

УДК 625.144.3

Г.Л. АККЕРМАН, О.А. КРАВЧЕНКО (Уральский государственный университет путей сообщения)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ КРИВЫХ С ПРЯМОЛИНЕЙНЫМ И S-ОБРАЗНЫМ ОТВОДОМ ВОЗВЫШЕНИЯ

Выполнен сопоставительный анализ конструкции переходных кривых с прямолинейным и S-образным отводом возвышения при радиусе 1200 м и скорости движения поездов 80 км/ч. Даны соответствующие рекомендации.

Переходные кривые обеспечивают плавный переход подвижного состава из прямой в круговую кривую или из круговой кривой одного радиуса с одним возвышением в круговую кривую другого радиуса с другим возвышением наружного рельса.

В пределах переходной кривой (ПК) плавно нарастает кривизна k ($1/\rho$) пути за счет изменения переменного радиуса ρ от $\rho = \infty$ в начале переходной кривой (НПК) до $\rho = R$ в конце переходной кривой (КПК). В пределах ПК плавно увеличивается возвышение наружного рельса от 0 в НПК до h в КПК; устраивается отвод ширины колеи, если последнее имеется в круговой кривой.

Учитывая, что центробежная сила обратно пропорциональна радиусу, в НПК при $\rho = \infty$ она равна нулю, а в пределах круговой кривой $J = mv^2/R$. Переменная кривизна, отвод возвышения наружного рельса и ширины колеи в пределах ПК вызывают силовые факторы, которых нет в других участках пути.

Основные требования к устройству и содержанию ПК сводятся к тому, чтобы появляющиеся, развивающиеся и исчезающие силовые факторы (ускорения, силы, моменты) в пределах длины $l_{\text{ПК}}$ изменялись постепенно и монотонно, с заданным графиком, а в начале и конце ПК они были равны нулю.

На отечественных дорогах переходные кривые устраивают с прямолинейными отводами возвышения.

На некоторых зарубежных дорогах для лучшего прохода подвижного состава по кривым используют переходные кривые с S-образным отводом возвышения, что особенно важно при высоких скоростях движения.

Для сравнительного анализа предлагается сопоставить конструкции переходных кривых с прямолинейным и S-образным отводом возвышения при радиусе 1200 м и скоростях движения поездов 80 км/ч. В соответствии с положением по кривым [1] величина рационального возвышения наружного рельса в кривой будет равна 45 мм.

Крутизна отвода возвышения наружного рельса контролируется в пределах переходных кривых, соединяющих участки с различным возвышением, согласно [1] для скорости 80 км/ч — 1,9 ‰.

Переходные кривые с прямолинейным и S-образным отводом возвышения предлагается сравнить по двум показателям:

- 1) горизонтальным ускорениям $a_{r(x)}$, рассчитанным по фактическим величинам кривизны и возвышения в пределах всей кривой, допустимой величины $a_{r(\max)}$. Для грузовых поездов при $a_{r(\max)} < 0,75 \text{ м/с}^2$;
- 2) $\psi_{\max}$ — скорости изменения $a_{\text{нп}}$ на длине переходной кривой, при скоростях до 140 км/ч включительно $\psi_{\max} < 0,6 \text{ м/с}^3$.

Величина горизонтального непогашенного ускорения рассчитывается в каждой точке переходной кривой по фактическим значениям кривизны и возвышения наружного рельса для скорости $v_{\max}$ по формуле [1]:

$$a_r = \frac{v_{\max}^2}{13R} - 0,0061h, \quad (1)$$

где R — величина радиуса в конкретной точке, м; h — возвышение наружного рельса в этой же точке, м.

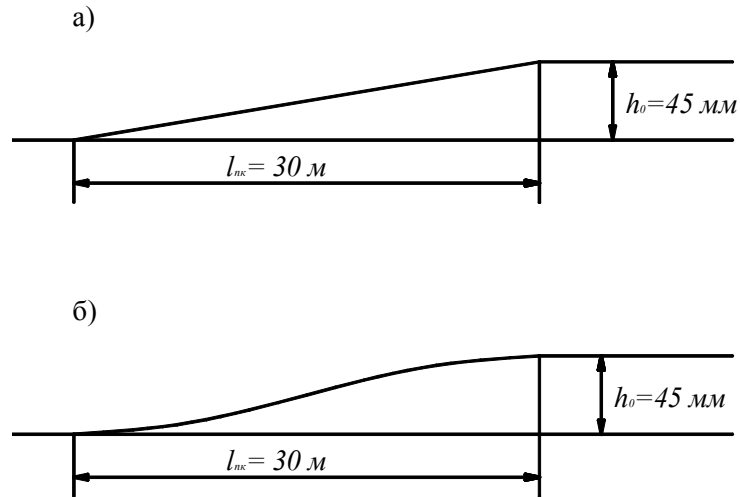


Рис. 1. Переходные кривые:

a — переходная кривая с прямолинейным отводом возвышения; $б$ — переходная кривая с отводом возвышения S-образной формы

Скорость изменения непогашенного ускорения определяется по формуле [2]:

$$\psi = \frac{(a_{r2} - a_{r1})v_{\max}}{3,6\Delta l}, \quad (2)$$

где Δl — расстояние между соседними точками, м.

Из рис. 2 видно, что в точках 2 и 4 у переходных кривых максимальная разница между возвышениями наружного рельса, а точки 1, 3 и 5 имеют одинаковые величины.

Для определения высоты возвышения в точках 1–5 при прямолинейном отводе возвышения, можно использовать формулу

$$h = il, \quad (3)$$

где i — уклон отвода возвышения, ‰; l — расстояние от начала переходной кривой до конкретной точки, м.

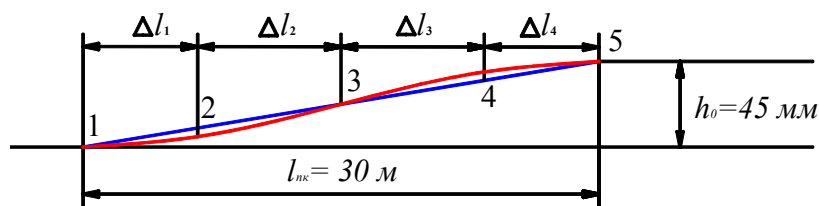


Рис. 2. Принципиальная схема разбивки переходных кривых с прямолинейным и S-образным отводом возвышения

Высота возвышения при S-образном отводе в пределах переходной кривой изменяется по синусоиде от $-\frac{\pi}{2}$ до $\frac{\pi}{2}$ и определится по формуле

$$h = \frac{h_0}{2}(1 + \sin \alpha), \quad (4)$$

Для предотвращения внезапного появления центробежной силы и для постепенного отвода возвышения наружного рельса переходную кривую устраивают переменной кривизны, которая будет изменяться по клотоиде. Радиус будет определяться по формуле

$$\rho = \frac{Rl_{\text{пк}}}{l}, \quad (5)$$

где ρ — переменный радиус кривой, м; $l_{\text{пк}}$ — длина переходной кривой, м; l — расстояние от начала переходной кривой до заданной точки, м.

Для заданных условий можно определить величины горизонтального непогашенного ускорения, а также скорости изменения непогашенного ускорения, которые сведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение показателей переходных кривых для радиуса 1200 м и скорости движения поездов 80 км/ч

№ точки	Расстояние до точки, м	Δl	Прямолинейный отвод возвышения			S-образный отвод возвышения		
			a_r	Δa_r	ψ	a_r	Δa_r	ψ
1	0	6,67	0	0,03	0,095	0	0,059	0,196
2	6,67	8,33	0,03	0,038	0,101	0,059	0,0088	0,023
3	15		0,0679			0,0678		
4	23,33	8,33	0,1057	0,038	0,101	0,0768	0,0089	0,024
5	30	6,67	0,1357	0,036	0,1	0,1357	0,059	0,196

Далее сравним конструкции переходных кривых для того же радиуса 1200 м, но при скорости 160 км/ч. Согласно [1] величина рационального возвышения наружного рельса в кривой будет равна:

$$h_0 = 12,5 \frac{v_{\text{max}}^2}{R} - 115. \quad (6)$$

Высота возвышения наружного рельса при скорости 160 км/ч будет равна 150 мм. Уклон отвода возвышения наружного рельса контролируется в пределах переходных кривых, соединяющих участки с различным возвышением для скорости 160 км/ч будет равен 0,8 ‰.

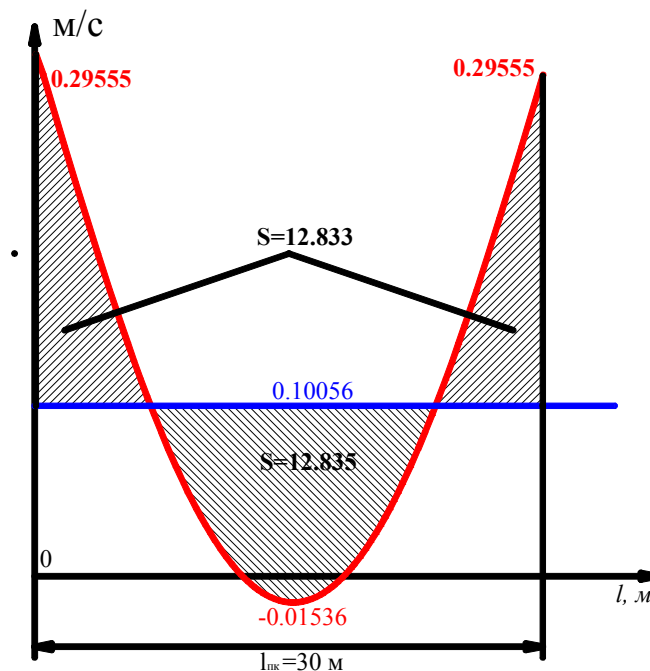
Аналогично рассчитаны параметры переходных кривых для того же радиуса, но скорости движения поезда 160 км/ч.

Таблица 2

Сравнение показателей переходных кривых радиуса 1200 м и скорости движения поездов 160 км/ч

№ точки	Расстояние до точки, м	Δl	Прямолинейный отвод возвышения			S-образный отвод возвышения		
			a_r	Δa_r	ψ	a_r	Δa_r	ψ
1	0	40	0	0,1614	0,1793	0	0,2576	0,286
2	40		0,1614			0,2576		
3	90	50	0,363	0,2016	0,179	0,363	0,1054	0,094
4	140		0,5656			0,4691		
5	180	40	0,726	0,161	0,179	0,726	0,257	0,285

Исходя из того, что сравнить полученные данные сложно, предлагается разбить переходные кривые с прямолинейным отводом возвышения и отводом возвышения S-образной формы на более мелкие элементарные участки Δl . Для сравнения эпюр ψ в благоприятной и неблагоприятной зоне.

Рис. 3. Сравнение площадей эпюры ψ

Из рис. 3 видно, что площади сравниваемых эпюр практически равны.

По полученным расчетам можно сделать вывод: что при одинаковых параметрах переходных кривых (длине, возвышении и кривизне) наиболее эффективной будет переходная кривая с прямолинейным отводом возвышения.

Но при моделировании движения экипажа по различным круговым кривым и переходным участкам в программном комплексе «Универсальный механизм» при разных скоростях движения были получены следующие выводы:

1) при повышении скоростей движения наиболее благоприятно вписывание экипажа в переходные кривые с криволинейным отводом возвышения;

2) при повышении скорости движения экипажа по переходным участкам наблюдалось снижение силового воздействия в переходной кривой с криволинейным отводом по сравнению с переходной кривой с прямолинейным отводом возвышения при одинаковых их длинах и возвышениях в конце переходной кривой.

На основании вышеизложенного предлагаются следующие рекомендации:

1) при увеличении скоростей движения поездов на существующих линиях после реконструкции или капитального ремонта устраивать переходные кривые с криволинейным отводом возвышения;

2) при проектировании новых высокоскоростных или высокоскоростных в перспективе железнодорожных линий после анализа рельефа местности рекомендуется наряду с традиционным применять биклотоидное проектирование (без круговых кривых), а переходные кривые проектировать с криволинейным отводом возвышения.

Библиографический список

1. ЦПТ-46/2 *Положение* по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути вагонами путеизмерителями, расчет рациональных параметров устройства кривых для их паспортизации. ОАО «РЖД», 2009. 43 с.