

УДК 625.1.03

Н.И. КАРПУЩЕНКО, Д.В. ВЕЛИЧКО, А.М. АБРАМОВСКИЙ

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПУТИ В КРИВЫХ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

В работе представлена методика расчета параметров взаимодействия пути и подвижного состава в кривой, приведен пример расчета допускаемых скоростей движения поездов.

В настоящее время безопасность движения грузовых вагонов обеспечивается контролем состояния рельсовой колеи по геометрическим параметрам: просадкам, перекосам, отступлениям по уровню и стрелам изгиба колеи в плане. В последние годы состояние пути в кривых оценивается также по динамическим показателям: непогашенному центробежному ускорению α_n , рассчитываемое по усредненным значениям кривизны пути и возвышения наружного рельса, а также скорости изменения непогашенного ускорения, определяемое по данным α_n в соседних точках. При этом рассматриваются не мгновенные, а усредненные значения кривизны на скользящем отрезке пути длиной 50 м, а значения уровня — на отрезке 40 м. Полученные значения α_n и ψ сравниваются с допустимыми значениями $[\alpha_n]$ и $[\psi]$, и по ним определяется допускаемая скорость движения.

Критическими неровностями пути, вызывающими резонансные колебания грузовых вагонов при скорости движения 40–80 км/ч, являются неровности длиной 4–10 м для груженых вагонов и 2–4 м для порожних [1].

В связи с этим предлагается значения α_n и $\alpha\psi$ определять в сечениях пути с шагом 2 м по мгновенным значениям кривизны пути и возвышения наружного рельса. Далее по полученным значениям α_{ni} и ψ_i , рассчитывать в каждой точке x рамные силы, коэффициент запаса устойчивости колеса на рельсе как груженых, так и порожних вагонов с учетом продольной динамики поезда.

Для решения поставленной задачи необходимо:

- получить исходные данные по кривизне пути, возвышению наружного рельса, непогашенному ускорению и скорости его изменения для конкретной кривой, состояние которой необходимо оценить по динамическим показателям, с дискретностью 2 м по результатам прохода вагона-путеизмерителя;
- получить зависимости для вычисления рамной силы и коэффициента устойчивости в каждой точке рассматриваемой кривой с шагом 2 м;
- создать систему вычислений на ЭВМ, которая производила бы все расчеты, начиная с исходных данных и заканчивая коэффициентом устойчивости в каждой точке заданной кривой с дискретностью 2 м.

Одной из целей, стоящих перед КВЛ-П, — определение параметров устройства кривых участков пути и оценка их соответствия установленным скоростям движения. Взаимное положение рельсовых нитей по уровню здесь регистрируется с помощью высокоточной инерционной навигационной системы (ИНС), учитывающей наклон тележки к горизонтальной плоскости.

Кривизна пути в плане определяется по изменению угла поворота скользящей в горизонтальной плоскости вдоль пути хорды, равной базе. Угол поворота рассчитывают по курсовому углу (азимуту продольной оси тележки).

Программно-математическое обеспечение позволяет КВЛ-П в автоматическом режиме получать, а также оценивать и анализировать состояние кривых,

благодаря чему становится возможным последовательное решение задач установления скоростей движения.

Величина непогашенного ускорения рассчитывается в каждом i -м сечении кривой с шагом 2 м:

$$\alpha_{ni} = \frac{v_{\max}^2}{3,6^2 R_i} - 0,0061 h_i, \quad (1)$$

где $v_{\max}$ — установленная скорость движения в кривой, км/ч; R_i — радиус в i -м сечении кривой, мм; h_i — возвышение наружного рельса в i -м сечении кривой, мм.

Скорость изменения непогашенного ускорения, измеряемого по записи уровня и стрел, на величину $\Delta l = 2$ м:

$$\psi_i = \frac{\Delta \alpha_i v_{\max}}{3,6 \Delta l} = \frac{(\alpha_{ni} - \alpha_{n(i-1)}) v_{\max}}{7,2}. \quad (2)$$

Уклон отвода возвышения наружного рельса при $\Delta l = 12$ м (колесная база грузового вагона):

$$J_i = \frac{h_i - h_{i-1}}{\Delta l} = \frac{h_i - h_{i-1}}{12}. \quad (3)$$

В качестве исходных данных по состоянию пути используются цифровые данные о стрелах изгиба колеи в плане и возвышению наружного рельса по всей длине кривой, состояние которой необходимо оценить по динамическим показателям, с дискретностью 2 м. Эти данные извлекаются непосредственно из программы обработки информации КВЛ-П по результатам его конкретного прохода по обследуемому участку.

Располагая данными о стрелах изгиба колеи в плане f_i , мгновенное значение радиуса кривой в каждой точке можно определить по зависимости

$$R_i = \frac{16240}{f_i}, \quad (4)$$

где f_i — стрела изгиба в i -й точке, мм.

Для того чтобы предупредить возможность схода колесной пары с рельсов, который может произойти в результате набегания гребня колеса на головку рельса под действием рамной силы Y_p , необходимо и достаточно, чтобы сила P_n , стремящаяся опустить колесо вниз, была бы больше силы, стремящейся препятствовать опусканию.

Коэффициент устойчивости для направляющей оси первой тележки модели 18-100 четырехосного грузового вагона, можно записать следующим образом [2]:

$$\eta = \frac{2,21 P_n - 0,69 P_v + 0,83}{Y_p}, \quad (5)$$

где Y_p — рамная сила, передаваемая от колесной пары на боковые рамы тележки; P_n и P_v — вертикальные силы, передаваемая от наружного и внутреннего колеса на рельсы.

Рамная сила Y_p определяется по формуле

$$Y_p = Y - (\mu_n P_n + \mu_v P_v), \quad (6)$$

где μ_n и μ_v — коэффициенты трения при скольжении колес по наружному и

внутреннему рельсам; Y — направляющее усилие, которое рассчитывается по формуле [3]

$$Y = 0,25P_n\alpha_n + 0,77P_n\left(\frac{400}{R_i}\right)^{0,175} + \left(0,023 \pm \frac{5,6}{R}\right)N, \quad (7)$$

где N — продольная сила в поезде, действующая на вагон.

Предельно допустимым значением коэффициента устойчивости считается 1, но с запасом на неблагоприятное сочетание условий это значение увеличивается до 1,5.

Нагрузки, передаваемые колесами вагона на наружную и внутреннюю рельсовую нити в каждом i -м сечении кривой, определяются выражениями [3]:

$$P_n = Q \left[\frac{a\alpha_{ni}}{15,7} + 0,5 \left(\frac{v_{\max}^2 h_i}{15,7 R_i} + 1 \right) \right]; \quad (8)$$

$$P_v = Q \left[-\frac{a\alpha_{ni}}{15,7} + 0,5 \left(\frac{v_{\max}^2 h_i}{15,7 R_i} + 1 \right) \right], \quad (9)$$

где Q — осевая нагрузка вагона; a — расстояние от верха рельса до центра тяжести вагона.

Таким образом, имея необходимые данные о геометрических и силовых характеристиках подвижного состава, а также непогашенном ускорении, скорости движения экипажей, кривизне пути и возвышении наружного рельса в любой точке криволинейного участка пути, можно определить мгновенное значение рамной силы и коэффициента устойчивости колеса на рельсе в заданной точке кривой.

Для расчета рамной силы и коэффициента устойчивости принимаются следующие исходные данные:

- грузовой вагон на тележках модели 18-100;
- осевая нагрузка — 230 кН;
- коэффициент трения по внутренней нити — 0,25 и наружной рельсовой нити — 0,15;
- продольные силы в поезде — 0;
- момент трения в опорном устройстве — 15 кН·м;
- установленная скорость движения в кривой — 80 км/ч;

Графики непогашенных ускорений и коэффициентов устойчивости колеса на рельсе в кривой при скорости движения грузового поезда со скоростью 80 км/ч приведены на рис. 1 и 2.

Анализ этих графиков показал, что непогашенное ускорение по длине кривой превышает рекомендованное значение $\alpha_n \leq 0,3 \text{ м/с}^2$, но не превышает предельное значение $\alpha_n = 0,7 \text{ м/с}^2$.

Коэффициент запаса устойчивости колеса на рельсе на протяжении всей кривой $\eta < 1,5$.

Определение допускаемых скоростей движения грузовых вагонов по кривым участкам

Скорость движения вагонов определяется в зависимости от фактических параметров кривых с дискретностью 2 м.

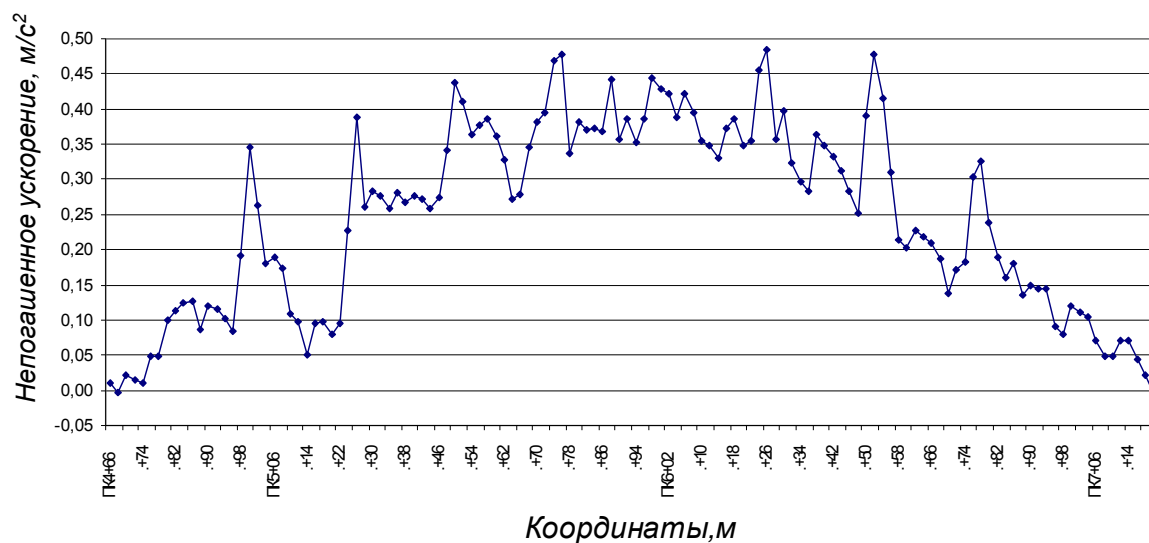


Рис. 1. Непогашенное ускорение в сечениях кривой с дискретностью 2 м при скорости 80 км/ч

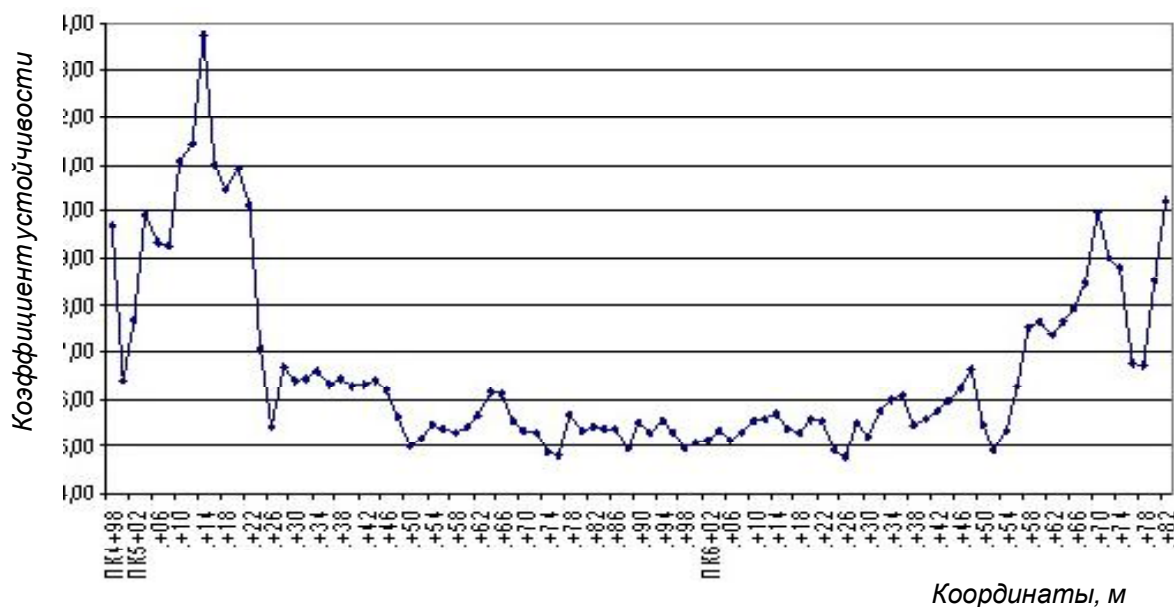


Рис. 2. Коэффициент устойчивости колеса на рельсе в сечении кривой с дискретностью 2 м

Допускаемая скорость, при которой непогашенное ускорение α_{ni} превышает 0,3 м/с² в зависимости от фактических значений R_i и h_i [4]

$$v_{\alpha_{ni}} = \sqrt{R_i(3,9 + 0,08h_i)}. \quad (10)$$

Допускаемая скорость, при которой скорость изменения непогашенного ускорения $\psi > 0,6$ м/с³.

$$v_{\psi i} = \frac{4,32}{\Delta\alpha_{ni}}. \quad (11)$$

Допускаемая скорость в зависимости от величины крутизны уклона изменения возвышения наружного рельса J_i , по табл. 1.

Уклоны неровностей определяются по формуле (3).

Таблица 1

Допускаемые скорости движения в зависимости от крутизны уклонов

Уклон изменения возвышения J_i	Допускаемая скорость движения v_i , км/ч
Не более 0,0007	140
Более 0,0007 до 0,0010	120
Более 0,0010 до 0,0012	110
Более 0,0012 до 0,0014	100
Более 0,0014 до 0,0016	90
Более 0,0016 до 0,0017	85
Более 0,0017 до 0,0019	80
Более 0,0019 до 0,0021	75
Более 0,0021 до 0,0023	70
Более 0,0023 до 0,0025	65
Более 0,0025 до 0,0027	60
Более 0,0027 до 0,0029	55
Более 0,0029 до 0,0030	50
Более 0,0030 до 0,0031	40
Более 0,0031 до 0,0032	20
Более 0,0032	Движение закрывается

Результат расчета допускаемой скорости, при которой непогашенное ускорение α_{ni} превышает $0,3 \text{ м/с}^2$ и уклон отвода возвышения для кривой приведен в табл. 2, а также в графической форме на рис. 3.

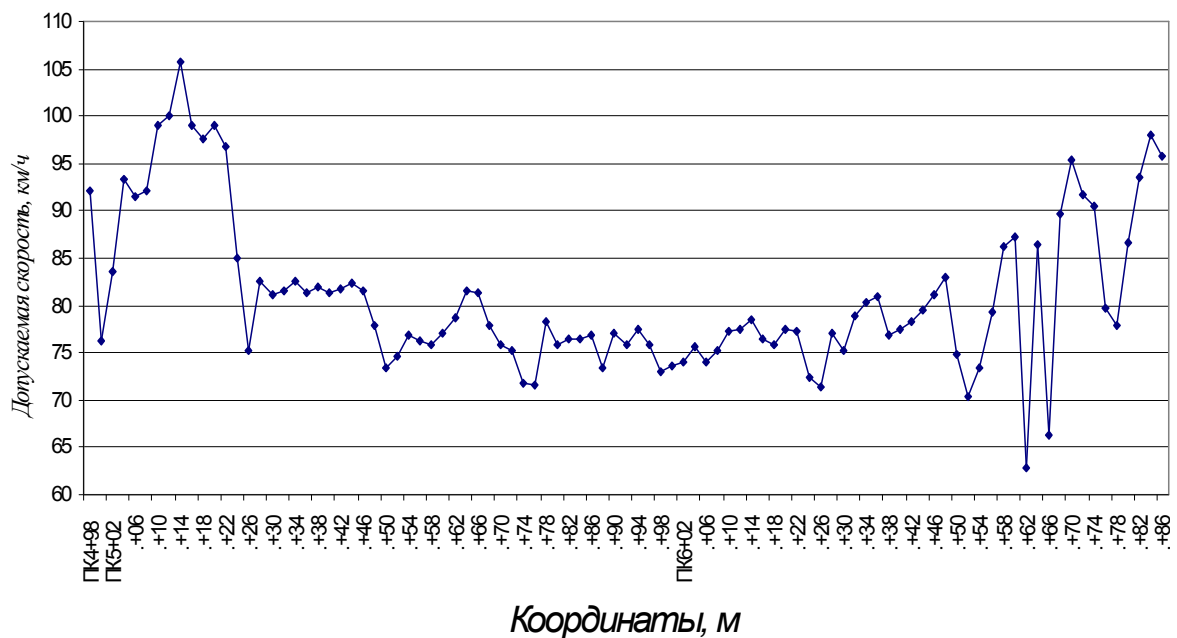
Рис. 3. Допускаемые скорости движения в кривой, при условии $\alpha_n > 0,3 \text{ м/с}^2$

Таблица 2

Результат расчета допускаемой скорости (фрагмент)

Координаты	Допускаемые скорости при $\alpha_n > 0,3 \text{ м/с}^2$, км/ч	Уклон отвода возвышения, ‰		Допускаемая скорость движения, км/ч
		Расчетный	Допускаемый	
1	2	3	4	5
ПК4+98	92	0	1,7–1,9	140
ПК5+00	76	0	1,7–1,9	140
ПК5+02	84	1,5	1,7–1,9	90
.+04	93	3,5	1,7–1,9	ограничить
.+06	92	3	1,7–1,9	ограничить
.+08	92	1	1,7–1,9	120
.+10	99	1,5	1,7–1,9	90
.+12	100	1	1,7–1,9	120
.+14	106	2	1,7–1,9	75
.+16	99	1,5	1,7–1,9	90
.+18	98	1	1,7–1,9	120
.+20	99	0,5	1,7–1,9	140
.+22	97	0,5	1,7–1,9	140
.+24	85	1	1,7–1,9	120
.+26	75	0,5	1,7–1,9	140
.+28	83	0,5	1,7–1,9	140
.+30	81	1,5	1,7–1,9	90
.+32	82	0,5	1,7–1,9	140
.+34	83	1	1,7–1,9	110
.+36	81	1,5	1,7–1,9	90
.+38	82	0,5	1,7–1,9	140
.+40	81	1	1,7–1,9	120
.+42	82	1	1,7–1,9	120

Расчеты допускаемых скоростей движения грузовых поездов по величине непогашенного поперечного ускорения $\alpha_n \leq 0,3 \text{ м/с}^2$ и уклонов отводов возвышения наружного рельса в соответствии с табл. 1 показали, что допускаемая скорость движения в данной кривой не должна превышать 60 км/ч после устранения резких изменений уклонов отводов на ПК 4+04 м и ПК 4+06 м.

Библиографический список

1. *Технические* указания по определению и использованию характеристик устройства и состояния пути, получаемых вагонами-путеобследовательскими станциями ЦНИИ-4 / ОАО «РЖД». М.: Академкнига, 2004. 112 с.
2. Желнин Г.Г. Боковые силы действующие на путь при вливающем движении экипажа // Вестник ВНИИЖТа. 1964. № 8. С. 7–9.
3. Еришов О.П., Зак М.Г. Расчет вписывания в кривые грузового вагона на тележках ЦНИИ-ХЗ с учетом продольных сил // Повышение прочности и надежности пути: Сб. науч. тр. М.: Транспорт, 1989. С. 59–65.
4. Приказ МПС № 41 от 12.11.2001 г. Нормы допускаемых скоростей движения локомотивов и вагонов по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм железнодорожного транспорта России. М.: Транспорт, 2001. 125 с.