

1. Проектирование и расчет рельсовой колеи

В данном разделе курсового проекта определяются необходимое возвышение наружной рельсовой нити, ширина рельсовой колеи в круговой кривой при разных видах вписывания подвижного состава, разбивочные параметры переходной кривой, количество и порядок укладки укороченных рельсов на внутренней рельсовой нити.

Исходными данными для выполнения первой части курсового проекта являются:

- тип подвижного состава;
- радиус кривой, м;
- угол поворота линии, град.;
- вес, количество и скорость движения скоростных, пассажирских и грузовых поездов, т.

Пример задания представлен далее:

Тип подв. ед.	Радиус	Угол пов.	Вес поезда			Кол. поездов			Скор. движ.		
			Скор	Пасс	Груз	Скор	Пасс	Груз	Скор	Пасс	Груз
ВЛ60	1001	20	634	986	3426	2	5	12	139	75	53

1.1 Определение возвышения наружного рельса в кривой

При движении экипажа по кривой появляется центробежная сила. Эта сила создает дополнительное давление колес на наружную рельсовую нить, в связи с чем рельсы на ней изнашиваются быстрее, возникают отбои нитей, увеличивается напряжение в рельсах, пассажиры испытывают неприятные ощущения. С целью нейтрализации вредного влияния центробежной силы на путь и на пассажиров наружная рельсовая нить приподнимается (возвышается) над внутренней. Возвышение наружного рельса в кривой заданного радиуса R производим по формуле:

$$h = K \cdot \frac{12.5 \cdot v_{\text{ср}}^2}{R}, \quad (1.1)$$

где K – коэффициент увеличения, возвышения наружного рельса, учитывающий смещения центра тяжести экипажа в сторону кривой. В курсовом проекте принимаем $K=1$;

v_{cp} – среднеквадратическая средневзвешенная по тоннажу скорость, км/ч;

R – радиус кривой, в м;

$$v_{cp} = \sqrt{\frac{\sum Q_i \cdot n_i \cdot v_i^2}{\sum Q_i \cdot n_i}} \quad (1.2)$$

где n_i – число поездов одинакового веса, движущихся с одинаковой скоростью, в шт.;

Q_i – масса поездов, в т.;

v_i – фактические скорости движения поездов, км/ч;

Полученное возвышение наружного рельса проверяем по условию обеспечения комфортабельности езды пассажиров по формуле:

$$h = \frac{12.5 \cdot v_{max}^2}{R} - 115, \quad (1.3)$$

v_{max} – максимальная скорость поездов.

За окончательное значение возвышения принимаем большее из двух, но не более 150 мм. Величину расчетного возвышения округляем до значения кратного 5мм в большую сторону.

1.2 Определение оптимальной ширины колеи

1.2.1 Двухосная тележка

Определение оптимальной ширины колеи.

При определении оптимальной ширины колеи за исходную принимают схему свободного вписывания. На рисунке 1.1 представлена схема такого вписывания для двухосной тележки.

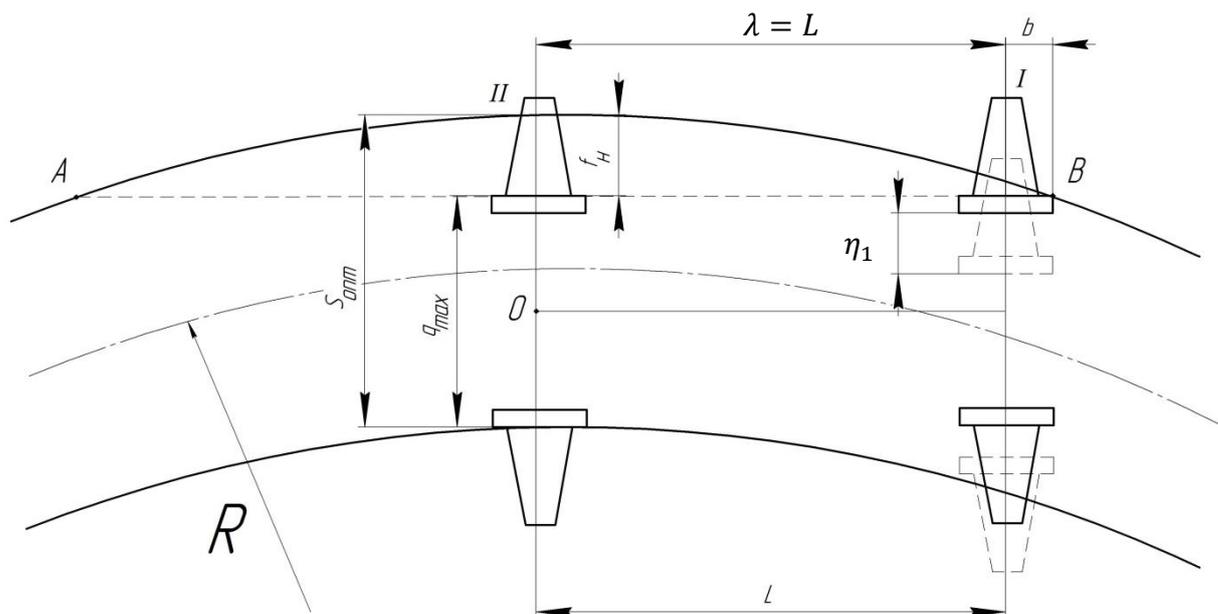


Рисунок 1.1 Схема свободного вписывания двухосной тележки в кривую

Для двухосной тележки принципиальная схема сохраняется такой же (без средней оси). Точкой O обозначен центр вращения тележки. При свободном вписывании он находится на задней оси и внутреннее колесо этой оси своим гребнем касается внутренней нити кривой, не взаимодействуя с ней. Оптимальная ширина колеи, S_{opt} мм определяется по формуле:

$$S_{opt} = q_{max} + f_n - \eta_1 + 4, \quad (1.4)$$

где q_{max} – максимальная ширина колесной пары (для локомотивов и тепловозов $q_{max} = 1509$ мм);

f_n – стрела изгиба, мм, наружного рельса при хорде АВ;

4 – допуск на сужение колеи.

Таблица 1.1 Параметры ходовых частей подвижного состава

Тип экипажа	Конструкционная скорость V, км/ч	Радиус колеса по кругу катания r, см	Число осей в жесткой базе	Длина жесткой базы L, см	Поперечные разбеги η, мм, осей	
					крайних η ₁	средней у трехосной тележки η ₂
Электровозы переменного тока						
ВЛ 60	120	62,5	3	460	1,0	15,5
ВЛ 60 ^к	100	62,5	3	460	1,0	15,5
ВЛ 80, ВЛ80 ^к	110	62,5	2	300	1,0	-
ВЛ82 ^м	110	62,5	2	300	1,0	-
Ф	110	62,5	3	467	0	0
Ф ^п	160	62,5	3	484	0	0
ЧС4 ^т	160	62,5	3	460	1,3	1,3
К	100	62,5	3	495	-	-
ВЛ65	120	62,5	2	290	1	-
Электровозы постоянного тока						
ВЛ23	100	60	3	440	0	14
ВЛ8	80	60	2	320	2,9	-
ВЛ10	100	62,5	2	300	1,0	-
ЧС1	120	62,5	2	333	0	0
ЧС2 ^м , ЧС2 ^т	160	62,5	3	460	0	0
ЧС3	120	62,5	2	333	0	0
ЧС200	220	62,5	2	320	0	0
Тепловозы						
ТЭ7	140	52,5	3	420	1,5	14
ТЭ3, ТЭ30	100	52,5	3	420	1,5	14
2ТЭ10Л	100	52,5	3	420	1,5	14
2ТЭ10В	100	52,5	3	370	1,5	14
2ТЭ116	100	52,5	3	370	1,5	14
2ТЭ121	100	52,5	3	440	1,5	14
ТЭП10	140	52,5	3	420	1,5	14
ТЭП60	160	52,5	3	460	0	19
ТЭП70	160	52,5	3	430	1,5	14
ТЭП75	160	61,0	3	430	1,5	14
ТГ102К	120	61,0	2	250	1,5	-

$$f_H = \frac{(\lambda+b)^2}{2R}, \quad (1.5)$$

где λ – расстояние от центра О вращения тележки до геометрической оси первой колесной пары, равное в данном случае длине жесткой базы L, мм;

R – радиус кривой, мм;

b – расстояние от оси первой колесной пары до точки касания гребня колеса с рельсом, определяемое по формуле:

$$b = \frac{\lambda(r+t)tg\tau}{R+S/2-(r+t)tg\tau}, \quad (1.6)$$

где r – радиус колеса, мм;

t – расстояние от поверхности катания до точки прижатия гребня к боковой грани головки рельса (глубина касания); принимается равным 10 мм;

τ – угол наклона рабочей поверхности гребня колеса к горизонту, равный для нового вагонного колеса 60° , для локомотивных бандажей – 70° ;

$S = 1520$ мм.

Значения величин L , r , η_1 , представлены в таблице 1.1.

Полученное значение S_{onm} сравнивают с нормативным $[S]$. Если $S_{onm} < [S]$, то принимают нормативную ширину колеи. Если же S_{onm} окажется больше $[S]$, то необходимо определить минимально допустимую ширину колеи.

Определение минимально допустимой ширины колеи.

В этом случае за исходную принимают схему заклиненного вписывания (см. рис. 1.2).

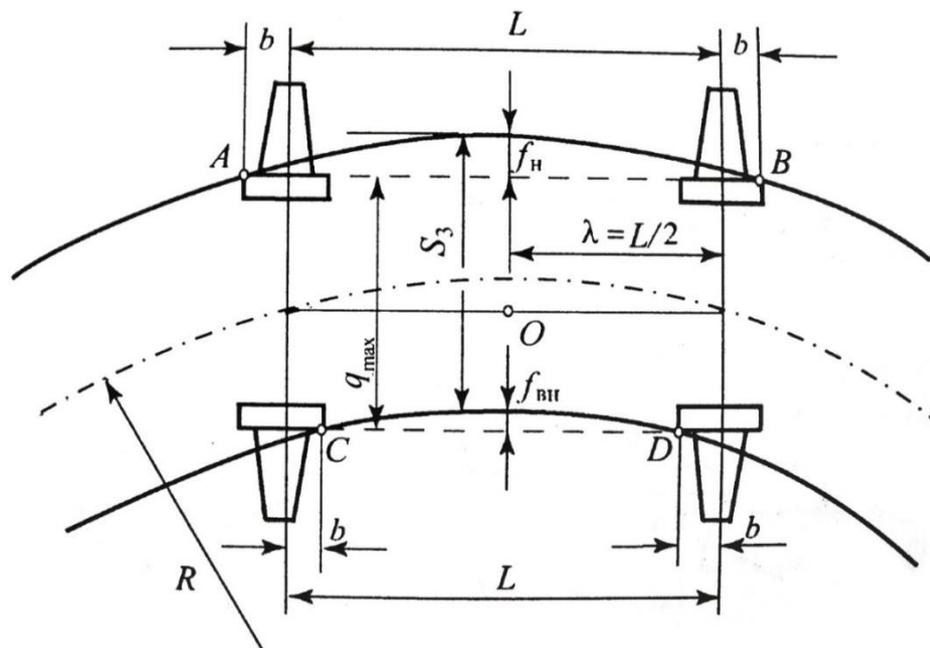


Рисунок 1.2 Схема заклиненного вписывания двухосной тележки в кривую

Учитывая, что заклиненное вписывание не допускается, к полученной по этим схемам ширине S_3 прибавляют величину зазора $\delta_{min}/2$ между боковой рабочей гранью рельса и гребнем колеса ($\delta_{min} = 5$ мм для вагонных колес, $\delta_{min} = 7$ мм для локомотивных колес). Для двухосной тележки (см. рис. 1.2) минимально допустимую ширину колеи S_{min} , мм, определяют из выражения:

$$S_3 = q_{max} + f_n - f_e - \sum \eta_1 + \delta_{min}/2 + 4, \quad (1.7)$$

где f_n и f_e – стрелы изгиба наружной и внутренней нитей кривой, отсчитываемые соответственно от хорд АВ и CD, проведенных через точки касания колес с наружной и внутренней нитями;

4 – допуск на сужение колеи.

Величины их определяются по формулам:

$$f_n = \frac{(L+2b)^2}{8R}, \quad (1.8)$$

$$f_e = \frac{(L-2b)^2}{8R}, \quad (1.9)$$

$$b = \frac{L \cdot r}{2R} \operatorname{tg} \tau. \quad (1.10)$$

1.2.2 Трехосная тележка

Определение оптимальной ширины колеи.

Оптимальная ширина колеи, S_{opt} мм определяется по формуле, аналогичной формуле при определении оптимальной ширины колеи для двухосной тележки (рисунок 1.3):

$$S_{opt} = q_{max} + f_n - \eta_1 + 4, \quad (1.11)$$

В этом случае трехосная тележка будет заклинена в точках А, В и С и ширина колеи S_{min} определится выражением:

$$S_{min} = q_{max} + f_H + 4 + \frac{\delta_{min}}{2} \leq [S] \quad (1.12)$$

2. Трехосная тележка имеет разбеги (рисунок 1.5).

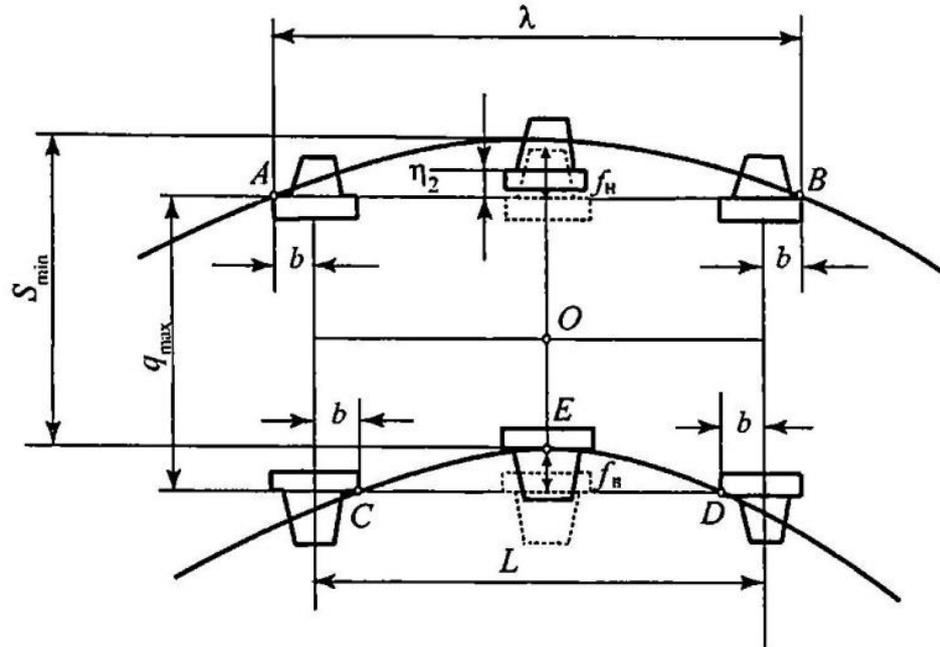


Рисунок 1.5 Схема заклиненного вписывания трехосной тележки в кривую с поперечными разбегами осей

Сумма разбегов определится по формуле:

$$\sum \eta_i = \eta_1 + \eta_2, \quad (1.13)$$

Где η_1 - разбег крайних осей тележки, мм;

η_2 - разбег средней оси тележки, мм.

Если $\sum \eta \geq f_s$, то тележка будет заклинена в точках А, В, С и D. Ширина колеи S_{min} в этом случае определится выражением:

$$S_{min} = q_{max} + f_H - f_B + 4 + \frac{\delta_{min}}{2} \leq [S] \quad (1.14)$$

Если $\sum \eta < f_s$, то тележка будет заклинена в точках А, В и С. Ширина колеи S_{min} в этом случае определится выражением:

$$S_{min} = q_{max} + f_H + 4 + \frac{\delta_{min}}{2} \leq [S] \quad (1.15)$$

Полученное значение S_{min} необходимо сравнить с нормативной шириной колеи $[S]$ для принятого радиуса R кривой. Если $S_{min} < [S]$, то принимается нормативная ширина колеи. Во всех случаях минимально допустимая ширина колеи S_{min} не должна превышать максимальную ширину S_{max} , установленную ПТЭ и равную 1535 мм. Если же по расчетам окажется, что $S_{min} > [S_{max}]$, то необходимо увеличить радиус кривой, а при $R \leq 150$ м предусмотреть установку контррельсов.

1.3 Проектирование переходных кривых

Прямые и круговые кривые во избежание внезапного возникновения центробежной силы плавно сопрягают с помощью переходных кривых (ПК). Основное назначение переходных кривых заключается в обеспечении плавного изменения центробежных сил при входе и выходе экипажа из круговой кривой (КК). На их протяжении осуществляются плавные отводы, вызванные наружной рельсовой нитью и уширением колеи в круговой кривой.

Длина переходной кривой l_0 определяется из условия равномерного отвода возвышения:

$$l_0 = \frac{h}{i}, \quad (1.16)$$

где h – расчетное возвышение, мм;

i – нормативный уклон отвода возвышения, выбирается в зависимости от скорости движения поездов по таблице 1.2.

Таблица 1.2 Допускаемые уклоны отвода возвышения наружного рельса в кривых

Максимальный уклон отвода возвышения (i), мм/м	Допускаемая скорость движения поездов, км/ч	
	Пассажирских	Грузовых
0,9	200	90
1,0	180	90
1,1	160	90
1,2	140	90
1,4	120	90
1,5	110	90
1,6	100	90

Максимальный уклон отвода возвышения (i), мм/м	Допускаемая скорость движения поездов, км/ч	
	Пассажирских	Грузовых
1,7	95	85
1,8	90	80
1,9	85	80
2,1	80	75
2,3	75	70
2,5	70	65
2,7	65	60
2,9	55	
3,0	50	
3,1	40	
3,2	25	
более 3,2	Закрытие движения	

Расчетная длина переходной кривой округляется в большую сторону до значения кратного 10 м.

Определяем угол поворота линии в пределах переходной кривой:

$$\varphi = \frac{l}{2R}, \text{ (рад)} \quad (1.17)$$

Проверяем возможность разбивки ПК по зависимостям:

$$2\varphi < \beta \quad (1.18)$$

$$L_{\text{кк}} = R(\beta - 2\varphi) > 30 \quad (1.19)$$

Определяем обобщенный параметр переходной кривой

$$C = R \cdot l \quad (1.20)$$

Координаты x и y определяем по формуле:

$$x_{\text{к}} \approx l \quad (1.21)$$

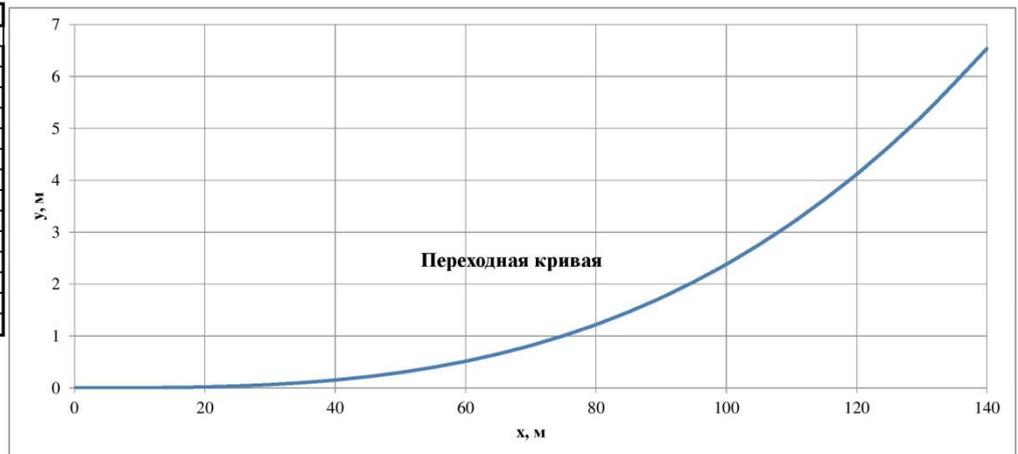
$$y_{\text{к}} \approx \frac{l^3}{6C} \quad (1.22)$$

Расчет промежуточных координат ПК ведется в табличной форме.

По результатам расчетов строим график переходной кривой.

Пример расчета промежуточных координат и графика ПК представлен далее:

x	y
0	0
10	0.00238095
20	0.01904762
30	0.06428571
40	0.15238095
50	0.29761905
60	0.51428571
70	0.81666667
80	1.21904762
90	1.73571429
100	2.38095238
110	3.16904762
120	4.11428571
130	5.23095238
140	6.53333333



1.4 Расчет числа и порядка укладки укороченных рельсов на внутренней нити кривой

В связи с тем, что в пределах кривых радиус внутренней рельсовой нити несколько меньше радиуса наружной рельсовой нити, то длина внутренней нити меньше наружной рельсовой нити.

Для компенсации этой разницы и обеспечения укладки рельсовой нити с положением стыков по одной нормали к продольной оси пути по внутренней нити кривой укладывают укороченные рельсы.

В виду невозможности обеспечить точное расположение «понаугольнику» стыков по внутренней и наружной нитям допускается забег на величину не более половины принятого стандартного укорочения $\pm K_i$.

В курсовом проекте для выбора величины K_i руководствуются длиной рельса и величиной R кривой.

В РФ при длине рельса 25 м приняты следующие типы укорочения:

$K_1=80$ мм, $K_2=160$ мм;

Минимальная величина стандартного укорочения $K_1=80$ мм соответствует $R \geq 500$ м, а при $R < 500$ м – $K_2=160$ мм.

Рассмотрим расчет количества рельсов нормальной длины, укладываемых на наружную рельсовую нить.

Точка НПК₁ делит рельс на две части, где a_1 – это часть рельса находящегося в прямом участке, a_2 – это часть рельса, находящаяся в переходной кривой.

В учебных целях a_2 принимаем в пределах 1–24 м ($a_2=5$ м), тогда

$$a_1 = 25,01 - a_2 \quad (1.23)$$

$$a_1 = 25,01 - 5 = 20,01 \text{ (м)}$$

Определяем количество рельсов нормальной длины на наружной нити, укладываемых в пределах 1^{ой} переходной кривой по формуле:

$$n_1 = (L - a_2)/25,01 \text{ (шт.)} \quad (1.24)$$

$$n_1 = (120 - 5)/25,01 = 4,6 \text{ (шт.)}$$

Остаток при делении 0,6 есть b_1 – это часть длины последнего рельса переходной кривой. $b_1 = 25,01 \cdot 0,6 = 15$ (м).

b_2 – длина последнего рельса переходной кривой, перешедшая на круговую кривую.

$$b_2 = 25,01 - b_1, \text{ (м)} \quad (1.25)$$

$$b_2 = 25,01 - 15 = 10,01 \text{ (м)}$$

Определяем количество рельсов в пределах круговой кривой:

$$n_2 = (L_{\text{кк}} - b_2)/25,05 \text{ (шт.)} \quad (1.26)$$

$$n_2 = (345 - 10,01)/25,01 = 13,39 \text{ (шт.)}$$

Остаток при делении 0,39 есть c_1 – часть длины последнего рельса круговой кривой, находим c_2 – длину последнего рельса круговой кривой, перешедшую на вторую переходную кривую.

$$c_1 = 25,01 \cdot 0,39 = 9,75 \text{ (м)}$$

$$c_2 = 25,01 - 9,75 = 15,26 \text{ (м)}$$

Определяем количество рельсов нормальной длины на наружной нити, укладываемых в пределах 2^{ой} переходной кривой по формуле:

$$n_3 = (L - C_2)/25,01 \text{ (шт.)} \quad (1.27)$$

$$n_3 = (120 - 15,26)/25,01 = 4,19 \text{ (шт.)}$$

Остаток при делении 0,19 есть d_1 – часть длины последнего рельса второй переходной кривой. Находим d_2 – вторая часть рельса, находящаяся на прямом участке пути.

$$d_1 = 25,01 \cdot 0,19 = 4,75 \text{ (м)}$$

$$d_2 = 25,01 - d_1, \text{ (м)}$$

$$d_2 = 25,01 - 4,75 = 20,06 \text{ (м)}$$

Проверяем правильность расчета и укладки количества рельсов стандартной длины:

$$N = (a_1 + L_{\text{кк}} + 2l_0 + d_2)/25,01 \text{ (шт.)} \quad (1.28)$$

$$N = (20,01 + 345 + 2 \cdot 120 + 20,06)/25,01 = 25 \text{ (шт.)}$$

Для определения количества и порядка укладки укороченных рельсов по внутренней нити в начале определяем суммарное укорочение внутренней нити на рассматриваемой системе кривых по формуле:

$$E_{\text{н}} = \frac{S_0}{R} (L_0 + L_{\text{кк}}) \text{ (мм)}, \quad (1.29)$$

где S_0 – расстояние между осями головок рельсов (1600 мм).

$$N_y = E_{\text{н}} / K \quad (1.30)$$

где $E_{\text{н}}$ – полное суммарное укорочение в пределах ветки;

K – стандартное укорочение.

Пример расчета порядка укладки укороченных рельсов представлен в таблице 1.3.

Для расчета укорочения в пределах переходной кривой применяется формула:

$$E_{\text{пк}} = S_0 \frac{l_{\text{пк}}^2 - l_{\text{пк}-1}^2}{2C}, \quad (1.31)$$

где $l_{\text{пк}}$ – участок ПК от начала или конца ее, включая рельс, для которого определяется укорочение;

$l_{\text{пк}-1}$ – участок ПК от начала или конца ее, за вычетом длины этого рельса.

Для расчета укорочения в круговой кривой применяется формула:

$$E_{\text{кр}} = S_0(L/R) \quad (1.32)$$

Забег или отставание считается по формуле

$$Z_n = Z_{n-1} + E - K, \quad (1.33)$$

где Z_n – это забег в рассматриваемом стыке;

Z_{n-1} – это забег в предыдущем стыке со своим знаком, («+», «-»);

E – расчетное укорочение рельса или его части на рассматриваемом участке;

K – стандартное укорочение рельса.

Если $\sum(Z_{n-1} + E)$ не превышает половины стандартного укорочения, то величина K в данную формулу не вводится, и в этом случае на внутреннюю нить укладывается нормальный рельс.

Таблица 1.3 Расчет числа и порядка укладки укороченных рельсов

Границы элементов пути в плане	Номера рельсов	Длина рельсов, м	Расчетные укорочения элементов пути, мм	Забег или отставания стыков, мм	Порядок укладки рельсов
Прямая	1(a_1)	-	-	-	-
НПК ₁	1(a_2)	5	$1,6(5^2 - 0^2)/120=0,3$	0,3	норм
	2	25,01	$1,6(30,01^2 - 5^2)/120=11,7$	$0,3+11,7=12$	норм
	3	25,01	$1,6(55,02^2 - 30,01^2)/120=28,4$	$12+28,4-80=-39,6$	укор
	4	25,01	$1,6(80,03^2 - 55,02^2)/120=45,0$	$-39,6+45=5,4$	норм
	5	25,01	$1,6(105,04^2 - 80,03^2)/120=61,7$	$5,4+61,7-80=-12,9$	укор
КПК ₁	6(b_1)	15	$1,6(120,04^2 - 105,04^2)/120=45,0$	$-12,9+45+16,9-80 = -31$	укор
НКК	6(b_2)	10,01	$1,6(10,01/0,95)=16,9$		
ККК	7	25,01	$1,6(25,01/0,95)=42,1$	$-31+42,1=11,1$	норм
	8	25,01	$1,6(25,01/0,95)=42,1$	$11,1+42,1-80 = -26,8$	укор
	9	25,01	$1,6(25,01/0,95)=42,1$	$-26,8+42,1=15,3$	норм
	10	25,01	$1,6(25,01/0,95)=42,1$	$15,3+42,1-80 = -22,6$	укор
	11	25,01	$1,6(25,01/0,95)=42,1$	$-22,6+42,1=19,5$	норм

	12	25,01	$1,6(25,01/0,95)=42,1$	$19,5+42,1-80 = -18,4$	укор
	13	25,01	$1,6(25,01/0,95)=42,1$	$-18,4+42,1=23,7$	норм
	14	25,01	$1,6(25,01/0,95)=42,1$	$23,7+42,1-80 = -14,2$	укор
	15	25,01	$1,6(25,01/0,95)=42,1$	$-14,2+42,1=27,9$	норм
	16	25,01	$1,6(25,01/0,95)=42,1$	$27,9+42,1-80 = -10$	укор
	17	25,01	$1,6(25,01/0,95)=42,1$	$-10+42,1=32,1$	норм
	18	25,01	$1,6(25,01/0,95)=42,1$	$32,1+42,1-80 = -5,8$	укор
	19	25,01	$1,6(25,01/0,95)=42,1$	$-5,8+42,1=36,3$	норм
	20(c ₁)	9,75	$1,6(9,75/0,95)=16,4$	$36,3+16,4+3,1-80 = -24,2$	укор
НПК ₂	20(c ₂)	15,26	$1,6(15,26^2 - 0^2)/120=3,1$		
	21	25,01	$1,6(40,27^2 - 15,26^2)/120=18,5$	$-24,2+18,5=-5,7$	норм
КПК ₂	22	25,01	$1,6(65,28^2 - 40,27^2)/120=35,2$	$-5,7+35,2=29,5$	норм
	23	25,01	$1,6(90,29^2 - 65,28^2)/120=51,9$	$29,5+51,9-80 = 1,4$	укор
	24	25,01	$1,6(115,3^2 - 90,29^2)/120=68,6$	$1,4+68,6-80 = -10$	укор
	25(d ₁)	4,75	$1,6(120,05^2 - 115,3^2)/120=14,9$	$-10+14,9=4,9$	норм
Прямая	25(d ₂)	20,06	-	-	-

$N_y = 12$ – число укороченных рельсов

Вывод: в кривой данного радиуса на внутреннюю рельсовую нить укладывается 12 укороченных рельсов.

Схема раскладки укороченных рельсов показана на рисунке 1.6.

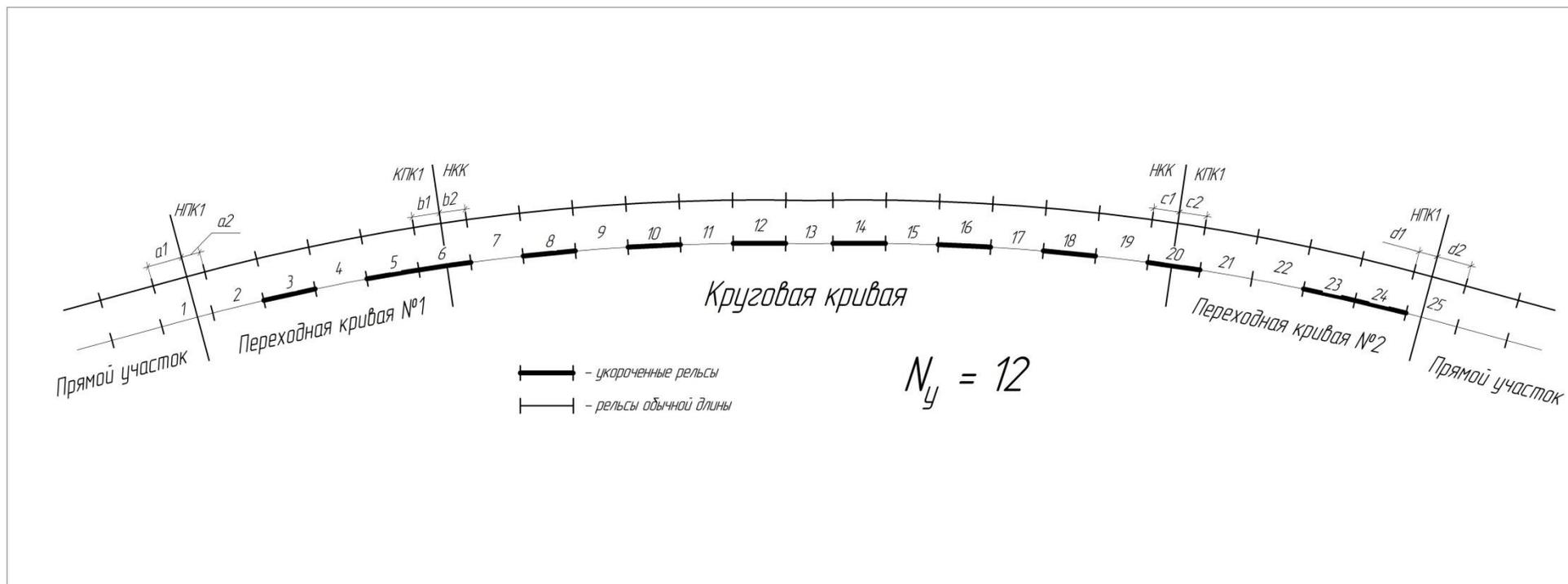


Рисунок 1.6 Схема раскладки укороченных рельсов