{b}{l} k_{д.бк} \right] +$$

$$+ H_p \frac{r}{l} + q_{к.п} \frac{b-a_2}{l} = 2 \cdot 75,606 \times$$

$$\times \left[ \frac{1,018 - 0,217}{1,555} \cdot (1 - 0,094) - \frac{1,018}{1,555} \cdot 0,031 \right] +$$

$$+ 16,335 \cdot \frac{0,45}{1,555} + 13,768 \cdot \frac{1,018 - 0,217}{1,555} =$$

$$= 79,325 \text{ кН},$$

$$P_{в2} = 2Q_{ш}^{ст} \left[ \frac{b-a_1}{l} (1 - \bar{k}_{д.в1}) + \frac{b}{l} k_{д.бк} \right] -$$

$$- H_p \frac{r}{l} + q_{к.п} \frac{b-a_1}{l} = 2 \cdot 75,606 \times$$

$$\times \left[ \frac{1,018 - 0,264}{1,555} \cdot (1 - 0,094) + \frac{1,018}{1,555} \cdot 0,031 \right] -$$

$$- 16,335 \cdot \frac{0,45}{1,555} + 13,768 \cdot \frac{1,018 - 0,264}{1,555} =$$

$$= 71,499 \text{ кН},$$

$$P_6 = H_p + \mu P_{в2} =$$

$$= 16,335 + 0,25 \cdot 71,499 = 34,21 \text{ кН}.$$

Допустимый коэффициент устойчивости колеса против схода с рельсов для пассажирских вагонов  $[K_{y.c}] = 2$ .

Коэффициент устойчивости колеса против схода с рельсов:

- порожний вагон

$$K_{y.c} = \varepsilon \cdot \frac{P_{в1}}{P_6} = 1,034 \cdot \frac{73,873}{31,996} = 2,388 > [K_{y.c}] = 2,$$

условие выполняется;

- вагон с пассажирами

$$K_{y.c} = \varepsilon \cdot \frac{P_{в1}}{P_6} = 1,034 \cdot \frac{79,325}{34,210} = 2,398 > [K_{y.c}] = 2,$$

условие выполняется.

## Выводы

Коэффициент вертикальной динамики:

- вагон с пассажирами

$$k_{д.в} = 0,264 < [k_{д.в}] = 0,35;$$

- вагон порожний

$$k_{д.в} = 0,277 < [k_{д.в}] = 0,35.$$

Коэффициент горизонтальной динамики

$$k_{д.г} = 0,21 < [k_{д.г}] = 0,25.$$

Условие по запасу устойчивости вагона выполнено.

Коэффициент запаса устойчивости вагона с пассажирами от опрокидывания

$$k_{y.o} = 1,42 > [k_{y.o}] = 1,4.$$

Коэффициент устойчивости порожнего вагона от опрокидывания

$$k_{y.o} = 1,43 > [k_{y.o}] = 1,4.$$

Условие по запасу устойчивости колеса против схода с рельсов выполнено.

Устойчивость колеса против схода с рельсов вагона с пассажирами

$$K_{y.o} = 2,398 > [K_{y.o}] = 2.$$

Устойчивость колеса против схода с рельсов порожнего вагона

$$K_{y.o} = 2,388 > [K_{y.o}] = 2.$$

Таким образом, все нормируемые динамические показатели пассажирского вагона модели 61-779 не превышают допускаемые величины, а показатели устойчивости имеют достаточный запас, что свидетельствует о хороших качествах хода вагона. Проведенные в дальнейшем более полные теоретические исследования и динамические ходовые испытания полностью подтверждают выполненные расчеты.

## 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 23.02.2006.