

Корженевич И.П., Курган Н.Б. (ДИИТ)

На существующих железнодорожных линиях часто встречаются короткие прямые вставки между смежными кривыми, которые вызывают ограничение скорости движения поездов. Увеличение таких вставок до необходимой длины может вызвать изменение плана линии на довольно значительных участках и большие земляные работы.

Рассмотрим движение экипажа по смежным кривым, направленным в разные и в одну сторону, рис. 1, 2.

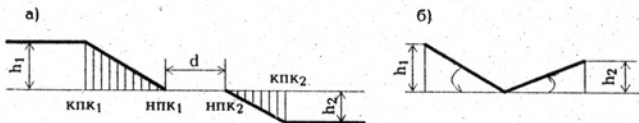


Рис.1. Изменение возвышения (а) и угловые перемещения экипажа относительно продольной оси (б) при движении по смежным кривым, направленным в разные стороны

При движении по переходной кривой вследствие отвода возвышения наружного рельса происходит поворот экипажа вокруг его продольной оси. В обратных кривых этот поворот при входе из одной кривой в другую продолжается в том же направлении

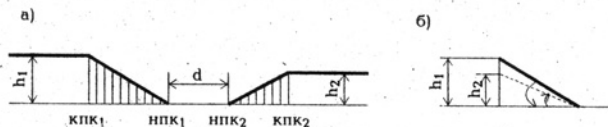


Рис.2. Изменение возвышения (а) и угловые перемещения экипажа относительно продольной оси (б) при движении по смежным кривым, направленным в одну сторону

(рис.1,б). В случае когда кривые направлены в одну сторону, направление поворота экипажа при переходе из одной кривой в другую изменяется (рис.2,б). Поэтому между кривыми, направленными в одну сторону, устраивают прямые вставки большей длины, чем между обратными кривыми. Наименьшая длина прямой вставки получена в работе [1] из условия затухания поперечных колебаний за q периодов при собственной частоте колебаний q_1

$$d_{\min} = V \cdot Q / (3.6 \cdot q_1),$$

$$\text{где } Q=2-3.5 \text{ Гц; } q_1=1-2.5 \text{ Гц.}$$

При скоростях движения до 120 км/ч $d_{\min} = 20-30$ м. На железных дорогах с более высокими скоростями движения поездов должны быть прямые вставки длиной 150 м и лишь в трудных условиях допускается 75 м между кривыми, направленными в одну сторону и 50 м - для обратных кривых [2].

В данной работе рассмотрены некоторые способы увеличения прямых вставок на существующих железнодорожных линиях с целью повышения скоростей движения поездов, дана их оценка и указана сфера применения.

1. Уменьшение радиуса одной из кривых, рис.3

Существующее расстояние между концом первой и началом второй круговой кривой равно

$$D_c = (L_1 + L_2) / 2 + d_c \quad (1).$$

Проектное расстояние

$$D_{\text{пр}} = D_c + \Delta T \quad (2).$$

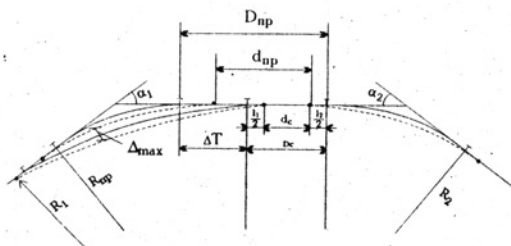


Рис.3. Уменьшение радиуса первой кривой для увеличения прямой вставки

Выражение (2) можно представить в виде

$$D_{np} = D_c + (R_1 - R_{np}) \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_1}{2} \right).$$

Отсюда

$$R_{np} = R_1 - (D_{np} - D_c) \operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha_1}{2} \right) = R_1 - \Delta R \quad (3),$$

$$\text{где } \Delta R = \operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha_1}{2} \right) (D_{np} - D_c) = \operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha_1}{2} \right) \Delta D$$

Сдвиг в середине смещенной кривой равен

$$\Delta_{CK} = \frac{\alpha_1^2 \cdot \Delta R}{8} = \frac{\alpha_1^2 \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha_1}{2} \right) \Delta D}{8} \quad (4)$$

В таблице 1 приведены значения, полученные по формуле 4 при различных углах поворота кривой и удлинениях прямой вставки.

Таблица 1

α , град.	ΔD , м				
	20	40	60	80	100
15	1.30	2.60	3.90	5.21	6.51
30	2.56	5.12	7.67	10.23	12.79
45	3.72	7.45	11.17	14.89	18.62
60	4.75	9.50	14.25	18.99	23.74

Анализ формулы (4) и данных табл.1 показывает, что уменьшение радиуса кривой для увеличения прямой вставки может быть оправдано, во-первых, при малых углах поворота и изменениях радиуса, не вызывающих большого сдвига оси трассы и, во-вторых, если оно не приводит к уменьшению скорости движения поездов.

2. Уменьшение радиуса обеих кривых, рис. 4

Из рис. 4

$$D_{np} = D_c + \Delta T_1 + \Delta T_2 \quad (5)$$

Выражение (5) можно представить в виде

$$D_{np} = D_c + \Delta R_1 \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_1}{2} \right) + \Delta R_2 \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_2}{2} \right)$$

или

$$\Delta R_1 \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_1}{2} \right) + \Delta R_2 \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_2}{2} \right) = \Delta D \quad (6).$$

Равенство (6) выражает взаимосвязь между изменениями радиусов первой и второй кривых при условии обеспечения необходимого удлинения прямой вставки ΔD . Решая его относительно ΔR_1 , получим

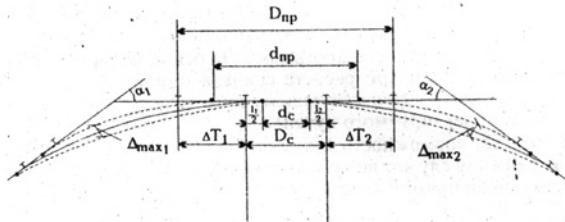


Рис.4. Уменьшение радиусов обеих кривых для увеличения прямой вставки

$$\Delta R_1 = \operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha_1}{2} \right) (\Delta D - \Delta R_2 \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_2}{2} \right)).$$

Чтобы получить минимум сдвигов посередине обеих кривых при уменьшении радиусов, запишем условие в виде

$$\Delta_{CK_1}^2 + \Delta_{CK_2}^2 \rightarrow \min$$

Выполнив необходимые подстановки и продифференцировав выражение по ΔR_2 , получим

$$\Delta R_2 = \frac{\Delta D}{\operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_2}{2} \right) + \frac{\alpha_2^4}{\alpha_1^4} \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\alpha_1}{2} \right) \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha_2}{2} \right)}$$

В таблице 2 приведены некоторые значения ΔR_1 , ΔR_2 , Δ_{CK_1} и Δ_{CK_2} , полученные для различных значений α_1 , α_2 и ΔD .

Таблица 2

α_1 , град.	α_2 , град.					
	20		40		60	
	при ΔD , м		при ΔD , м		при ΔD , м	
	30	60	30	60	30	60
20	$\Delta R_1 = 85$	$\Delta R_1 = 170$	$\Delta R_1 = 134$	$\Delta R_1 = 269$	$\Delta R_1 = 150$	$\Delta R_1 = 301$
	$\Delta R_2 = 85$	$\Delta R_2 = 170$	$\Delta R_2 = 17$	$\Delta R_2 = 35$	$\Delta R_2 = 6$	$\Delta R_2 = 12$
	$\Delta_{CK_1} = 1.3$	$\Delta_{CK_1} = 2.6$	$\Delta_{CK_1} = 2.1$	$\Delta_{CK_1} = 4.1$	$\Delta_{CK_1} = 2.3$	$\Delta_{CK_1} = 4.6$
40	$\Delta R_1 = 17$	$\Delta R_1 = 35$	$\Delta R_1 = 41$	$\Delta R_1 = 82$	$\Delta R_1 = 55$	$\Delta R_1 = 110$
	$\Delta R_2 = 134$	$\Delta R_2 = 269$	$\Delta R_2 = 41$	$\Delta R_2 = 82$	$\Delta R_2 = 17$	$\Delta R_2 = 35$
	$\Delta_{CK_1} = 1.1$	$\Delta_{CK_1} = 2.1$	$\Delta_{CK_1} = 2.5$	$\Delta_{CK_1} = 5.0$	$\Delta_{CK_1} = 3.4$	$\Delta_{CK_1} = 6.7$
60	$\Delta R_1 = 6$	$\Delta R_1 = 12$	$\Delta R_1 = 17$	$\Delta R_1 = 35$	$\Delta R_1 = 26$	$\Delta R_1 = 52$
	$\Delta R_2 = 150$	$\Delta R_2 = 301$	$\Delta R_2 = 55$	$\Delta R_2 = 110$	$\Delta R_2 = 26$	$\Delta R_2 = 52$
	$\Delta_{CK_1} = 0.8$	$\Delta_{CK_1} = 1.7$	$\Delta_{CK_1} = 2.4$	$\Delta_{CK_1} = 4.7$	$\Delta_{CK_1} = 3.6$	$\Delta_{CK_1} = 7.1$
	$\Delta_{CK_2} = 2.3$	$\Delta_{CK_2} = 4.6$	$\Delta_{CK_2} = 3.4$	$\Delta_{CK_2} = 6.7$	$\Delta_{CK_2} = 3.6$	$\Delta_{CK_2} = 7.1$

Сфера применения изложенного способа увеличения прямой вставки за счет уменьшения радиуса кривой невелика, т.к. он сопряжен с необходимостью уменьшения радиусов круговых кривых, что не всегда возможно, особенно при повышении скоростей движения.

3. Смещение вершины угла поворота одной из кривых

Для увеличения прямой вставки между смежными кривыми одна из вершин углов поворота смещается по тангенсу. При этом уменьшается угол поворота смещаемой кривой, а следовательно и длина кривой. В новый угол поворота вписывается кривая проектного радиуса. При назначении проектного радиуса можно улучшить план линии,

приняв радиус больше существующего. Тем самым достигается двойной эффект - удлинение прямой вставки и увеличение радиуса круговой кривой.

Для выполнения расчетов составлена программа. За основу приняты расчетные формулы, приведенные в работе [3]. При расчете сначала определяются геометрические характеристики, а затем нормали к существующему пути (радиальные расстояния между осями существующего и проектируемого путей).

Расчет на ПЭВМ создает возможность для рассмотрения большого числа вариантов. Критериями качества решения служат величины нормалей, а также длина реконструируемого участка существующей прямой (расстояние от НКК_{пр} до НКК_с).

Литература

1. Высокоскоростное пассажирское движение (на железных дорогах). Под ред. Н.В. Колодяжного. М., Транспорт, 1976. 415 с.
2. СНиП П-39-76. Железные дороги колеи 1520 мм. М., Стройиздат, 1977. 69 с.
3. Турбин И.В. Практические расчеты при проектировании трассы железных дорог. М., Транспорт., 1987. 199 с.