

Лекция 6

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ПУТИ ПРОТИВ ПОПЕРЕЧНОГО СДВИГА

Поперечная устойчивость пути – основное условие безопасности движения поездов. В первую очередь оно определяется состоянием верхнего строения пути и характером силового воздействия подвижного состава на путь.

Поперечный сдвиг рельсошпальной решетки под поездом является прямой угрозой безопасности движения поездов. При неблагоприятных сочетаниях воздействующих на путь вертикальных и горизонтальных поперечных сил может произойти поперечный сдвиг рельсошпальной решетки по балласту, особенно загрязненному или находящемуся в талом состоянии.

Вероятность одновременного сочетания максимальных значений поперечных сил с максимальной или минимальной величиной вертикальных нагрузок близка к нулю. Наиболее неблагоприятным случаем будет воздействие направляющей оси первой тележки на наружный рельс кривой. Поэтому горизонтальные поперечные (боковые) силы Y_6 принимаются максимально вероятными, а вертикальные нагрузки – средними, т. е. $P_1 = P_2 = P_{cp}$ (рис. 6.1) [6, 14].

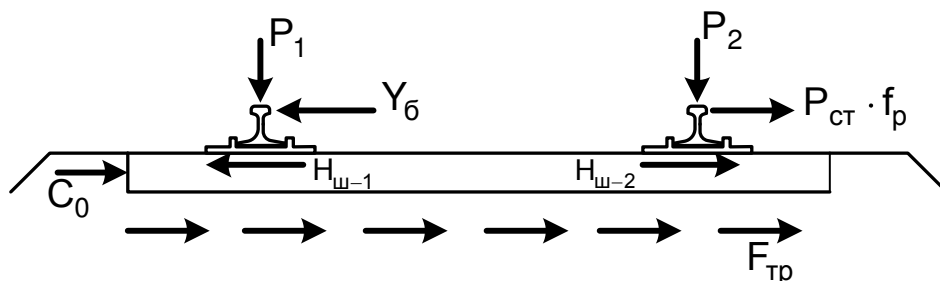


Рис. 6.1. Расчетная схема для определения поперечной устойчивости пути

На расчетной схеме приведены следующие обозначения: P_1 и P_2 – вертикальная нагрузка от колес на рельсы; Y_6 – боковая сила; $H_{1-ш}$ и $H_{2-ш}$ – поперечные силы, действующие на шпалу от двух рельсов; C_0 – начальное сопротивление смещению шпалы; $F_{тр}$ – сила трения шпалы по балласту; f_p – коэффициент трения скольжения колеса по рельсу.

Из расчета прочности пути [2] известно, что давление рельса на шпалу можно определить по формуле

$$Q_{ш} = \frac{K_B \cdot \ell}{2} P_{ср}, \quad (6.1)$$

где K_B – коэффициент относительной жесткости подрельсового основания и рельса в вертикальной плоскости, m^{-1} ; ℓ – расстояние между осями шпал, м.

Удерживающая от сдвига шпал сила – сопротивление их поперечному перемещению в балласте

$$T_{уд} = C_0 + F_{тр} = C_0 + 2 Q \cdot f_{ш} = C_0 + 2 P_{ср} \frac{K_B \cdot \ell}{2} f_{ш}, \quad (6.2)$$

где C_0 – начальное сопротивление смещению шпалы при отсутствии вертикальной нагрузки; $F_{тр}$ – сила трения шпалы по балласту при наличии вертикальной нагрузки; $f_{ш}$ – коэффициент трения шпалы по балласту.

Поперечная сдвигающая сила является равнодействующей двух сил, приложенных к рельсам:

$$H_1 = Y_6 \pm P_{ср} \cdot f_p, \quad (6.3)$$

где f_p – коэффициент трения скольжения колеса по рельсу.

Поскольку наибольшие боковые силы передаются, как правило, от первых направляющих колес, сила трения $P_{ср} \cdot f_p$ принимается со знаком минус.

Поперечная сдвигающая сила $H_{ш-1}$, действующая на шпалу от наружного рельса, и поперечная сила $H_{ш-2}$, действующая на шпалу от второго (внутреннего) рельса и препятствующая сдвигу, составят следующую величину

$$H_{ш-1} = Y_6 \cdot \frac{K_r \cdot \ell}{2}; \quad (6.4)$$

$$H_{ш-2} = -P_{ср} \cdot f_p \cdot \frac{K_r \cdot \ell}{2}, \quad (6.5)$$

где K_r – коэффициент относительной жесткости подрельсового основания и рельса в горизонтальной плоскости, м^{-1} .

Суммарная сила, сдвигающая шпалу,

$$T_{\text{сдв}} = H_{\text{ш-1}} + H_{\text{ш-2}} = (Y_{\text{б}} - P_{\text{ст}} \cdot f_p) \frac{K_r \cdot \ell}{2}. \quad (6.6)$$

При торможении в кривой возникает дополнительная поперечная сила

$$H_T = \frac{N_T \cdot L_c}{R}, \quad (6.7)$$

где N_T – тормозная сила, кН; L_c – расстояние между центрами автосцепок вагона, м; R – радиус кривой, м.

Коэффициент устойчивости пути против поперечного сдвига под поездом определяется отношением удерживающих и сдвигающих сил

$$\frac{T_{\text{уд}}}{T_{\text{сдв}}} = \frac{C_0 + 2 P_{\text{ср}} \frac{K_{\text{в}} \cdot \ell}{2} f_{\text{ш}}}{(Y_{\text{б}} - P_{\text{ср}} \cdot f_p) \frac{K_r \cdot \ell}{2}}. \quad (6.8)$$

После сокращения на $\ell/2$ формула примет вид

$$n = \frac{2 C_0 / \ell + 2 P_{\text{ср}} \cdot f_{\text{ш}} \cdot K_{\text{в}}}{(Y_{\text{б}} - P_{\text{ср}} \cdot f_p) K_r}. \quad (6.9)$$

Рассмотрим случай предельного равновесия, т. е. примем $n = 1$.

При этом получим

$$\frac{2 C_0}{\ell} + 2 P_{\text{ср}} \cdot f_{\text{ш}} \cdot K_{\text{в}} = (Y_{\text{б}} - P_{\text{ср}} \cdot f_p) K_r. \quad (6.10)$$

Отсюда видно, что путь под поездом с осевой нагрузкой $P_{\text{ср}}$ оказывается в предельном равновесии, если поперечная боковая сила достигает величины

$$Y_{\text{б}} = \frac{2 C_0}{\ell \cdot K_r} + 2 P_{\text{ср}} \cdot f_{\text{ш}} \frac{K_{\text{в}}}{K_r} + P_{\text{ср}} \cdot f_p. \quad (6.11)$$

После деления левой и правой части уравнения (6.11) на величину $P_{\text{ср}}$ получим предельно допустимое отношение поперечной боковой силы к вертикальной:

$$\left[\frac{Y_6}{P_{cp}} \right] = \frac{2C_0}{P_{cp} \cdot \ell \cdot K_r} + 2 f_{ш} \cdot \frac{K_B}{K_r} + f_p. \quad (6.12)$$

Таким образом, сопротивление поперечному сдвигу зависит от конструкции пути, его состояния и вертикальной нагрузки на рельсы. Состояние пути может быть учтено следующими параметрами:

– C_0 – зависит от степени уплотнения, загрязненности и влажности балласта, $C_0 = 2...6$ кН;

– $f_{ш}$ – железобетонные шпалы на щебне ($f_{ш} = 0,25...0,45$); $f_{ш}$ – деревянные шпалы на щебне ($f_{ш} = 0,45...0,60$);

– коэффициент трения скольжения колеса по рельсу при повороте в горизонтальной плоскости $f_p = 0,25...0,45$;

– коэффициенты относительной жесткости K_B и K_r [14].

Величину коэффициента K_r можно определить по формуле

$$K_r = \sqrt{\frac{U_r}{4 E \cdot \ell_r}}. \quad (6.13)$$

Кроме того, устойчивость рельсошпальной решетки в поперечном направлении можно оценить и по одному из двух критериев:

1) по отношению максимальных динамических рамных сил Y_p к статической нагрузке колесной пары на путь $2P_{ст}$ из неравенства

$$\frac{Y_p}{2P_{ст}} \leq f_T + \frac{n \cdot C_0}{2P_{ст}}, \quad (6.14)$$

где f_T – коэффициент трения низа шпалы о балласт; n – число шпал, участвующих в сопротивлении поперечному сдвигу пути, как правило, $n = 5 \div 7$ – деревянные шпалы, $n = 4 \div 6$ – железобетонные шпалы; C_0 – сопротивление шпалы поперечному сдвигу при отсутствии вертикальной нагрузки, C_0 от $2 \div 3$ до $6 \div 7$ кН при типовых плечах балластной призмы.

При $2P_{ст} = 196 \div 216$ кН ($20 \div 22$ т) на пути с деревянными шпалами и щебне неравенство (6.14) принимает вид:

$$\frac{Y_p}{2P_{ст}} \leq 0,58 \div 0,67. \quad (6.15)$$

Величину Y_p для конкретной подвижной единицы можно получить, используя график-паспорт вписывания в кривую в зависимости от непогашенного ускорения

$$\alpha_n = \frac{V^2}{R} - g \frac{h}{s}. \quad (6.16)$$

Динамическая рамная сила, кН, в этом случае определяется по формуле

$$Y_p = [1 + 0,7(k_r - 1)] Y'_p, \quad (6.17)$$

где Y'_p – паспортные значения рамной силы; k_r – коэффициент динамики, учитывающий влияние различных отступлений в содержании пути и экипажа, $k_r = f(V)$ определяется экспериментально;

2) по отношению максимальной горизонтальной поперечной нагрузки от рельса на шпалу $H_{ш}^{max}$ к средней вертикальной нагрузке рельса на шпалу $Q_{ш}$, исходя из неравенства

$$\frac{H_{ш}^{max}}{Q_{ш}} \leq 2f_T + \frac{C_0}{Q_{ш}}. \quad (6.18)$$

Вероятность одновременного сочетания максимальных значений горизонтальных нагрузок на путь с максимальной или минимальной величиной вертикальных нагрузок близка к нулю.

Теоретически рассчитать значения $H_{ш}^{max}$ и $Q_{ш}$, дающие самые неблагоприятные соотношения, практически невозможно в силу сложной случайной совокупности возникающих в пути неровностей. Хотя величину $Q_{ш}$ допускается определять по Методике оценки воздействия подвижного состава на путь [2, формула (6.1)].

Горизонтальную нагрузку $H_{ш}^{max}$ можно получить расчетным путем, используя боковые нагрузки от тележек экипажей на рельс Y_6 (по экспериментальным данным либо по графикам-паспортам) по формуле

$$H_{ш}^{max} = \frac{k_r \cdot \ell}{2} \cdot \sum Y_6 \cdot \eta_y, \quad (6.19)$$

где k_r – коэффициент относительной жесткости рельса и подрельсового основания в горизонтальном поперечном направлении, m^{-1} ; $\sum Y_6 \cdot \eta_y$ – суммарная боковая сила на рельс над расчетной шпалой от всех осей тележки экипажа.

Рекомендуемая литература [1, 6, 14].