

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»**

25/27/3

**Одобрено кафедрой
«Железнодорожный путь,
машины и оборудование»**

РАСЧЕТЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

**Задание на курсовой проект
с методическими указаниями
для студентов VI курса
специальности**

**270204.65 СТРОИТЕЛЬСТВО ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ,
ПУТЬ И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО**

специализации

**УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ**

2-е издание

Москва – 2012

Задание и методические рекомендации составлены на основе рабочей программы по изучению дисциплины «Расчеты и проектирование элементов железнодорожного пути для студентов специальности 270204.65 Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство.

Составители: д-р техн. наук, проф. Б.Э. Глюзберг,
канд. техн. наук, доц. А.В. Савин

Рецензент — д-р техн. наук, проф. В.О. Певзнер

РАСЧЕТЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Задание на курсовой проект
с методическими указаниями

Редактор *Д.Н. Тихоньчев*
Корректор *В.В. Игнатова*
Компьютерная верстка *Е.Ю. Русалева*

Тип. зак. 203

Подписано в печать 10.04.12

Усл. печ. л. 3,0

Гарнитура Times

Тираж 200 экз.

Ризография

Формат 60×90¹/₁₆

Редакционный отдел
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

«РАСЧЕТЫ КОНСТРУКЦИИ И ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ»

Содержание проекта

Курсовой проект состоит из двух частей:

Часть 1. Расчет одиночного обыкновенного стрелочного перевода.

Часть 2. Расчеты элементов пути на прочность.

Исходные данные и правила выбора варианта

Исходные данные для выполнения части 1 курсового проекта приведены в табл. 1, для выполнения части 2 — в табл. 4. Каждая из них состоит из двух групп, в каждой из группы по 10 вариантов.

Варианты первой группы выбираются студентами, у которых сумма цифр учебного шифра нечетная, варианты второй группы — студентам, у которых сумма цифр учебного шифра четная (учитываются цифры, идущие после года приема и обозначения специальности).

Из десяти вариантов соответствующей группы студент выбирает для разработки данные по варианту, соответствующему последней цифре учебного шифра. Если последняя цифра нуль, то разрабатывается вариант 10.

Курсовые проекты, выполненные не по заданному варианту, не рассматриваются и не рецензируются.

Оформление курсового проекта

Курсовой проект должен состоять из пояснительной записки с необходимыми чертежами и схемами. Пояснительная записка должна быть выполнена разборчиво, без исправлений и помарок. В ней приводятся исходные данные, требуемые расчеты и даются обстоятельные, но краткие пояснения и схемы по принципиальным вопросам. В тексте записки должны быть ссылки на чертежи и схемы.

Исходные данные

№ п/п	Наименование данных	Варианты первой группы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Тип рельса	P50	P65	P75	P50	P65	P75	P50	P65
2	Вид основания	Деревянные брусья							
3	Расчетный экипаж	ВЛ60					ЧС4 ^г		
4	Скорость по прямому направлению, км/ч	100	120	140	100	120	140	100	120
5	Скорость по отвлению, км/ч	40	50	60	50	60	80	60	80
6	Допускаемое внешне появляющееся ускорение, м/с ²	0,66	0,64	0,62	0,60	0,56	0,66	0,56	0,64
7.	Допускаемое непогашенное ускорение, м/с ²	0,68	0,66	0,64	0,64	0,62	0,68	0,60	0,66
8	Допускаемый параметр потери кинетической энергии, м/с	0,220	0,225	0,230	0,235	0,220	0,225	0,230	0,235
9	Конструктивные особенности	Остряки гибкие, секущего типа, крестовина							

Пояснительная записка аккуратно оформляется, брошюруется и подписывается студентом. Страницы нумеруются. В конце записки указывается перечень литературы, использованной студентом при выполнении проекта.

Таблица 1

к части 1 проекта

		Варианты второй группы									
9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P75	P50	P65	P75	P50	P65	P75	P50	P65	P75	P50	P65
Железобетонные брусья											
2ТЭ116						ТЭП70					
140	100	120	140	100	120	140	100	120	140	100	120
40	80	40	50	40	50	60	50	60	80	60	80
0,64	0,62	0,58	0,56	0,56	0,52	0,52	0,48	0,48	0,60	0,46	0,56
0,66	0,64	0,64	0,62	0,62	0,60	0,68	0,68	0,66	0,62	0,58	0,60
0,220	0,225	0,230	0,235	0,220	0,225	0,230	0,235	0,220	0,225	0,230	0,235
сборная типа общей отливки сердечника с изнашиваемой частью усювиков											

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Часть 1. РАСЧЕТ ОДИНОЧНОГО ОБЫКНОВЕННОГО СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА

1.1. Исходные данные

Исходными данными для проектирования стрелочного перевода являются:

- общие конструктивные особенности стрелочного перевода;
- тип рельса;
- вид основания (брусьев);

- расчетный экипаж;
- скорости по основному пути и ответвлению — V_n и V_6 ;
- допускаемая величина внезапно возникающего ускорения при набегании колеса на остряк при движении экипажа в противоположном направлении на ответвление — j_0 ;
- допускаемая величина непогашенного ускорения при движении по стрелочной кривой — γ_0 ;
- допускаемая величина параметра, характеризующего потерю кинетической энергии при набегании колеса на остряк ответвленного пути — W_0 .

Исходные данные для выполнения курсового проекта приведены в табл. 1.

В процессе изложения метода расчета, в качестве примера, рассмотрен расчет стрелочного перевода из рельсов типа Р65, на железобетонном основании без подуклонки рельсов, остряки гибкие секущего типа, крестовина сборная типа общей отливки сердечника с изнашиваемой частью усовиков, расчетный экипаж ВЛ60, скорость по основному пути и ответвлению — $V_n = 140$ км/ч, $V_6 = 50$ км/ч; ускорения — $j_0 = 0,60$ м/с², $\gamma_0 = 0,64$ м/с²; параметр $W_0 = 0,240$ м/с.

1.2. Основные параметры стрелки

К основным параметрам стрелки с остряками секущего типа относятся:

- начальный стрелочный угол остряка ответвленного направления — β_n ;
- радиус остряка ответвленного пути в зоне возможных набеганий на него гребней колес экипажей — R_1 ;
- радиус остряка вне этой зоны — R_2 ;
- длина зоны примыкания остряка к боковой грани рамного рельса (длина строжки головки остряка — λ_n);
- угол, соответствующий концу зоны строжки остряка — ν_n ;
- длина переднего выступа рамного рельса — m_1 .

Начальный стрелочный угол остряков секущего типа и их радиусы определяются из соотношений кинематики движения экипажа при входе на стрелку (рис. 1.1):

$$\sin \beta_n \leq \frac{1}{V_6} \sqrt{W_0^2 - 2 \delta j_0},$$

$$R_1 = \frac{V_6^2}{j_0}, \quad R_2 = \frac{V_6^2}{\gamma_0}, \quad (1.1)$$

где δ — расчетный наибольший зазор между гребнем колеса и рамным рельсом. Для стрелочных переводов колеи 1520 зазор $\delta = 36$ мм.

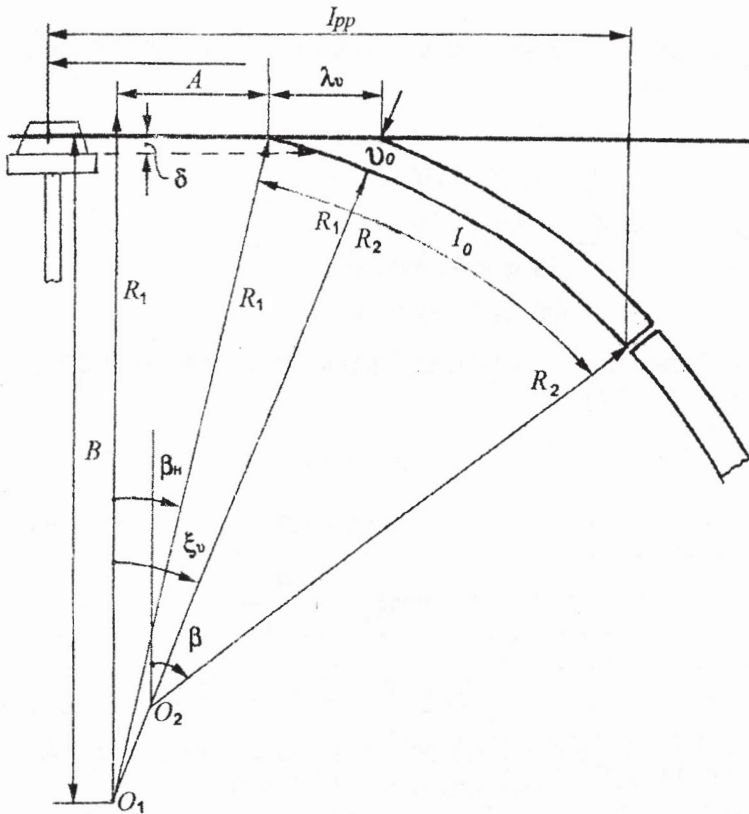


Рис. 1.1. Схема для определения основных параметров стрелки

Для исходных данных примера получим:

$$\sin \beta_n = \frac{1}{50/3,6} \sqrt{0,240^2 - 2 \cdot 0,036 \cdot 0,60} = 0,00864000,$$

$$\beta_n = 0,008640107 = 0^\circ 29' 42,15'',$$

$$R_1 = \frac{(50/3,6)^2}{0,6} = 321,502 \text{ м},$$

$$R_2 = \frac{(50/3,6)^2}{0,64} = 301,408 \text{ м}.$$

Округлив полученные величины, примем для дальнейших расчетов:

$$\beta_n = 0^\circ 29' = 0,008435758,$$

$$\sin \beta_n = 0,008435657,$$

$$\cos \beta_n = 0,999964419,$$

$$R_1 = 320 \text{ м} = 320000 \text{ мм},$$

$$R_2 = 300 \text{ м} = 300000 \text{ мм}.$$

Остальные параметры стрелки определяются по формулам (см. рис. 1.1).

$$A = R_1 \sin \beta_n,$$

$$B = R_1 \cos \beta_n.$$

$$\cos \xi_v = \frac{B}{R_1 + v_0}, \quad (1.2)$$

$$\lambda_v = (R_1 + v_0) \sin \xi_v - A,$$

где v_0 — ширина головки острья на расчетном уровне (P50 — 65,1 мм, P65 — 68,4 мм, P75 — 68,4 мм).

В рассматриваемом примере:

$$A = 320000 \cdot 0,008435758 = 2699 \text{ мм},$$

$$B = 320000 \cdot 0,999964419 = 319989 \text{ мм},$$

$$\cos \xi_0 = \frac{319989}{320000 + 68,4} = 0,999751928,$$

$$\xi_0 = 0,022274749,$$

$$\sin \xi_0 = 0,022272907,$$

$$\lambda_0 = (320000 + 68,4) \cdot 0,022272907 - 2699 = 4430 \text{ мм}.$$

Передний выступ рамного рельса определяется по формуле:

$$m_1 = \frac{c - \delta}{2} + n \cdot a - m_0, \quad (1.3)$$

где c — расстояние между осями брусьев в стыке (Р50 — 440 мм, Р65 и Р75 — 420 мм);

δ — стыковой зазор, $\delta = 8$ мм;

a — пролет между осями брусьев ($a = 520$ мм);

n — число пролетов (принимается от 3 до 9, в зависимости от марки перевода);

m_0 — расстояние от острия остряка до оси первого бруса ($m_0 = 41$ мм).

Примем $n = 5$, тогда для нашего примера

$$m_1 = \frac{420 - 8}{2} - 5 \cdot 520 - 41 = 2765 \text{ мм}.$$

1.3. Основные параметры «жесткой» крестовины

Основными параметрами крестовины являются:

- угол крестовины — α (марка — N);
- передний вылет крестовины — h ;
- задний вылет крестовины — p .

Для определения основных параметров крестовины используется уравнение проекций контура стрелочной кривой на ось, перпендикулярную оси основного пути (рис. 1.2).

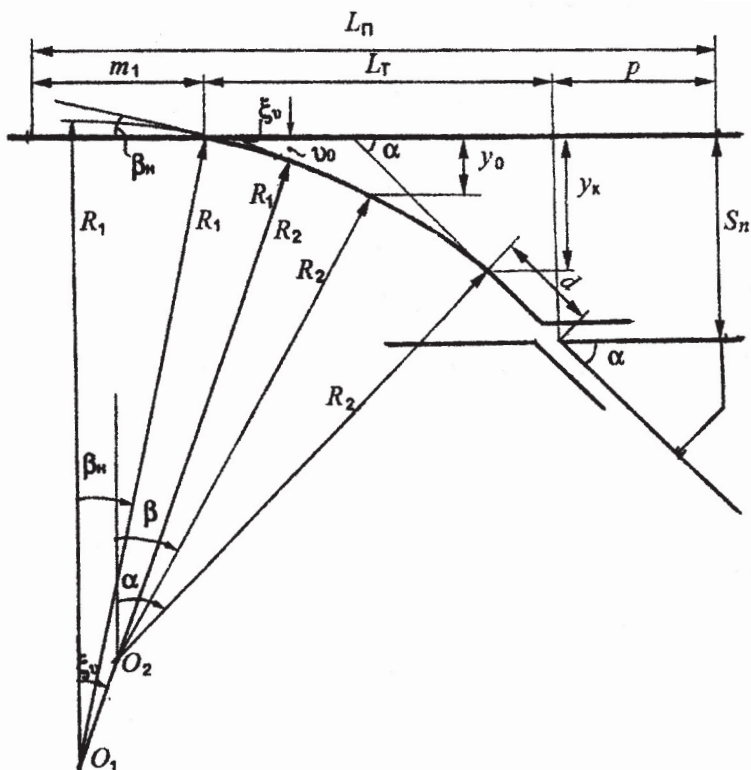


Рис. 1.2. Схема для определения угла и марки крестовины

$$S_n = R_1 (\cos \beta_n - \cos \xi_v) + R_2 (\cos \xi_v - \cos \alpha) + d \sin \alpha, \quad (1.4)$$

где S_n — расчетная ширина колеи на крестовинном узле;
 α — угол крестовины;
 d — длина прямой вставки между концом стрелочной кривой и математическим центром крестовины.

В уравнении проекций два неизвестных — угол крестовины α и длина прямой вставки d . Они взаимосвязаны и зависят от динамико-кинематических параметров стрелочного перевода и вида его конструкции.

Существует несколько способов определения величин α и d . Рассмотрим один из них.

Сгруппируем все члены уравнения (1.4), не зависящие от угла α :

$$c_1 = R_1(\cos\beta_H - \cos\xi_v) + R_2 \cdot \cos\xi_v - S_n, \quad (1.5)$$

тогда уравнение проекций примет вид:

$$c_1 - R_2 \cdot \cos\alpha + d \cdot \sin\alpha = 0. \quad (1.6)$$

Отсюда

$$d = \frac{R_2 \cos\alpha - c_1}{\sin\alpha}. \quad (1.7)$$

Проведем необходимые расчеты для рассматриваемого примера.

В начале зададим $d_1 = 0$, тогда

$$C_1 = 320000 (0,999964419 - 0,999751928) + \\ + 300000 \cdot 0,999751928 - 1520 = 298474 \text{ мм},$$

$$\cos\alpha_1 = \frac{C_1}{R_2} = \frac{298474}{300000} = 0,994913333,$$

$$\sin\alpha_1 = 0,100734597,$$

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = 0,101249620.$$

Марка крестовины:

$$N_1 = \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_1} = 9,9.$$

Марку крестовины принято округлять в большую сторону, кратно 0,5; примем $N_1 = 10$.

При $d=0$ участок крестовины от переднего стыка до ее математического центра будет криволинейным. Для массовых стрелочных переводов это неудобно. Так, например, для пра-

вых и левых переводов одной марки крестовины не будут взаимозаменяемыми.

При практическом проектировании целесообразно принимать длину прямой вставки $d = 1,5 - 3,5$ м.

Анализ уравнений 1.4–1.7 показывает, что с увеличением N величина d также возрастает.

Проведем еще два расчета для $N > 10$.

$$\begin{aligned} N_2 = 11 \quad & \operatorname{tg} \alpha_2 = 0,090909090, \\ & \operatorname{sin} \alpha_2 = 0,090535746, \\ & \operatorname{cos} \alpha_2 = 0,995893206, \\ & d_2 = 3247 \text{ мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_3 = 12 \quad & \operatorname{tg} \alpha_3 = 0,08333333, \\ & \operatorname{sin} \alpha_3 = 0,083045479, \\ & \operatorname{cos} \alpha_3 = 0,996545758, \\ & d_3 = 5897 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Длина прямой вставки второго варианта соответствует рекомендациям, поэтому для дальнейших расчетов примем:

$$N = 11, d = 3247 \text{ мм, } \alpha = 0,090659886 = 5^{\circ}11'40''.$$

Зная марку крестовины (ее угол) можно определить ее основные размеры — передний вылет h и задний вылет p .

Размеры h и p должны обеспечивать возможность стыкования крестовины с примыкающими к ней рельсами, поэтому они зависят от выбранной конструкции крестовин.

Для рассматриваемой в примере конструкции сборной крестовины типа общей отливки сердечника с наиболее изнашиваемой частью усювиков имеют место соотношения (см. рис. 1.3).

$$h_{\min} = (2v_n + l_6 + \varepsilon_6 - v)N + q, \quad (1.8)$$

$$p_{\min} = N(v_n + v + 2\varepsilon_n),$$

где v_n — расстояние от продольной оси рельса до выступающей части накладки;

l_6 — полная длина стыкового болта с учетом положительных допусков ее изменения;

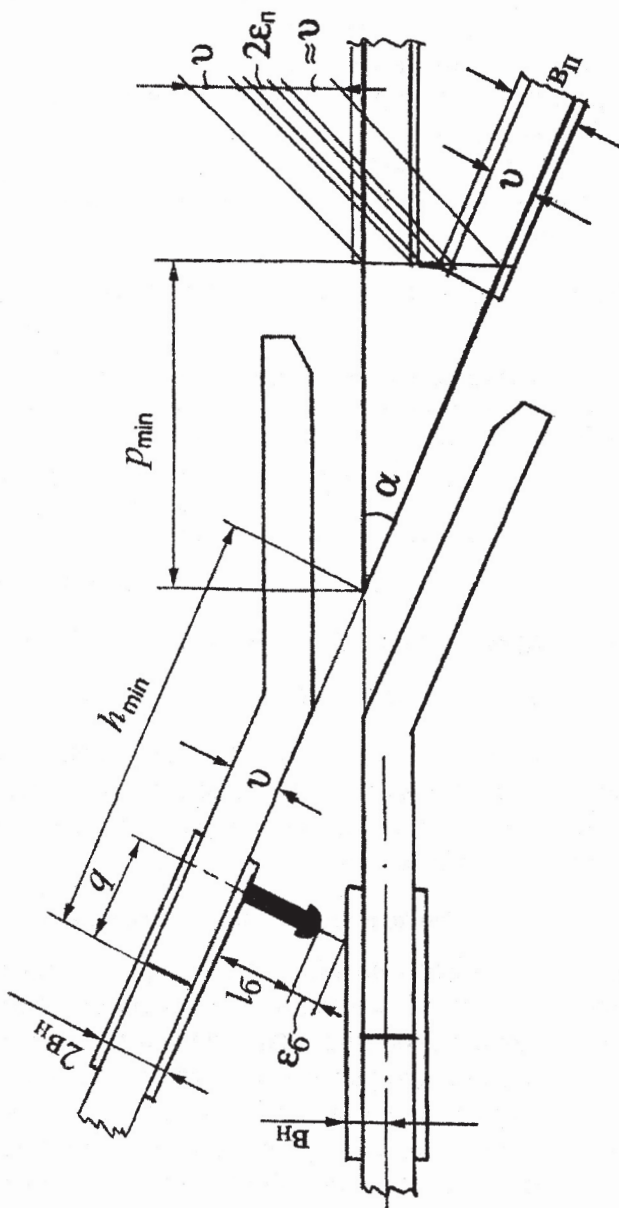


Рис. 1.3. Схема для определения основных размеров крестовины

- ε_6 — запас, учитывающий возможность свободного монтажа и демонтажа болтов, $\varepsilon_6 = 10$ мм;
 υ — ширина головки рельса;
 q — расстояние от торца усовика до оси ближайшего к математическому центру стыкового болта;
 v_n — ширина подошвы рельса;
 ε_n — зазор между подошвами рельсов, примыкающих к крестовине, $2\varepsilon_n \geq 5$ мм.

Размеры υ , v_n , v_n , l_6 и q в миллиметрах даны в табл. 2.

Таблица 2

Размеры к расчету длины крестовины

Тип рельсов	υ	v_n	l_6	q	v_n
P75	72,4	60	191	319	150
P65	72,8	56	183	319	150
P50	70,0	53	170	357	132

Определим h_{\min} и p_{\min} для рассматриваемого примера:

$$h_{\min} = (256 + 183 + 10 - 72,8)11 + 319 = 2873 \text{ мм},$$

$$p_{\min} = 11(150 + 72,8 + 5) = 2506 \text{ мм}.$$

Практические величины длин переднего и заднего вылетов крестовины должны быть не менее, чем h_{\min} и p_{\min} . Они определяются по условиям рационального распределения брусьев и конструктивного оформления всего узла.

1.4. Определение длины контррельса

Контррельсы крестовинных узлов стрелочных переводов предназначены для обеспечения безопасности прохождения экипажей через вредное пространство «жестких крестовин».

Конструктивно контррельсы состоят (рис. 1.4) из основной части $l_{к0}$, перекрывающей вредное пространство, двух отводов $l_{к1}$, направляющих колесные пары в желоб крестовины соответствующего пути, и двух нерабочих улавливающих частей $l_{к2}$, предназначенных для обеспечения безопасности движения в экстраординарных случаях.

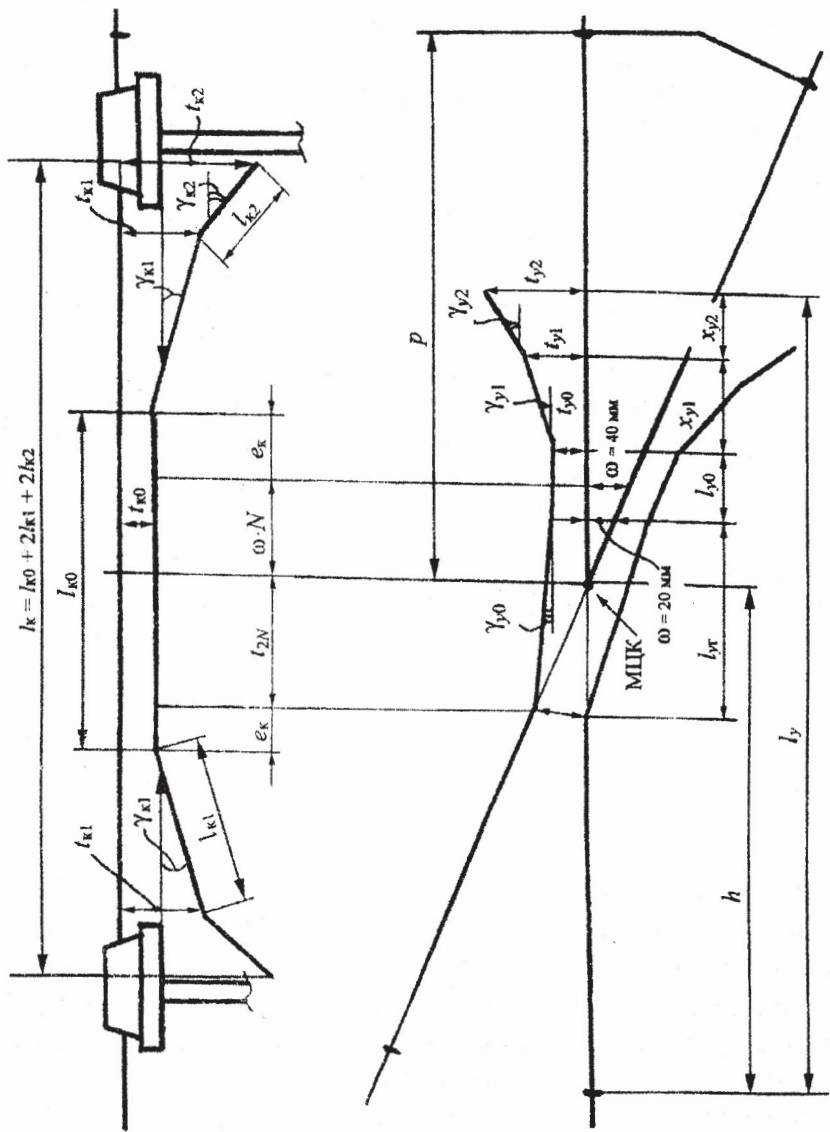


Рис. 1.4. Расчет длин контррельсов и усювиков

Длины частей контррельсов определяются следующим образом:

$$\begin{aligned}
 l_{\text{ко}} &= (t_{\text{г}} + \omega_{\text{с}})N + 2e_{\text{к}}, \\
 l_{\text{к1}} &= \frac{t_{\text{к1}} - t_{\text{ко}}}{\sin \gamma_{\text{к1}}}, \\
 l_{\text{к2}} &= 150 \text{ мм}, \\
 l_{\text{к}} &= l_{\text{ко}} + 2l_{\text{к1}} + 2l_{\text{к2}},
 \end{aligned}
 \tag{1.9}$$

где $\gamma_{\text{к1}}$ — угол отвода контррельса;

$t_{\text{г}}$ — желоб в горле крестовины — 62 мм;

$t_{\text{ко}}$ — желоб в основной части крестовины — 44 мм;

$t_{\text{к1}}$ — желоб в конце отогнутой части крестовины — 64 мм;

$\omega_{\text{с}}$ — ширина сердечника в сечении, где колесо полностью опирается на него — 40 мм;

$e_{\text{к}}$ — запас — 100 мм.

Угол отвода контррельса не должен превышать допустимого угла удара в отведенную часть контррельса, которая определяется допускаемой величиной эффекта удара $W_{\text{к}} = 0,6$ м/с по формуле

$$\sin \gamma_{\text{к1}} = \frac{W_{\text{к}}}{V_{\text{н}}},
 \tag{1.10}$$

где $V_{\text{н}}$ — расчетная скорость движения по основному пути.

Подставив значения рассматриваемого примера получим:

$$\sin \gamma_{\text{к1}} = \frac{0,6}{140/3,6} = 0,015428571,$$

$$l_{\text{ко}} = (62 + 40)11 + 2 \cdot 100 = 1322 \text{ мм},$$

$$l_{\text{к1}} = (64 - 44)/0,015428571 = 1296 \text{ мм},$$

$$l_{\text{к2}} = 150 \text{ м},$$

$$l_{\text{к}} = 1322 + 2 \cdot 1296 + 2 \cdot 150 = 4214 \text{ мм}.$$

1.5. Определение длины остряков

Длина свободной (гибкой) части гибкого остряка должна быть такой, чтобы выполнялись три основных требования:

- при отведенном остряке величина желоба между ним и рамным рельсом не должна быть меньше минимально допустимой величины $t_{\min} = 62$ мм на всем его протяжении;
- расчетное усилие на приводе не должно превышать величины, которую может обеспечить электропривод;
- напряжения от изгиба в остряке не должны быть больше допускаемых.

Длина неподвижной части гибкого остряка (заделки) должна обеспечивать надежное закрепление корневого стыка.

В практике проектирования выполнение этих условий обеспечивается проведением вариантных расчетов.

Из опыта конструирования известно, что условия для гибкой части остряков выполняются при ее длинах от 8 до 15 м. Надежное закрепление корневой зоны остряка можно обеспечить при длине заделки более 1 м.

Таким образом, длину гибкого остряка целесообразно принимать в пределах 9–16 м. Наибольшая возможная длина гибкого остряка в крестовинах переводов пологих марок (более 1/18) до 25 м, по условиям их изготовления на российских стрелочных заводах.

Кроме этих условий, длина остряков должна обеспечивать возможность конструктивного оформления корневой зоны. При современной блочной (стыки в одном створе) конструкции стрелочного перевода это условие обеспечивается при ординатах в корне остряка более 270 мм.

Принимая наиболее распространенную конструкцию корня гибкого остряка, определим длину остряка с учетом ординаты в корне 278 мм (у типовых переводов марки 1/11).

Полный стрелочный угол и длина остряка из условий проекции остряка на ось перпендикулярную оси пути:

$$y_0 = R_1 (\cos \beta_H - \cos \xi_0) + R_2 (\cos \xi_0 - \cos \beta),$$

$$\cos\beta = \frac{R_1 \cos\beta_H - (R_1 - R_2) \cos\xi_0 - y_0}{R_2}, \quad (1.11)$$

$$l_0 = R_1 (\xi_0 - \beta_H) + R_2 (\beta - \xi_0).$$

Подставляя численные значения примера получим:

$$\begin{aligned} \cos\beta &= \frac{320000 \cdot 0,999964419 - (320000 - 300000)0,999751928 - 278}{300000} = \\ &= 0,999051918, \end{aligned}$$

$$\beta = 0,043548397,$$

$$\sin\beta = 0,043534633,$$

$$\begin{aligned} l_0 &= 320000(0,022274749 - 0,008435758) + \\ &+ 300000 (0,043548397 - 0,022274749) = 10812 \text{ мм.} \end{aligned}$$

1.6. Расчет основных размеров стрелочного перевода и разбивочных размеров

Теоретическая длина стрелочного перевода (расстояние от острия острияков до математического центра крестовины) определяется из уравнения проекции перевода на ось основного пути (см. рис. 1.2):

$$L_T = R_1 (\sin\xi_0 - \sin\beta_H) + R_2 (\sin\alpha - \sin\xi_0) + d \cos\alpha. \quad (1.12)$$

Полная длина стрелочного перевода:

$$L_{\Pi} = m_1 + L_T + p. \quad (1.13)$$

Расстояние между центром перевода и математическим центром крестовины, и между центром перевода и острием острияков:

$$e_0 = \frac{S}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}},$$

$$a_0 = L_T - \epsilon_0. \quad (1.14)$$

Расстояние от центра крестовины до предельного столбика:

$$\lambda_0 = \frac{q - \frac{S}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (1.15)$$

где q — половина ширины нормированного междупутья.

В рассматриваемом примере:

$$\begin{aligned} L_T &= 320000(0,022272907 - 0,008435657) + \\ &+ 300000(0,090535746 - 0,022272907) + 3247 \cdot 0,995893206 = \\ &= 28140 \text{ мм}, \end{aligned}$$

$$L_{\Pi} = 2765 + 28140 + 2506 = 33411 \text{ мм},$$

$$\epsilon_0 = \frac{1520}{2 \cdot 0,045361016} = 16754 \text{ мм},$$

$$a_0 = 28140 - 16754 = 11386 \text{ мм},$$

$$\lambda_0 = \frac{2050 - \frac{1520}{2}}{0,045361016} = 28439 \text{ мм}.$$

1.7. Определение ординат переводной кривой

При определении ординат переводной кривой за начало координат принимают, как правило, точку на рабочей грани рамного рельса в корне криволинейного остряка.

Абсциссы переводной кривой определяют с шагом, кратным 2 м.

Проецируя контур переводной кривой на ось пути и перпендикулярную ей ось, получим для произвольной точки рабочей грани упорного рельса:

$$\sin \psi_i = \sin \beta + \frac{X_i}{R_2},$$

$$y_i = y_0 + R_2 (\cos \beta - \cos \psi_i), \quad (1.16)$$

где X_i — абсцисса точки;

ψ_i — угол, соответствующий рассматриваемой точке.

Для конца переводной кривой:

$$X_k = R_2 (\sin \alpha - \sin \beta),$$

$$y_k = S_{\Pi} - d \sin \alpha. \quad (1.17)$$

В проектируемом нами в качестве примере переводе:

$$X_k = 300000(0,090535746 - 0,043540239) = 14099 \text{ мм},$$

$$y_k = 1520 - 3247 \cdot 0,090535746 = 1226 \text{ мм}.$$

Расчет промежуточных ординат следует выполнить для $X = 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14$ м.

Расчет удобно вести в табличной форме.

Таблица 3

Расчет ординат

$X_i, \text{ мм}$	$\frac{X_i}{R_2}$	ψ_i	$y_i, \text{ мм}$
0	—	β	278
2000	0,00666666	0,050228022	372
4000	0,01333333	0,056590427	480
6000	0,02000000	0,063583072	600
8000	0,02666666	0,070264709	734
10000	0,03333333	0,076949489	881
12000	0,04000000	0,083637716	1042
14000	0,04666666	0,090329695	1217
14099	—	α	1226

1.8. Определение длин рельсов стрелочного перевода

Раскладку рельсов на стрелочном переводе иллюстрирует рис. 1.5.

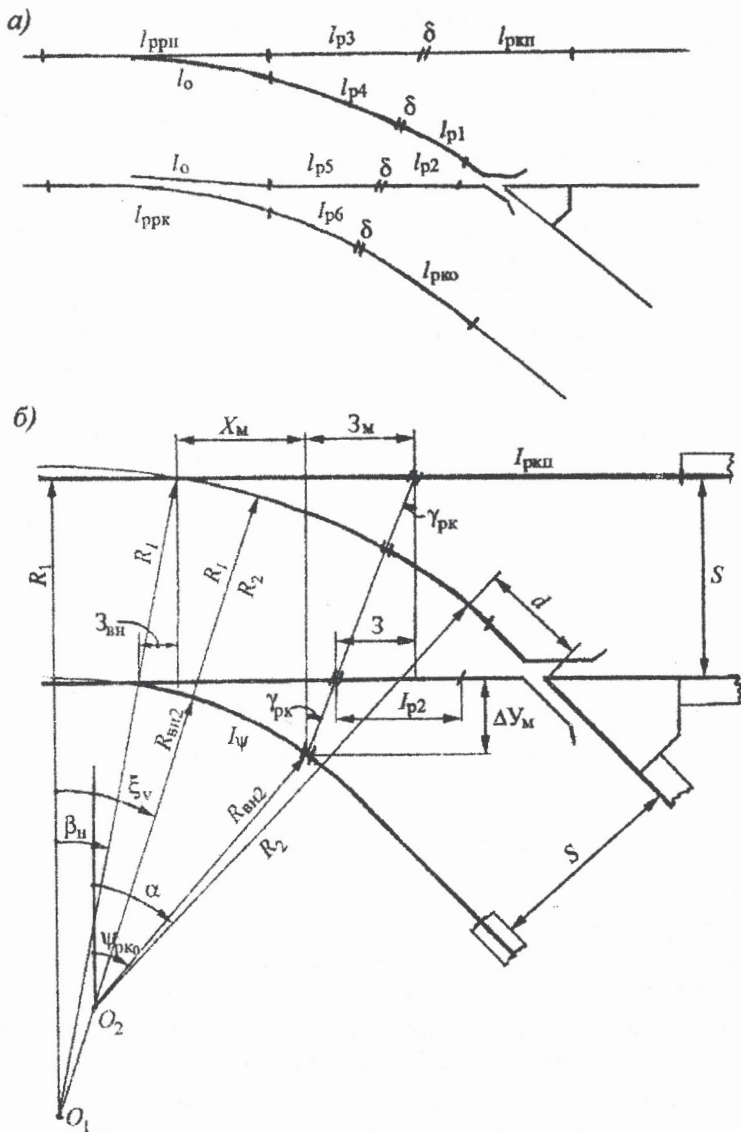


Рис. 1.5. Схемы к расчету раскладки рельсов на стрелочном переводе

Длины рельсов стрелочного перевода определяются геометрическим расчетом.

При этом необходимо учитывать следующие соображения:

- для обеспечения блочной компоновки перевода стыки на нем следует располагать в одном створе;
- рельсы крестовины основного и ответвленного пути следует принимать одинаковой длины, желательного стандартного размера;
- длины рельсовых рубок, примыкающих к переднему вылету крестовины, целесообразно принимать одинаковыми;
- на стрелочном переводе следует предусматривать возможность расположения пар изолирующих стыков по основному и ответвленному направлениям, как правило, в одном шпальном ящике. Расчетный зазор в этих стыках принимается $\delta = 8$ мм;
- длины рельсов (рельсовых рубок) не должны быть меньше 4500 мм.

Расчетный контур внутренней нити ответвленного пути располагается по середине головки рельса.

С учетом этого радиусы стрелочной кривой по внутренней нити

$$R_{\text{вн}} = R - S - \frac{v}{2}. \quad (1.18)$$

В нашем примере

$$R_{1\text{вн}} = 320000 - 1520 - \frac{72,8}{2} = 318444 \text{ мм};$$

$$R_{2\text{вн}} = 300000 - 1520 - \frac{72,8}{2} = 298444 \text{ мм}.$$

Проведем некоторые вспомогательные расчеты.

Для обеспечения расположения передних стыков рельсов крестовин и рельсов, примыкающих к переднему вылету крестовины в одном створе рельс l_{p2} должен иметь забег, по отношению к переднему стыку $l_{pкп}$ на величину 3 .

Координаты точки M , соответствующей на расчетном контуре переднему стыку рельса крестовины $l_{pкo}$ определяются из схемы, приведенной на рис. 1.5.

$$\psi_{\text{pko}} = \alpha - \frac{l_{\text{pko}} - (d - p)}{R_{2\text{BH}}},$$

$$l_{\psi} = m_1 - \left(S + \frac{v}{2} \right) \sin \beta_{\text{H}} + R_{2\text{BH}} (\psi_{\text{pko}} - \xi_{\text{v}}) + R_{1\text{BH}} (\xi_{\text{v}} - \beta_{\text{H}}),$$

$$X_{\text{M}} = - \left(S + \frac{v}{2} \right) \sin \beta_{\text{H}} + R_{2\text{BH}} (\sin \psi_{\text{pko}} - \sin \xi_{\text{v}}) + R_{1\text{BH}} (\sin \xi_{\text{v}} - \sin \beta_{\text{H}}), \quad (1.18)$$

$$\Delta y_{\text{M}} = R_{1\text{BH}} (\cos \beta_{\text{H}} - \cos \xi_{\text{v}}) + R_{2\text{BH}} (\cos \xi_{\text{v}} - \cos \psi_{\text{pko}}),$$

$$\text{tg} \gamma_{\text{pk}} = \frac{L_{\text{T}} + p - l_{\text{pkn}} - X_{\text{M}}}{S + \frac{v}{2} + \Delta y_{\text{M}}},$$

$$z = \left(S + \frac{v}{2} \right) \text{tg} \gamma_{\text{pk}}.$$

Результаты вспомогательных расчетов для примера (принимая длину рельсов крестовины равной стандартному рельсу $l_{\text{pkn}} = l_{\text{pko}} = 12500$ мм)

$$\psi_{\text{pko}} = 0,090659887 - \frac{12500 - (3247 + 2506)}{298444} = 0,06805263,$$

$$\sin \psi_{\text{pko}} = 0,068000115,$$

$$\cos \psi_{\text{pko}} = 0,997685313,$$

$$\begin{aligned} l_{\psi} = & 2765 - \left(1520 + \frac{72,8}{2} \right) 0,008435657 + \\ & + 298444(0,06805263 - 0,022274749) + \\ & + 318444(0,022274749 - 0,008435758) = 20821 \text{ мм}, \end{aligned}$$

$$X_m = -\left(1520 + \frac{72,8}{2}\right)0,008435657 + \\ + 298444(0,068000115 - 0,022272907) + \\ + 318444(0,022272907 - 0,008435657) = 18038 \text{ мм},$$

$$\Delta y_m = 318444(0,999964419 - 0,999751928) + \\ + 298444(0,999751928 - 0,997685313) = 684 \text{ мм},$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{рк}} = \frac{28140 + 2506 - 12500 - 18038}{1520 + \frac{72,8}{2} + 684} = 0,048205677,$$

$$3 = \left(1520 + \frac{72,8}{2}\right)0,048205677 = 75 \text{ м}.$$

С учетом приведенных выше соображений, получим соотношения для длин рельсов:

$$l_{\text{рпн}} = l_{\text{ррк}} = l_0 + m_1,$$

$$l_{\text{ркп}} = l_{\text{ст}} = 12500 \text{ мм},$$

$$l_{\text{р1}} = l_{\text{р2}} = l_{\text{ркп}} + 3 - (h + p),$$

$$l_{\text{р3}} = L_{\text{п}} - l_{\text{рпн}} - l_{\text{ркп}} - \delta,$$

$$l_{\text{р4}} = \left(R_2 + \frac{v}{2}\right)(\alpha - \beta) + d - l_{\text{р1}} - h - \delta,$$

$$l_{\text{р5}} = l_{\text{р3}} - 3,$$

$$l_{\text{р6}} = l_{\text{ш}} - l_{\text{ррк}}.$$

Длины рельсов для примера расчета:

$$l_{\text{рпн}} = l_{\text{ррк}} = 10812 + 2765 = 13577 \text{ мм},$$

$$l_{\text{р1}} = l_{\text{р2}} = 12500 + 75 - (2873 + 2506) = 7196 \text{ мм},$$

$$l_{\text{р3}} = 33411 - 13577 - 12500 - 8 = 7326 \text{ мм},$$

$$l_{p4} = (300000 + \frac{72,8}{2}) (0,090659887 - 0,043548397) +$$

$$+ 3247 - 7197 - 2873 - 8 = 7304 \text{ мм},$$

$$l_{p5} = 7326 - 75 = 7251,$$

$$l_{p6} = 20821 - 13577 = 7044 \text{ мм}.$$

1.9. Расчет эпюры стрелочного перевода

Эпюра стрелочного перевода состоит из двух частей — схемы геометрических размеров стрелочного перевода, необходимая для его разбивки и укладки в путь и схемы раскладки стрелочных брусьев.

Эпюра стрелочного перевода вычерчивается в масштабе. В курсовом проекте рекомендуемый масштаб 1: 100.

Все данные, необходимые для вычерчивания схемы геометрических размеров определены в разделах 1.2—1.8. Схема для рассмотренного примера приведена на рис. 1.6.

Раскладка брусьев на стрелочном переводе производится следующим образом.

Расстояние между переводными брусьями на соединительной части принимают равными $(0,95 - 1,00) a_{\text{пер}}$ и по возможности одинаковыми ($a_{\text{пер}}$ — средний шпальный пролет на перегоне). Под стрелкой и крестовиной целесообразно усиливать основание, для чего брусья укладываются с пролетами примерно на 5—10% меньшими, чем между шпалами.

Первоначально раскладывают брусья у всех стыков, у острия острия, на крестовине, а также флюгарочные. Острие острия смещено относительно оси первого флюгарочного бруса на 41 мм. На остальной части брусья распределяются возможно равномернее. Величина стыковых пролетов $C = 420$ мм при рельсах Р65 и $C = 440$ мм при Р50 пролет между флюгарочными брусьями 600—635 мм.

Деревянные брусья располагают перпендикулярно оси пути в пределах стрелки, а затем постепенно разворачиваются до

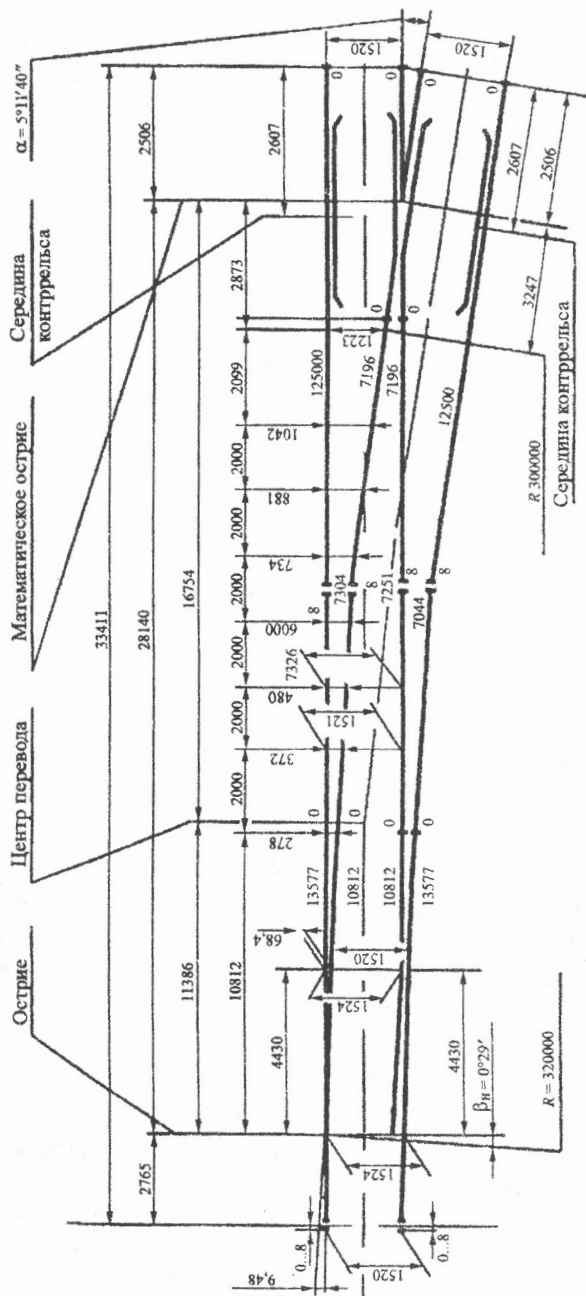


Рис. 1.6. Схема геометрических размеров стрелочного перевода т.Р65, м.1/11

передних стыков рельсов крестовины на угол, обеспечивающий нахождение стыков в одном шпальном ящике. Затем разворот брусьев продолжается до переднего стыка крестовины, где угол разворота равен половине угла крестовины. Далее в пределах крестовины и закрестовинной зоны брусья раскладываются под этим углом до места, где расстояние между осями путей позволяет уложить вместо бруса две шпалы, т.е. $l > 5500$ мм.

В зависимости от длины деревянные брусья делятся на группы, каждая из которых отличается от соседней на 25 см (от 3,00 до 5,50). Брусья на которых располагается переводной механизм и закрепляются переводные тяги, называются *флюгарочными*. Их длина 3,25 м.

Местоположение брусьев различной длины, определяются чаще всего графически при выполнении чертежа эпюры стрелочного перевода в принятом масштабе.

Особенность железобетонного основания для стрелочного перевода в том, что брусья изготавливаются специальными комплектами по несколько брусьев в одной форме, поэтому при построении эпюры их длины не определяются. При практическом проектировании их рассчитывают по специальным методикам с учетом технологических особенностей изготовления.

Раскладка брусьев на спроектированном в качестве примера переводе приведена на рис. 1.7.

Часть 2. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ПУТИ НА ПРОЧНОСТЬ

2.1. Исходные данные

Исходными данными для расчета элементов пути на прочность являются характеристики подвижного состава и характеристики верхнего строения пути.

Характеристики подвижного состава:

- тип подвижного состава;
- статическая нагрузка от колеса на рельс, $P_{ст}$;

- отнесенный к колесу вес необрессоренных частей, q ;
- приведенная к колесу жесткость рессорного подвешивания, J ;
- статический прогиб рессорного подвешивания, $f_{ст}$;
- диаметр колеса по кругу катания, d ;
- количество осей тележки, n ;
- расстояние между центрами осей колесных пар тележки экипажа, l_p ;
- расст. между последней осью 1-й тележки и 1-й осью 2-й тележки, l_0 ;
- лонструкционная скорость, $V_{констр}$;
- скорость движения, V ;
- коэффициент перехода, f ;
- коэффициент вертикальной динамики, k_d ;
- наибольшие расчетные глубины неровностей на колесах,

e.

Характеристики верхнего строения пути:

- тип рельса;
- приведенный износ рельса;
- эпюра шпал;
- тип шпал;
- род балласта;
- модуль упругости рельсового основания, U ;
- коэффициент относительной жесткости рельсового основания и рельса, k ;
- расстояние между осями шпал, $l_{ш}$;
- коэффициент динамической неровности, L ;
- момент сопротивления рельса по низу подошвы при износе 0 мм, $W_{(0)}$;
- момент сопротивления рельса по низу подошвы при износе 6 мм, $W_{(6)}$;
- коэффициент отношения необрессоренной массы колеса и пути, α_0 ;
- площадь рельсовой подкладки, ω ;
- площадь полушпалы с учетом поправки на изгиб, Ω_α ;
- ширина нижней постели шпалы, b ;

- коэффициент неравномерности распределения давления, z ;

- толщина балластного слоя под шпалой, h .

Исходные данные для каждого варианта курсового проекта приведены в табл. 4. Метод расчета пути на прочность изложен в виде примера со следующими исходными данными:

тип подвижного состава — ЧС7, скорость — 80 км/ч;

рельсы — Р65, приведенный износ рельсов — 6 мм;

шпалы железобетонные, эпюра шпал — 1840 шт/км;

балласт — щебеночный, план линии — прямая.

2.2. Общие положения и исходные предпосылки расчета

Расчет выполняется в соответствии с Методикой оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности №ЦПТ-52/14 [3]. Данный расчет распространяется на конструкции верхнего строения пути, предназначенные для эксплуатации на железных дорогах ОАО «РЖД» Российской Федерации колеи 1520 мм.

Расчет распространяется на конструкции пути с рельсами длиной 12,5 м и 25,0 м, в том числе на рельсовые элементы стрелочных переводов (передний вылет рамного рельса, рельсы соединительных путей).

Изложенная методика содержит способы практического расчета нагрузок и напряжений в элементах верхнего строения пути от воздействия на него подвижного состава. Результаты этих расчетов применяются:

- в Методике установления условий обращения нового или модернизированного подвижного состава самостоятельно или в комплексе с результатами испытаний и других исследований;

- в Методике проведения технико-экономических расчетов по выбору параметров основных элементов верхнего строения пути для заданных условий эксплуатации;

- в Методике расчетов по установлению рациональных скоростей движения подвижного состава в различных условиях эксплуатации.

Таблица 4

Исходные данные к части 2 проекта

Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Варианты первой группы												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I			Характеристики подвижного состава												
Тип подвижного состава			ЧС6	ЧС7	ВЛ10	ВЛ80	ВЛ41	ЧС8	ЧС200	ВЛ15	ВЛ85	ВЛ15	ЧС6		
Статическая нагрузка от колеса на рельс	$P_{ст}$	кг	9750	10750	11500	12000	11500	10950	9750	11500	11500	11500	9750		
Отнесенный к колесу вес необработанных частей	q	кг	1625	1750	3160	2760	3075	1750	1625	3050	2760	3050	1625		
Приведенная к колесу жесткость рессорного подвешивания	Ж	кг/мм	91	125	116	116	96	184	91	152	152	152	91		
Статический прогиб рессорного подвешивания	$f_{ст}$	мм	197	169	135	128	75	169	197	156	140	140	197		
Диаметр колеса по кругу катания	d	см	125	125	125	125	120	125	125	125	125	125	125		
Количество осей тележки	n	шт	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
Расстояние между центрами осей колесных пар тележки экипажа	l_1	см	320	320	300	300	210	295	320	190	290	290	320		
Расст. между последней осью 1-й тележки и 1-й осью 2-й тележки	l_0	см	480	470	450	450	480	505	480	386	386	386	480		
Конструктивная скорость	$V_{констр}$	км/ч	160	160	100	110	70	160	200	110	110	100	160		
Скорость движения	V	км/ч	80	80	80	80	70	80	80	80	80	80	80		
Коэффициент перехода	f		1,16	1,16	1,25	1,08	1,25	1,16	1,16	1,17	1,16	1,16	1,16		
Коэффициент вертикальной динамики	k_d		0,2	0,2	0,33	0,33	0,22	0,2	0,2	0,28	0,28	0,28	0,2		
Н: -большие расчетные глубины неровностей на колесах	e	см	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067		
			Характеристики пути												
Тип рельса			Р65	Р50	Р65	Р50	Р65	Р50	Р65	Р65	Р65	Р50	Р50		
Приведенный износ рельса		мм	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Эпюра шпал		шт./км	1840	2000	2000	1840	1840	1840	1840	1600	1600	1840
Тип шпал			жб	жб	жб	жб	д	д	д	д	д	д
Род балласта			Щ	Щ	Щ	Щ	Щ	Щ	Гр	Гр	П	П
Модуль упругости рельсового основания	U	кг/см ²	1500	1670	1670	1500	270	260	210	180	180	210
Коэффициент относительной жесткости рельсового основания и рельса	k	см ⁻¹	0,01563	0,0182	0,01578	0,01772	0,01	0,01145	0,00939	0,00904	0,01044	0,01085
Расстояние между осями шпал	$l_{ш}$	см	55	51	51	55	55	55	55	63	63	55
Коэффициент динамической неровности	L		0,261	0,3	0,261	0,3	0,87	1	0,957	0,957	1,5	1,5
Момент сопротивления рельса по низу подошвы при изгибе 0 мм	$W_{(0)}$	см ³	435	285	435	285	435	285	435	435	285	285
Момент сопротивления рельса по низу подошвы при изгибе 6 мм	$W_{(6)}$	см ³	417	273	417	273	417	273	417	417	273	273
Коэффициент отношения необрессоренной массы клинса и пути	σ_b		0,403	0,403	0,403	0,403	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433
Площадь рельсовой подкладки; поправки на изгиб	ω	см ²	518	518	518	518	612	527	612	612	527	527
Шарнира нижней постели шпалы	Ω_a	см ²	3092	3092	3092	3092	2853	2466	2561	2561	2561	2561
Коэффициент неравномерности распределения лагавля	b	см	27,6	27,6	27,6	27,6	25	23	23	23	23	23
Толщина балластного слоя под шпалой	z	см	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	h	см	55	50	55	50	50	45	50	50	45	45

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Характеристики подвижного состава												
Тип подвижного состава	$P_{ст}$	кг	ЧС8	ЧС200	ВЛ85	ВЛ15	ЧС6	ЧС7	ВЛ10	ВЛ80	ВЛ41	ВЛ10
Статическая нагрузка от колеса на рельсы	q	кг	10950	9750	11500	11500	9750	10750	11500	12000	11500	11500
Отнесенный к колесу вес необорудованных частей рессорного подвешивания	$J_{ст}$	кг/мм	184	91	152	152	91	125	116	116	96	116
Приведенная к колесу жесткость рессорного подвешивания	d	мм	169	197	156	140	197	169	135	128	75	135
Статический прогиб рессорного подвешивания	n	см	125	125	125	125	125	125	125	125	120	125
Диаметр колеса по кругу катания	l_1	шт	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Количество осей тележки	l_2	см	295	320	190	290	320	320	300	300	210	300
Расстояние между центрами осей колесных пар тележки экипажа	l_3	см	505	480	386	386	480	470	450	450	480	450
Расст. между последней осью 1-й тележки и 1-й осью 2-й тележки	$V_{констр}$	км/ч	160	200	110	100	160	160	100	110	70	100
Конструкционная скорость	V	км/ч	80	80	80	80	80	80	80	80	70	80
Скорость движения	f		1,16	1,16	1,17	1,16	1,16	1,16	1,25	1,08	1,25	1,25
Коэффициент перехода динамики	k_d		0,2	0,2	0,28	0,28	0,2	0,2	0,33	0,33	0,22	0,33
Наибольшие расчетные глубины неровностей на колесах	e	см	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067
Характеристики пути												
Тип рельса			P50	P65	P65	P50	P50	P50	P50	P65	P50	P65
Приведенный износ рельса			6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Эпюра шпал	U		1840	1840	1600	1600	1840	1600	2000	2000	1840	1840
Тип шпал			Д	Д	Д	Д	Д	Д	жб	жб	жб	Д
Род балласта			Щ	Гр	Гр	П	П	П	Щ	Щ	Щ	Щ
Модуль упругости рельсового основания		кг/см ²	260	210	180	180	210	180	1670	1670	1500	270
Коэф. относительной жесткости рельсового основания и рельса	k	см ⁻¹	0,01145	0,00939	0,00904	0,01044	0,01085	0,01044	0,0182	0,01578	0,01772	0,01
Расстояние между осями шпал	$l_{ш}$	см	55	55	63	63	55	63	51	51	55	55
Коэф. динамической неровности	L		1	0,957	0,957	1,5	1,5	1,5	0,3	0,261	0,3	0,87
Момент сопротивления рельса по низу подошвы при изломе 0 мм	$W^{(0)}$	см ³	285	435	435	285	285	285	285	435	285	435
Момент сопротивления рельса по низу подошвы при изломе 6 мм	$W^{(6)}$	см ³	273	417	417	273	273	273	273	417	273	417
Коэф. отношения необрессоренной массы колеса и пути	σ_0		0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,403	0,403	0,403	0,433
Площадь рельсовой подкладки;	ω	см ²	527	612	612	527	527	527	518	518	518	612
Площадь полушпалы с учетом поправки на изгиб	Ω_{α}	см ²	2466	2561	2561	2561	2561	2561	3092	3092	3092	2853
Ширина нижней постели шпалы	b	см	23	23	23	23	23	23	27,6	27,6	27,6	25
Коэффициент неравномерности распределения давления	z		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8
Толщина балластного слоя под шпалой	h	см	45	50	50	45	45	45	50	55	50	50

Оценочные критерии прочности (допускаемые напряжения) в конце данного расчета определены из условия обеспечения надежности пути, согласно «Положению о системе ведения путевого хозяйства на железных дорогах», утвержденного приказом 12Ц от 16.08.94 г. Значения расчетных характеристик, приведенных в расчете в системе МКС, переводятся в систему единиц СИ.

Конструкция верхнего строения пути и экипажной части подвижного состава должны находиться в исправном состоянии, соответствующем требованиям Правил технической эксплуатации и действующим техническим нормам.

Геометрические параметры рельсовой колеи должны соответствовать при расчетных характеристиках пути удовлетворительному его состоянию. Изменения конструкции пути и экипажной части подвижного состава должны учитываться соответствующими изменениями расчетных физико-механических характеристик. Значения модуля упругости пути U и коэффициента относительной жесткости рельсового основания и рельса k приведены для летних условий.

Все многообразие сил, действующих на путь, в расчете сведено к следующим основным расчетным схемам их приложения:

- вертикальные силы;
- горизонтальные поперечные (боковые) силы.

Определение горизонтальных (продольных) сил в плетях бесстыкового пути производится согласно Техническим указаниям по устройству, укладке и содержанию бесстыкового пути [4].

Принимается условие, что силы, действующие на путь, независимы друг от друга.

Учет действия горизонтальных поперечных (боковых) сил, а также крутящих моментов из-за эксцентриситета приложения вертикальных сил, производится умножением расчетных осевых напряжений в подошве рельса от действия вертикальных сил на коэффициент f , зависящий от типа подвижного состава и радиуса кривой.

Расчетные формулы для определения нагрузок на путь и напряжений в элементах верхнего строения пути основаны на рассмотрении изгиба рельсов в вертикальной плоскости как балки бесконечно большой длины, лежащей на сплошном упругом основании. При этом предполагается, что напряжения, возникающие под воздействием статической (неподвижной) нагрузки, по величине аналогичны напряжениям от динамической (подвижной) нагрузки той же величины.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Исходные данные:

тип подвижного состава — ЧС7, скорость — 80 км/ч;
 рельсы — Р65, приведенный износ рельсов — 6 мм;
 шпалы железобетонные, эпюра шпал — 1840 шт./км;
 балласт — щебеночный, план линии — прямая.

Коэффициент вертикальной динамики:

$$k_d = 0,1 + 0,2 \frac{V}{f_{ст}}$$

$$k_d = 0,1 + 0,2 \frac{80}{169}$$

$$k_d = 0,1947.$$

Динамическая максимальная нагрузка колеса на рельс от вертикальных колебаний

$$P_p^{\max} = k_d (P_{ст} - q).$$

Надрессорного строения экипажа:

$$P_p^{\max} = 0,1947(10750 - 1750), \text{ кг};$$

$$P_p^{\max} = 1752 \text{ кг}.$$

Среднее значение динамической нагрузки колеса на рельс от вертикальных колебаний надрессорного строения экипажа:

$$P_p^{cp} = 0,75P_p^{max}, \text{ кг};$$

$$P_p^{cp} = 0,75 \cdot 1752;$$

$$P_p^{cp} = 1314 \text{ кг}.$$

Среднее значение вертикальной нагрузки колеса на рельс:

$$P_{cp} = P_{ст} + P_p^{cp}, \text{ кг};$$

$$P_{cp} = 10750 + 1314;$$

$$P_{cp} = 12064 \text{ кг}.$$

Динамическая максимальная нагрузка от колеса на рельс:

$$P_{дин}^{max} = P_{cp} + \lambda S,$$

где S — среднее квадратическое отклонение динамической вертикальной нагрузки колеса на рельс;

λ — нормирующий множитель, определяющий вероятность события, т.е. появления максимальной динамической вертикальной нагрузки ($\lambda = 2,5$).

Среднее квадратическое отклонение динамической вертикальной нагрузки колеса на рельс S определяется по формуле композиции законов распределения его составляющих. Если принять средний процент осей, имеющих изолированную плавную неровность, равным 5%, соответственно — непрерывную плавную неровность 95%, тогда:

$$S = \sqrt{S_p^2 + S_{нп}^2 + 0,95 \cdot S_{ннк}^2 + 0,05 \cdot S_{ннк}^2},$$

где S_p — среднее квадратическое отклонение динамической нагрузки колеса на рельс от вертикальных колебаний над-рессорного строения;

$S_{нп}$ — среднее квадратическое отклонение динамической нагрузки колеса на рельс от сил инерции необрессоренных масс при прохождении колесом изолированной неровности пути;

$S_{\text{ннк}}$ — среднее квадратическое отклонение динамической нагрузки колеса на рельс от сил инерции необрессоренных масс, возникающих из-за непрерывных неровностей на поверхности катания колес;

$S_{\text{инк}}$ — среднее квадратическое отклонение динамической нагрузки колеса на рельс от сил инерции необрессоренной массы, возникающих из-за наличия на поверхности катания колес плавных изолированных неровностей.

$$S_p = 0,08 P_p^{\max},$$

$$S_p = 0,08 \cdot 1752,$$

$$S_p = 140 \text{ кг},$$

$$S_{\text{нп}} = 0,565 \cdot 10^{-8} L \cdot l_{\text{ш}} \cdot \sqrt{\frac{U}{k}} \cdot \sqrt{q} \cdot P_{\text{ср}} \cdot V,$$

$$S_{\text{нп}} = 0,565 \cdot 10^{-8} \cdot 0,261 \cdot 55 \cdot \sqrt{\frac{1500}{0,0154}} \cdot \sqrt{1750} \cdot 10750 \cdot 80,$$

$$S_{\text{нп}} = 1023 \text{ кг},$$

$$S_{\text{ннк}} = \frac{0,052 \cdot \alpha_0 \cdot U \cdot V^2 \cdot \sqrt{q}}{d^2 \cdot \sqrt{k \cdot U - 3,26 \cdot k^2 \cdot q}},$$

$$S_{\text{ннк}} = \frac{0,052 \cdot 0,403 \cdot 1500 \cdot 80^2 \cdot \sqrt{1750}}{125^2 \cdot \sqrt{0,0154 \cdot 1500 - 3,26 \cdot 0,0154^2 \cdot 1750}},$$

$$S_{\text{ннк}} = 116 \text{ кг},$$

$$S_{\text{инк}} = 0,735 \cdot \alpha_0 \cdot \frac{U}{k} \cdot e,$$

$$S_{\text{инк}} = 0,735 \cdot 0,403 \cdot \frac{1500}{0,0154} \cdot 0,047,$$

$$S_{\text{инк}} = 1360 \text{ кг},$$

$$S = \sqrt{S_p^2 + S_{нп}^2 + 0,95 \cdot S_{ннк}^2 + 0,05 \cdot S_{инк}^2},$$

$$S = \sqrt{140^2 + 1023^2 + 0,95 \cdot 116^2 + 0,05 \cdot 1360^2},$$

$$S = 1083 \text{ кг.}$$

Динамическая максимальная нагрузка от колеса на рельс будет равна:

$$P_{дин}^{max} = P_{ср} + \lambda S,$$

$$P_{дин}^{max} = 12064 + 2,5 \cdot 1083 \text{ кг,}$$

$$P_{дин}^{max} = 14770 \text{ кг.}$$

Максимальная эквивалентная нагрузка для расчетов напряжений в рельсах от изгиба и кручения:

$$P_{экр}^I = P_{дин}^{max} + \sum \mu_i P_{ср i},$$

где μ_i — ординаты линии влияния изгибающих моментов рельса в сечениях пути, расположенных под колесными нагрузками от осей экипажа, смежных с расчетной осью.

$$\mu_i = 2,728^{-k l_i} (\cos k l_i - \sin k l_i),$$

$$\mu_i = 0,008506,$$

$$P_{экр}^I = 14770 + 0,008506 \cdot 12064,$$

$$P_{экр}^I = 14873 \text{ кг.}$$

Максимальная эквивалентная нагрузка для расчетов напряжений и сил в элементах подрельсового основания:

$$P_{экр}^{II} = P_{дин}^{max} + \sum \eta_i P_{ср i},$$

где η_i — ордината линии влияния прогибов рельса в сечениях пути, расположенных под колесными нагрузками от осей экипажа, смежных с расчетной осью.

$$\eta_i = 2,728^{-kl_i}(\cos kl_i + \sin kl_i),$$

$$\eta_i = -0,005605,$$

$$P_{\text{ЭКВ}}^{\text{II}} = 14770 - 0,005605 \cdot 12064,$$

$$P_{\text{ЭКВ}}^{\text{II}} = 14703 \text{ кг.}$$

Изгибающий момент в рельсах от воздействия эквивалентной нагрузки:

$$M = \frac{P_{\text{ЭКВ}}^{\text{I}}}{4 \cdot k}, \text{ кг см,}$$

$$M = \frac{14873}{4 \cdot 0,0154},$$

$$M = 242074, \text{ кг см.}$$

Максимальная нагрузка на шпалу:

$$Q = \frac{k \cdot l_{\text{ш}}}{2} P_{\text{ЭКВ}}^{\text{II}}, \text{ кг,}$$

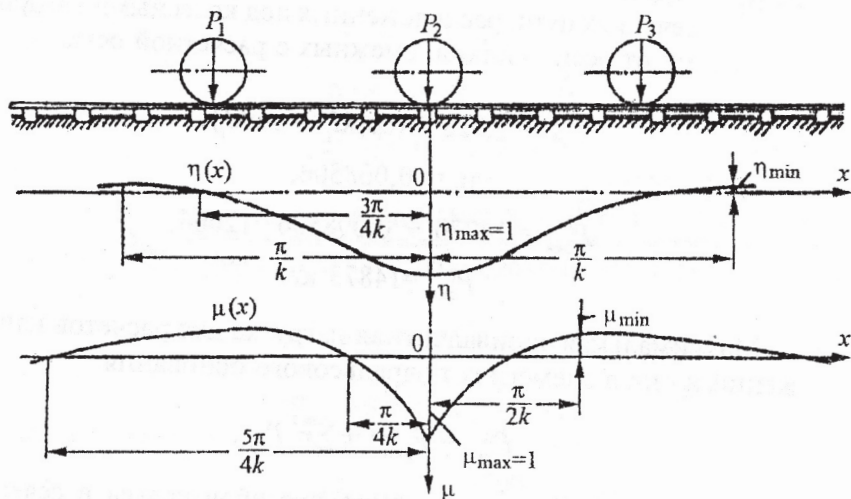


Рис. 2.1. Линии влияния прогибов $\eta(x)$ и моментов $\mu(x)$ от действия колесной нагрузки P_2

$$Q = \frac{0,0154 \cdot 55}{2} 14703,$$

$$Q = 6210 \text{ кг.}$$

Максимальный прогиб рельса, см:

$$y = \frac{k}{2U} P_{\text{экв}}^{\text{II}},$$

$$y = \frac{0,0154}{2 \cdot 1500} 14703,$$

$$y = 0,075 \text{ см.}$$

Максимальные напряжения в элементах верхнего строения пути:

— в подошве рельса от его изгиба под действием момента M

- при износе головки рельса 0 мм:

$$\sigma_0 = \frac{M}{W}, \text{ кг/см}^2$$

$$\sigma_0 = \frac{242074}{435} \quad \sigma_0 = 556 \text{ кг/см}^2$$

- при износе головки рельса 6 мм:

$$\sigma_0 = \frac{242074}{417} \quad \sigma_0 = 581 \text{ кг/см}^2$$

— в кромках подошвы рельса: $\sigma_k = f \cdot \sigma_0$, кг/см²

- при износе головки рельса 0 мм:

$$\sigma_k = 1,16 \cdot 556 \quad \sigma_k = 646 \text{ кг/см}^2$$

- при износе головки рельса 6 мм:

$$\sigma_k = 1,16 \cdot 581 \quad \sigma_k = 673 \text{ кг/см}^2$$

— в шпале на смятие под подкладкой (при деревянной шпале) и в прокладке при железобетонной шпале:

$$\sigma_{ш} = \frac{Q}{\omega}, \text{ кг/см}^2$$

$$\sigma_{ш} = \frac{6210}{518} \qquad \sigma_{ш} = 12,0 \text{ кг/см}^2$$

— в балласте под шпалой:

$$\sigma_6 = \frac{Q}{\Omega_\alpha}, \text{ кг/см}^2$$

$$\sigma_6 = \frac{6210}{3092} \qquad \sigma_6 = 2,01 \text{ кг/см}^2$$

Определение напряжений в балласте на глубине h

Расчетная формула для определения нормальных напряжений σ_h в балласте (в том числе и на основной площадке земляного полотна) на глубине h от подошвы шпалы по расчетной вертикали имеет вид

$$\sigma_h = \sigma_{h1} + \sigma_{h2} + \sigma_{h3}, \text{ кг/см}^2,$$

где σ_{h1} и σ_{h3} — напряжения от воздействия соответственно 1-й и 3-й шпал, лежащих по обе стороны от расчетной шпалы;

σ_{h2} — напряжения от воздействия 2-й шпалы (расчетной) в сечении пути под расчетным колесом.

Напряжения в балласте под расчетной шпалой: $\sigma_{6p} = \sigma_6$ — для двухосной тележки коэффициенты C_1 и C_2 для расчета напряжений в балласте на глубине h :

$$C_1 = \frac{b}{2h} - \frac{b^3}{24h^3},$$

$$C_1 = \frac{27,6}{2 \cdot 55} - \frac{27,6^3}{24 \cdot 55^3}, \qquad C_1 = 0,246.$$

$$C_2 = \frac{bh}{b^2 + 4h^2},$$

$$C_2 = \frac{27,6 \cdot 55}{27,6^2 + 4 \cdot 55^2}, \quad C_2 = 0,118.$$

Переходный коэффициент от осредненного по ширине шпалы давления на балласт к давлению под осью шпалы, при $m < 1$ принимается $m = 1$;

$$m = \frac{8,9}{\sigma_{\text{бр}} + 4,35} \geq 1,$$

$$m = \frac{8,9}{2,01 + 4,35} \geq 1, \quad m = 1,40.$$

Примечание. При $m < 1$ принять $m = 1$.

Нормальные вертикальные напряжения под расчетной шпалой (рис. 2.2):

$$\sigma_{h2} = \sigma_{\text{бр}} z [2,55 C_2 + (0,635 C_1 - 1,275 C_2) m], \text{ кг/см}^2$$

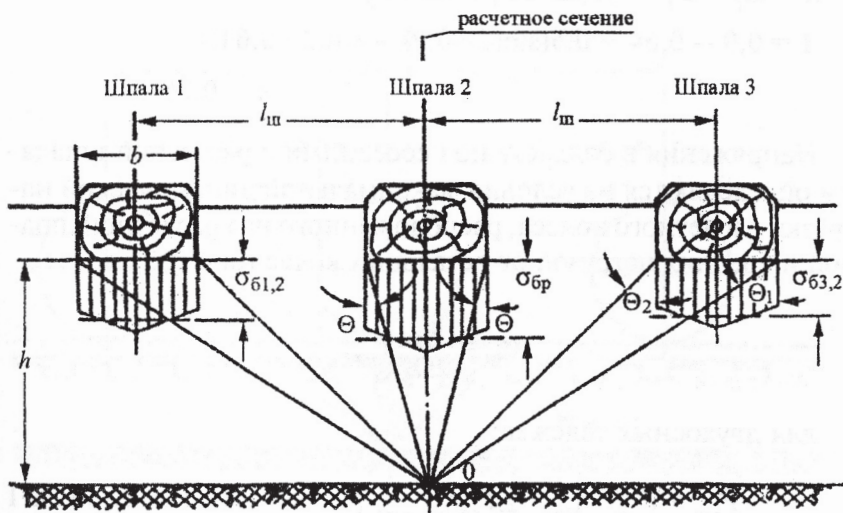


Рис. 2.2. Схема передачи давления на земляное полотно от трех смежных шпал

$$\sigma_{h_2} = 2,01 \cdot 0,7 \cdot [2,55 \cdot 0,118 + (0,635 \cdot 0,246 - 1,275 \cdot 0,118) \cdot 1,4],$$

$$\sigma_{h_2} = 0,43 \text{ кг/см}^2.$$

Углы (в радианах) между вертикальной осью и направлениями от кромки шпалы до расчетной точки (см. рис. 2.2):

$$\Theta_1 = \arctg \frac{l_{ш} + 0,5b}{h},$$

$$\Theta_1 = \arctg \frac{55 + 0,5 \cdot 27,6}{55}, \quad \Theta_1 = 0,90 \text{ рад.}$$

$$\Theta_2 = \arctg \frac{l_{ш} - 0,5b}{h},$$

$$\Theta_2 = \arctg \frac{55 - 0,5 \cdot 27,6}{55}, \quad \Theta_2 = 0,64 \text{ рад.}$$

Коэффициент A для расчета напряжений в балласте на глубине h :

$$A = \Theta_1 - \Theta_2 + 0,5(\sin 2\Theta_1 - \sin 2\Theta_2),$$

$$A = 0,9 - 0,64 + 0,5(\sin(2 \cdot 0,9) - \sin(2 \cdot 0,64)),$$

$$A = 0,261.$$

Напряжения в балласте под соседними с расчетной шпалами определяются из условия максимальной динамической нагрузки расчетного колеса, расположенного над расчетной шпалой и средних нагрузок от остальных колес (рис. 2.3):

$$\sigma_{бс} = \frac{kl_{ш}}{2\Omega_{\alpha}} P_{\text{экр}}^{\text{II}};$$

для двухосных тележек:

$$P_{\text{экр}}^{\text{II}} = P_{\text{дин}}^{\text{max}} \eta_{лш} + \sum P_{\text{ср}} \eta_{(l_{1-2} - l_{ш})} \quad \text{под шпалой № 1}$$

$$P_{\text{экр}}^{\text{II}} = P_{\text{дин}}^{\text{max}} \eta_{лш} + \sum P_{\text{ср}} \eta_{(l_{1-2} + l_{ш})}, \quad \text{под шпалой № 3}$$

где

$$\eta_{лш} = 2,72828^{-k \cdot l_{лш}} (\cos k l_{лш} + \sin k l_{лш}),$$

$$\eta_{лш} = 2,72828^{-0,0154 \cdot 55} (\cos(0,0154 \cdot 55) + \sin(0,0154 \cdot 55)),$$

$$\eta_{лш} = 0,60.$$

- под шпалой № 1

$$\eta_{(l_{1-2}-l_{лш})} = 2,72828^{-k(l_i-l_{лш})} (\cos k(l_i-l_{лш}) + \sin k(l_i-l_{лш})),$$

$$\eta_{(l_{1-2}-l_{лш})} = 2,72828^{-0,0154(320-55)} (\cos(0,0154 \cdot (320-55)) + \sin(0,0154 \cdot (320-55))),$$

$$\eta_{(l_{1-2}-l_{лш})} = -0,024,$$

$$P_{\text{ЭКВ}}^{\text{II}} = 14770 \cdot 0,6 + 1083 \cdot 12064 \cdot (-0,024),$$

$$P_{\text{ЭКВ}}^{\text{II}} = 8647 \text{ кг};$$

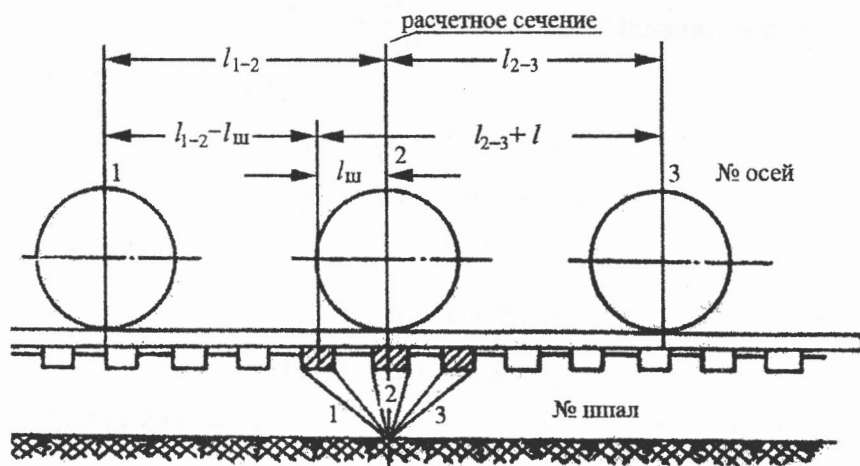


Рис. 2.3. Учет нагрузок от осей экипажа при определении напряжений на основной площадке земельного полотна (для трехосной тележки)

- под шпалой № 3

$$\eta_{(l_{1-2} + l_{ш})} = 2,72828^{-k(l_i + l_{ш})} (\cos k(l_i + l_{ш}) + \sin k(l_i + l_{ш})),$$

$$\eta_{(l_{1-2} + l_{ш})} = 2,72828^{-0,0154(320+55)} (\cos(0,0154 \cdot (320 + 55)) + \sin(0,0154 \cdot (320 + 55))),$$

$$\eta_{(l_{1-2} + l_{ш})} = 0,001,$$

$$P_{\text{экв}}^{\text{II}} = 14770 \cdot 0,6 + 1083 \cdot 12064 \cdot 0,001,$$

$$P_{\text{экв}}^{\text{II}} = 8945 \text{ кг.}$$

Напряжения в балласте $\sigma_{\text{бс}} = \frac{k l_{ш}}{2 \Omega_{\alpha}} P_{\text{экв}}^{\text{II}}$

- под шпалой № 1 $\sigma_{\text{бс}} = \frac{0,0154 \cdot 55}{2 \cdot 3092} 8647,$

$$\sigma_{\text{б1,2}} = 1,18 \text{ кг/см}^2;$$

- под шпалой № 3 $\sigma_{\text{бс}} = \frac{0,0154 \cdot 55}{2 \cdot 3092} 8945,$

$$\sigma_{\text{б3,2}} = 1,22 \text{ кг/см}^2,$$

$$\sigma_{h1} = 0,25 \cdot \sigma_{\text{б1,2}} \cdot A,$$

$$\sigma_{h1} = 0,25 \cdot 1,18 \cdot 0,261,$$

$$\sigma_{h1} = 0,08 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{h3} = 0,25 \cdot \sigma_{\text{б3,2}} \cdot A,$$

$$\sigma_{h3} = 0,25 \cdot 1,22 \cdot 0,261,$$

$$\sigma_{h3} = 0,08 \text{ кг/см}^2.$$

Тогда

$$\sigma_h = \sigma_{h1} + \sigma_{h2} + \sigma_{h3}, \text{ кг/см}^2,$$

$$\sigma_h = 0,08 + 0,43 + 0,08,$$

$$\sigma_h = 0,59 \text{ кг/см}^2.$$

Расчет заканчивается сравнением полученных напряжений в рельсе σ_k , шпале $\sigma_{ш}$, балласте σ_6 , и земляном полотне σ_3 с допустимыми значениями, приведенными в табл. 5.

Таблица 5

Оценочные критерии прочности пути

Критерии	Расчетные значения	Значения оценочных критериев прочности при грузонапряженности в млн ткм бр. на км в год		
		50–25	24–10	менее 10
$[\sigma_k]$	673	2000	2400	3400
$[\sigma_{ш}]$	12,0	16	20	30
$[\sigma_6]$	2,01	4,2	4,5	5
$[\sigma_3]$	0,59	1	1,1	1,2

Вывод.

Для локомотива ЧС7, движущегося со скоростью 80 км/ч по прямому участку пути заданной конструкции, соблюдаются условия прочности рельсов, шпал,

балласта и земляного полотна при грузонапряженности до 50 млн т бр. Усиления пути на данном участке не требуется.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Расчеты и проектирование железнодорожного пути: Уч. пос. для студентов вузов ж.д. тр-та / Под ред. В.В. Виноградова и А.М. Никонова. — М.: Маршрут, 2003. — 486 с.
2. Железнодорожный путь / Т.Г. Яковлева, Н.И. Карпущенко и др. — М.: Транспорт, 2001. — 223 с.
3. Расчет и проектирование скоростных стрелочных переводов и съездов: Уч. пос. / Б.Э. Глюзберг. — М.: РГОТУПС, 2002. — 54 с.
4. Основы проектирования, строительства и реконструкции железных дорог: Учеб. / В.А. Бучкин и др.; Под общ. ред.: Ю.А. Быкова, Е. С. Свинцова. — М.: Учебно-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2009. — 447 с.

Дополнительная

5. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. ЦРБ-756 от 26.05.2000 г./ МПС РФ. — М.: Транспорт, 2000. — 190 с.
6. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути. ЦП-774/МПС РФ. — М.: Транспорт, 2000. — 224 с.
7. Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности / ЦПТ-52-14. 15.06.2000. — 38 с.
8. Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути / МПС России. — М.: Транспорт, 2000. — 96 с.
9. Железнодорожный путь / З.Л. Крейнис, И.В. Федоров. — М.: 1999. — 368 с.
10. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути / З.Л. Крейнис, Н.П. Коршикова. — М.: УМК МПС РФ, 2001. — 768 с.
11. Расчет и проектирование скоростных стрелочных переводов и съездов / Б.Э. Глюзберг. — М.: РГОТУПС, 2002. — 55 с.