

**ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ
(ОСЖД)**

II издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД
по инфраструктуре и подвижному составу
18-20 июня 2019 г., Словацкая Республика, г. Братислава

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД
по инфраструктуре и подвижному составу
5-7 ноября 2019 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава

Примечание: Теряет силу I издание Памятки от 26.10.2017 г.

P 759/5

**СПОСОБЫ РАСЧЕТА УКЛАДКИ СТРЕЛОЧНЫХ
ПЕРЕВОДОВ В КРИВОЛИНЕЙНЫЕ УЧАСТКИ ПУТИ
ДЛЯ КОЛЕИ 1520 мм
И ДЛЯ КОЛЕИ 1435 мм**

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	стр. 3
2. РАСЧЕТ УКЛАДКИ КРИВОЛИНЕЙНОГО СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА В КРИВУЮ С РАДИУСОМ КРИВИЗНЫ МЕНЬШИМ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ОСНОВНОГО ПУТИ ПЕРЕВОДА	4
3. РАСЧЕТ УКЛАДКИ КРИВОЛИНЕЙНОГО СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА В КРИВУЮ С РАДИУСОМ КРИВИЗНЫ БОЛЬШИМ РАДИУСА ОСНОВНОГО ПУТИ ПЕРЕВОДА.....	14

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Современные потребности путевого хозяйства железных дорог в надежных и долговечных конструкциях верхнего строения пути требуют разработки специальных стрелочных переводов, наилучшим образом соответствующих конкретным условиям эксплуатации, в которых им предстоит работать.

Важнейшим направлением в разработке таких переводов является создание специальных стрелочных переводов для криволинейных участков железнодорожного пути, позволяющих сократить расходы на содержание переводов в кривых и увеличить, в случае необходимости, скорости движения по переводу до скоростей движения по кривой.

Принципиально, для каждого конкретного места укладки стрелочного перевода может быть разработана своя индивидуальная конструкция. Однако, стрелочные переводы, изготовленные по индивидуальным проектам дороги и требуют особых условий эксплуатации и снабжения запасными частями.

При создании специальных стрелочных переводов для криволинейных участков пути целесообразен другой подход. На основе анализа фактического состояния и условий работы стрелочных переводов должен быть создан модельный ряд криволинейных переводов, покрывающий весь диапазон радиусов кривых, в которых эксплуатируются стрелочные переводы.

В этих условиях криволинейные стрелочные переводы необходимо будет укладывать не только в кривые с радиусом равным радиусу основного пути перевода, но и в кривые с радиусом, отличающимся от радиуса основного пути. Наилучшим способом такой укладки является корректировка эпюры стрелочного перевода в пределах возможностей элементов его конструкции, однако это возможно не во всех случаях.

Для стрелочных переводов на железобетонных брусках такой путь не приемлем. Спроектированные специальным образом, под конкретное расположение металлических частей, места и детали крепления металлических частей перевода к основанию не позволяют варьировать кривизной и длинами рельсовых элементов перевода, поэтому часть перевода, уложенная на бруска при любой укладке должна располагаться в соответствии с эпюрой перевода. Сопряжение стрелочного перевода с примыкающими участками кривой радиусом отличным от радиуса его основного

пути должно обеспечиваться за счет дополнительных сопрягающих элементов, параметры которых подлежат расчету.

При выполнении расчетов следует учитывать, что радиусы стрелочных кривых даются в технической документации по рабочей грани наружного рельса, а радиусы кривых обычного пути по его оси.

2. РАСЧЕТ УКЛАДКИ КРИВОЛИНЕЙНОГО СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА В КРИВУЮ С РАДИУСОМ КРИВИЗНЫ МЕНЬШИМ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ОСНОВНОГО ПУТИ ПЕРЕВОДА

Схема такой укладки стрелочного перевода показана на рисунке 1.

В общем случае сопряжение перевода с кривой, в которую он должен быть уложен, обеспечивается с помощью сопрягающих кривых радиуса R_c прямых вставок длиной l_c между сопрягающей и основной кривой.

Исходными данными для расчета являются:

L_n - длина стрелочного перевода с учетом длины закрестовинной части, размещаемой на брусках (длина участка, размещаемого на шпалах не учитывается);

R_n - радиус основного пути перевода;

R_k - радиус кривой, в которую перевод укладывается по рабочей грани головки наружного рельса.

Подлежат определению:

R_c - радиус сопрягающей кривой;

l_{ck} - длина сопрягающей кривой;

l_c - длина прямой вставки;

f_n - сдвигка середины расчетной длины перевода L_n ;

f_c - сдвигка сопрягающей кривой относительно основной;

$\{X_A, Y_A\}$,

$\{X_B, Y_B\}$, - координаты для разбивки основных точек

$\{X_C, Y_C\}$ сопряжения;

T_c - тангенсы для разбивки сопрягающей кривой.

Рассмотрим геометрические соотношения между элементами сопряжения.

Из анализа видно, что сопряжение возможно, если между кривизной сопрягаемых элементов имеет место соотношение:

$$R_n > R_k > R_c,$$

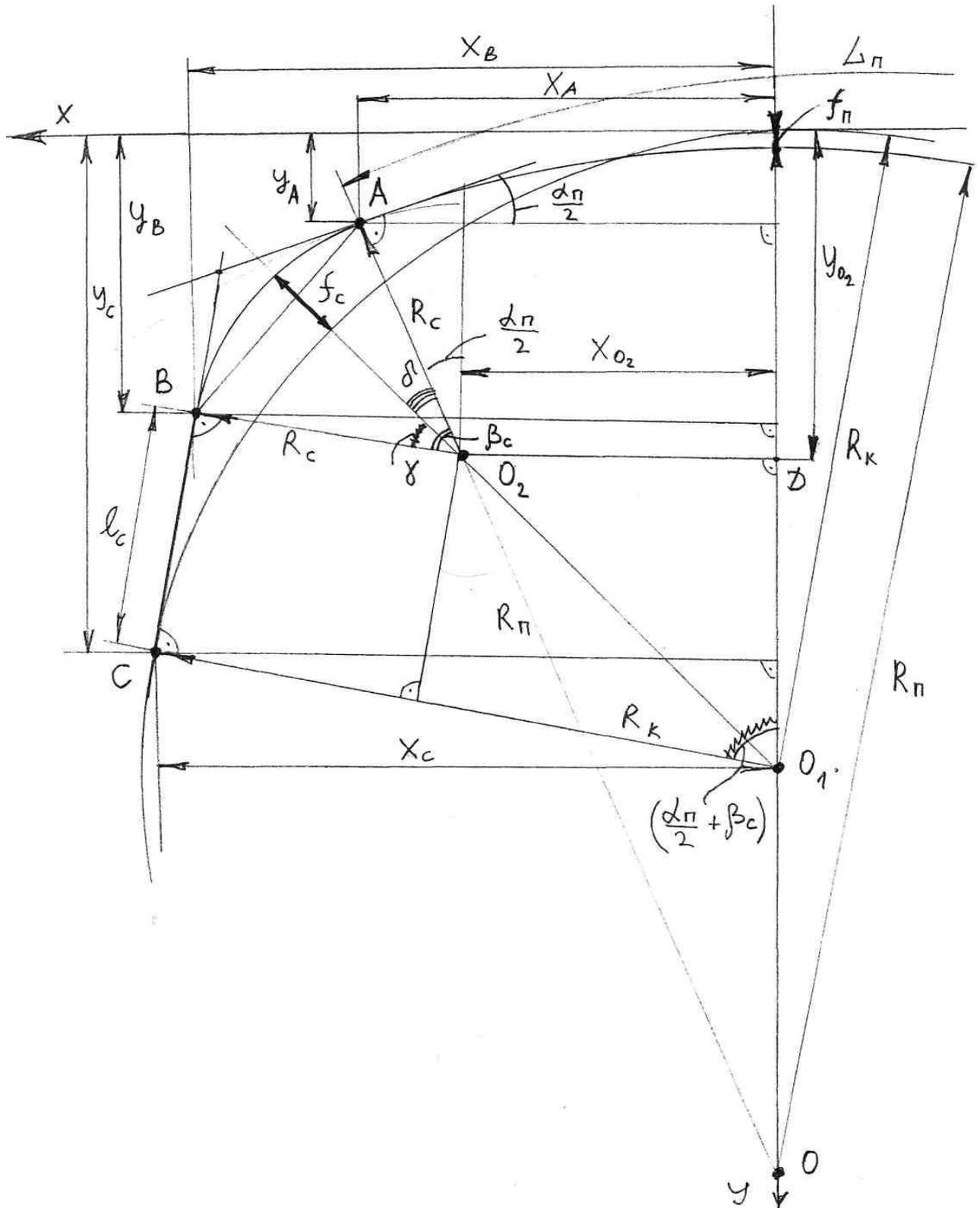


Рисунок 1. Схема укладки криволинейного стрелочного перевода в кривую с радиусом меньшим радиуса основного пути перевода

причем наибольший радиус сопрягающей кривой R_c возможен, если она непосредственно примыкает к стрелочному переводу. В этом случае в точке А они должны иметь общую касательную с углом наклона, равным $\frac{\alpha_{II}}{2}$. Сопряжение сопрягающей кривой с основной в общем случае должно осуществляться с помощью прямой вставки l_c , так как длина касательной к основной кривой СЕ больше или равна длине касательной к точке сопряжения перевода с сопрягающей кривой ЕА.

Из рассмотрения геометрии сопряжения имеют место следующие соотношения.

Угол стрелочного перевода:

$$\alpha_n = \frac{L_{II}}{R_{II}}. \quad (1)$$

Расстояние между центрами стрелочной кривой основного пути перевода и кривой в которую он уложен:

$$OO_1 = R_n - R_k - f_n. \quad (2)$$

Расстояние между центрами стрелочной кривой основного пути перевода и сопрягающей кривой:

$$OO_2 = R_n - R_c. \quad (3)$$

Отрезки O_1D и O_2D :

$$O_1D = OO_2 \cdot \cos \frac{\alpha_{II}}{2} - OO_1 = (R_n - R_c) \cdot \cos \frac{\alpha_{II}}{2} - (R_n - R_k - f_n), \quad (4)$$

$$O_2D = (R_n - R_c) \cdot \sin \frac{\alpha_{II}}{2}. \quad (5)$$

Для определения длины сопрягающей кривой необходимо знать угол β_c , который можно определить по двум его составляющим δ и γ .

$$\operatorname{tg} \left(\delta + \frac{\alpha_{II}}{2} \right) = \frac{0_2 D}{0_1 D} = \frac{(R_{II} - R_C) \cdot \sin \frac{\alpha_{II}}{2}}{(R_{II} - R_C) \cdot \cos \frac{\alpha_{II}}{2} - R_{II} + R_K + f_{II}} = T_d, \quad (6)$$

$$\delta = \operatorname{arctg} (T_d) - \frac{\alpha_{II}}{2}, \quad (7)$$

Расстояние между центрами кривой в которую уложен перевод и сопрягающей кривой равно:

$$O_1 O_2 = \frac{(R_{II} - R_C) \cdot \sin \frac{\alpha_{II}}{2}}{\sin \left(\delta + \frac{\alpha_{II}}{2} \right)}. \quad (8)$$

Угол γ равен:

$$\cos \gamma = \frac{R_K - R_C \cdot \sin \left(\delta + \frac{\alpha_{II}}{2} \right)}{(R_{II} - R_C) \cdot \sin \frac{\alpha_{II}}{2}} = K_c, \quad (9)$$

$$\gamma = \operatorname{arccos} (K_c). \quad (10)$$

Полный угол сопрягающей кривой:

$$\beta_c = \delta + \gamma. \quad (11)$$

Длина сопрягающей кривой:

$$l_{CK} = R_c \cdot \beta_c. \quad (12)$$

Длина прямой вставки:

$$l_c = (R_k - R_c) \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (13)$$

Длина тангенса сопрягающей кривой:

$$T_c = R_c \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta_c}{2}. \quad (14)$$

Координаты начала стрелочного перевода:

$$X_A = R_n \cdot \sin \frac{\alpha_{II}}{2}, \quad (15)$$

$$Y_A = R_n \cdot (1 - \cos \frac{\alpha_{II}}{2}) + f_n. \quad (16)$$

Приращения ΔX_B и ΔY_B находятся из соотношений (рисунок 2):

$$AB = 2 R_c \cdot \sin \frac{\beta_c}{2}, \quad (17)$$

$$\theta = 90^\circ - \frac{\beta_c + \alpha_{II}}{2}, \quad (18)$$

$$\Delta Y_B = AB \cdot \sin \theta = 2 R_c \cdot \sin \frac{\beta_c}{2} \cdot \cos \frac{\beta_c + \alpha_{II}}{2}, \quad (19)$$

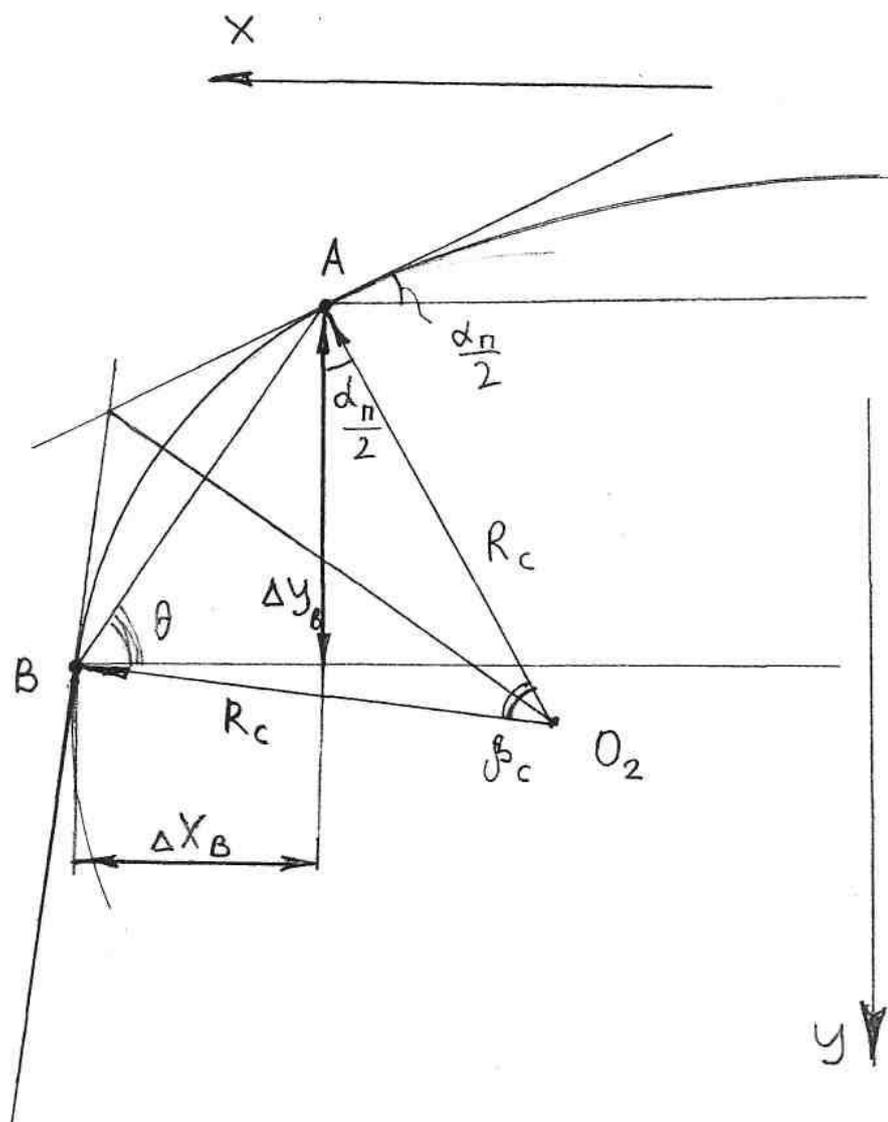


Рисунок 2. Сопряжение в зоне сопрягающей кривой

$$\Delta X_B = AB \cdot \cos \theta = 2R_C \cdot \sin \frac{\beta_C}{2} \cdot \sin \frac{\beta_C + \alpha_{II}}{2}. \quad (20)$$

Координаты точки В сопряжения:

$$X_B = X_A + \Delta X_B \quad (21)$$

$$Y_B = Y_A + \Delta Y_B \quad (22)$$

Координаты точки С сопряжения:

$$X_C = R_K \cdot \sin \left(\frac{\alpha_{II}}{2} + \beta_C \right) \quad (23)$$

$$Y_C = R_K \cdot \left[1 - \cos \frac{\alpha_{II}}{2} + \beta_C \right] \quad (24)$$

Сдвигка сопрягающей кривой определяется из соотношения:

$$R_k + f_c = R_c + O_1O_2, \quad (25)$$

Отсюда:

$$f_c = R_c - R_k + \frac{(R_{II} - R_C) \cdot \sin \frac{\alpha_{II}}{2}}{\sin \left(\delta + \frac{\alpha_{II}}{2} \right)}. \quad (26)$$

Таким образом, сдвигка сопрягающей кривой через угол δ зависит от выбранной схемы укладки перевода в кривую.

Выше изложен способ расчета укладки переводов в наиболее общем виде.

Соотношения для конкретных вариантов укладки получаются из приведенных зависимостей путем задания в них в качестве исходных величин f_{II} и R_c .

Так, например, для случая укладки перевода «по касательной» следует задать $f_{II} = 0$, для случая укладки «по хорде», определить f_{II} по формулам (27) – (30) (приведены ниже).

Остальные случаи (кроме укладки перевода целиком внутри кривой) являются промежуточными, то есть при необходимости иметь конкретную,

заранее заданную, сдвигку перевода, величина f_n может быть задана в соответствии с этой потребностью.

Величина R_c определяется вариантными расчетами. Принимать величину R_c следует наибольшей из возможных, таким образом, чтобы сопряжение могло разместиться в пределах существующей кривой (длина кривой в каждом конкретном случае будет своя). Кроме того, при выборе величины R_c следует оценивать сдвигки в зоне устройства сопрягающих кривых.

В качестве примера рассмотрим укладку криволинейного стрелочного перевода на железобетонных брусках ПКБ И ОАО «РЖД», проект 2878 с радиусом основного пути 600,000 м в кривую радиуса 500 м. Схема размещения перевода – «по хорде».

Длина части перевода, распложенной на брусках составляет 43,354 м.

Схему укладки иллюстрирует рисунок 3.

Из рассмотрения соотношении между геометрическими фигурами схемы рисунок 3 имеем:

$$X_A = R_n \cdot \sin \frac{\alpha_{II}}{2}, \quad (27)$$

$$\sin \Psi = \frac{X_A}{R_K}, \quad (28)$$

$$Y_A = R_K(1 - \cos \Psi) = R_n(1 - \cos \frac{\alpha_{II}}{2}) + f_n, \quad (29)$$

$$f_n = R_K(1 - \cos \Psi) - R_n(1 - \cos \frac{\alpha_{II}}{2}). \quad (30)$$

Подставляя в формулы (1), (27)-(30) значения L_n , R_n и R_K получим сдвигку в средней части перевода $f_n = 0,078 \text{ м} = 78 \text{ мм}$.

Задаваясь различными значениями радиусов сопрягающей кривой получим значения сдвижки этой кривой f_c . Результаты расчетов сведены в таблице 1.

Таблица 1

Величина сдвижки, сопрягающей кривой f_c (рисунок 1) в зависимости от ее радиуса при укладке стрелочного перевода проекта 2878 «по хорде» в кривую радиусом 500 м.

R_c , м	100	150	200	250	300
f_c , м	0,247	0,241	0,164	0,169	0,176

R_c , м	400	450	475	500
f_c , м	0,208	0,273	0,401	Укладка невозможна

Анализ данных, приведенных в таблице 1, показывает, что наименьшие сдвижки имеют место при радиусах сопрягающих кривых 200-250 м, однако при этом следует иметь в виду, что такая укладка потребует ограничения скоростей движения по кривой до 40 км/ч.

Из приведенного примера видно, что укладка криволинейных стрелочных переводов на железобетонных брусках в кривые с радиусом меньшим радиуса основного пути перевода имеет смысл только если радиусы перевода и кривой близки.

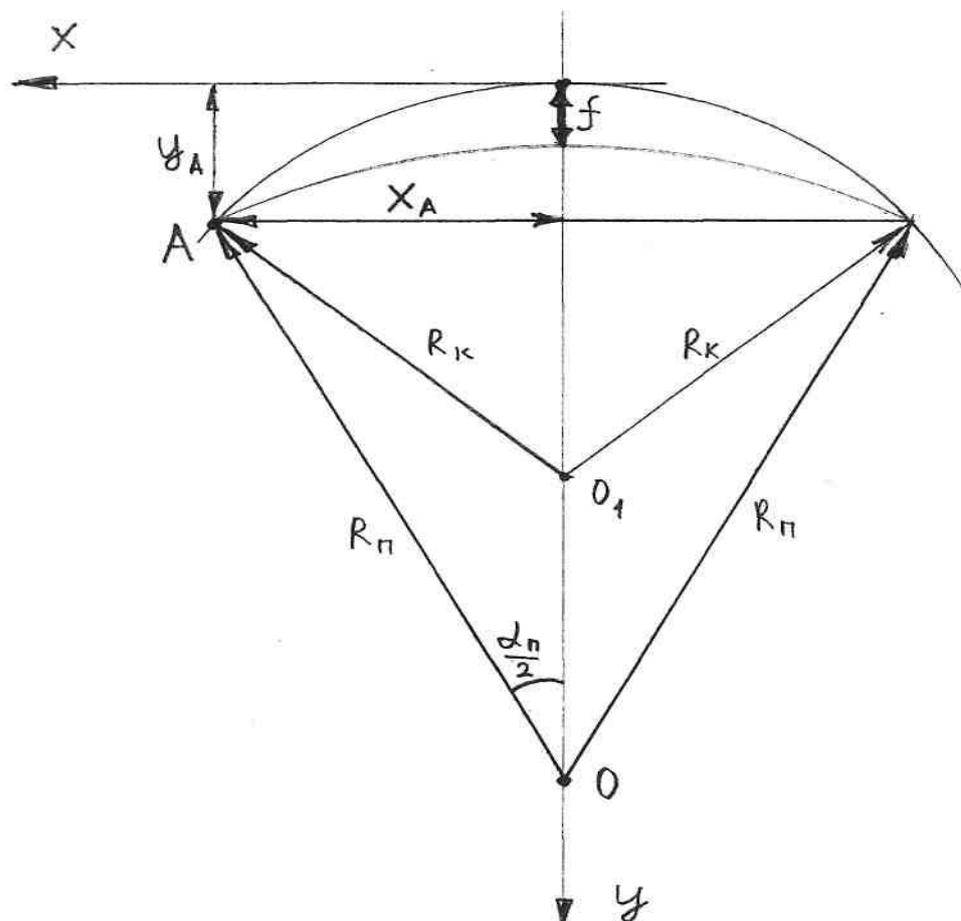


Рисунок 3. Схема к расчету укладки стрелочного перевода «по хорде»

3. РАСЧЕТ УКЛАДКИ КРИВОЛИНЕЙНОГО СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА В КРИВУЮ С РАДИУСОМ КРИВИЗНЫ БОЛЬШИМ РАДИУСА ОСНОВНОГО ПУТИ ПЕРЕВОДА

Схема укладки перевода в кривую приведена на рисунке 4.

Сопряжение криволинейного стрелочного перевода с кривой при такой укладке обеспечивается за счет прямых вставок l_c касательных одновременно к кривой основного пути перевода и кривой, в которую он должен быть уложен.

Исходными данными для расчета являются:

L_n - полная длина стрелочного перевода;

R_n - радиус основного пути перевода;

R_k - радиус кривой в которую он должен быть уложен по рабочей грани наружного рельса.

Подлежат определению:

l_c - длина сопрягающей прямой вставки;

$\{X_A, Y_A\}, \{X_B, Y_B\}$ - координаты для разбивки основных точек сопряжения;

f_n - сдвигка середины стрелочного перевода.

Рассмотрим геометрические соотношения между элементами сопряжения.

Угол стрелочного перевода равен:

$$\alpha_n = \frac{L_n}{R_n}. \quad (31)$$

После преобразований получим.

Координаты начала сопрягающей прямой:

$$X_A = R_n \cdot \sin \frac{\alpha_n}{2}, \quad (32)$$

$$Y_A = R_n \cdot (1 - \cos \frac{\alpha_n}{2}). \quad (33)$$

Координаты конца сопрягающей прямой:

$$X_B = R_k \cdot \sin \frac{\alpha_{II}}{2}, \quad (34)$$

$$Y_B = (X_B - X_A) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_{II}}{2} + Y_A. \quad (35)$$

Длина сопрягающей прямой:

$$l_c = (R_k - R_n) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_{II}}{2}. \quad (36)$$

Сдвигка середины перевода по отношению к кривой при его укладке в путь:

$$f_n = (R_k - R_n) \cdot \frac{(1 - \cos \frac{\alpha_n}{2})}{\cos \frac{\alpha_n}{2}}. \quad (37)$$

В качестве примера рассмотрим укладку в кривые различных радиусов криволинейного стрелочного перевода ПКБ И ОАО «РЖД» проект 2878, на железобетонных брусьях с радиусом основного пути 600,000 м.

Результаты расчетов сведены в таблица 2. В расчетах, также, как и в примере, приведенном выше в качестве длины перевода рассматривалась его часть, целиком расположенная на брусьях, включая закрестовинную зону.

Как видно из результатов расчетов сдвигки оси пути в кривой при укладке стрелочного перевода в кривые большего радиуса не столь велики, как в случае укладки перевода в кривые с радиусом меньше радиуса основного пути перевода. При этом скорость движения по кривой со стрелочным переводом ограничивается только радиусом кривой самого перевода.

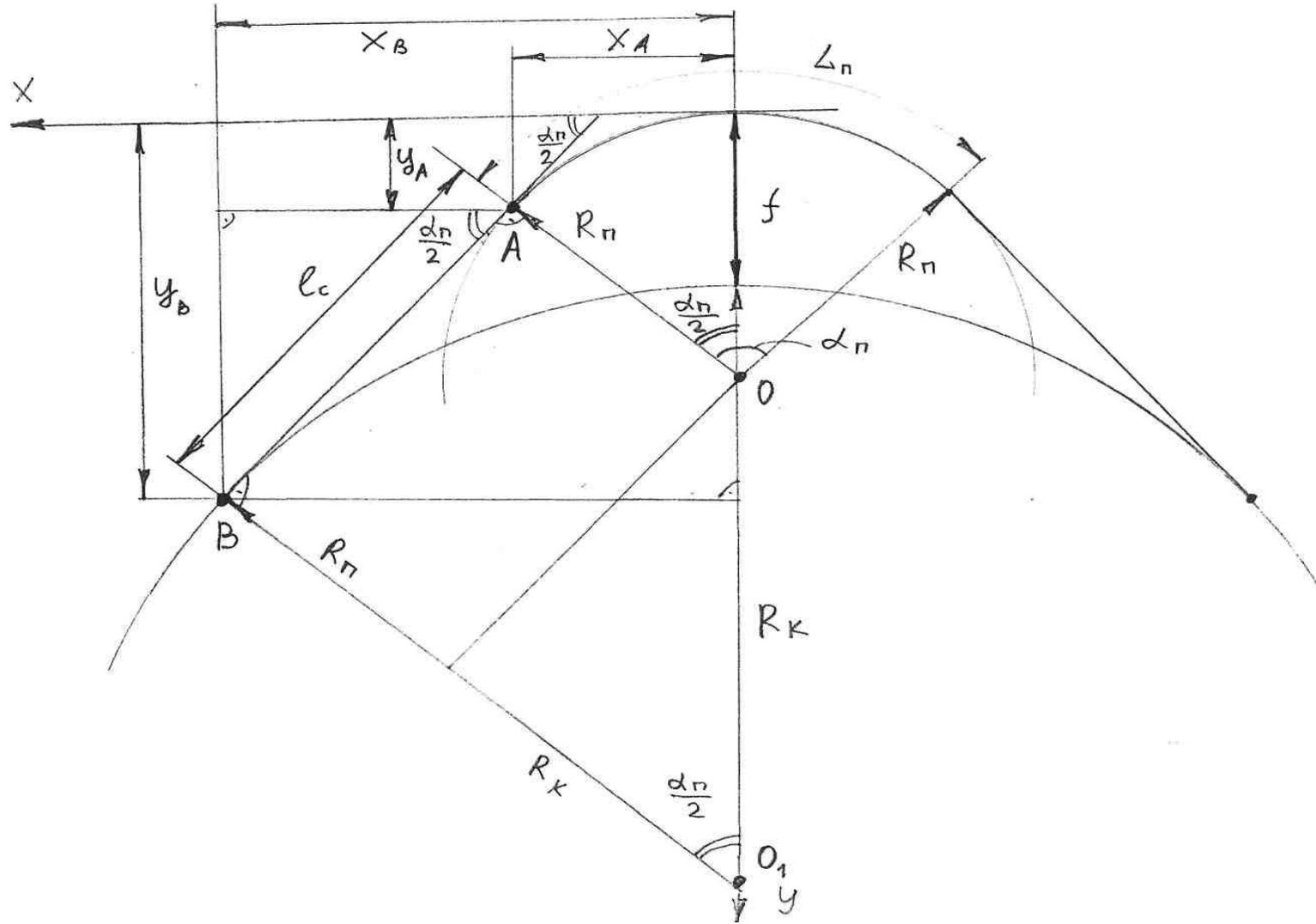


Рисунок 4. Схема укладки криволинейного стрелочного перевода в кривую с радиусом превышающим радиус основного пути перевода

Общий анализ всех данных показывает, что специальные стрелочные переводы для кривых на железобетонных брусьях целесообразно укладывать в кривые с радиусом большим или равным радиусу основного пути перевода.

Таблица 2

Основные параметры сопряжения при укладке стрелочного перевода проекта 2878 в кривые различного радиуса (рисунок 4)

R_k , м	650	700	750	800	900
l_c , мм	1835	3642	5449	7256	10871
f_n , мм	33	66	98	131	196

СПОСОБЫ РАСЧЕТА УКЛАДКИ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ В КРИВОЛИНЕЙНЫЕ УЧАСТКИ ПУТИ ДЛЯ КОЛЕИ 1435 ММ

1. Цель и постановка задачи

В документе описаны венгерские национальные и корпоративные правила, касающиеся стрелочных переводов, детализируются геометрические и конструкционные вопросы криволинейных стрелочных переводов, а также приводятся практические примеры применения стрелочных переводов на кривых участках пути, их расчет, метод разбивки и укладки.

2. Изгибание стрелочных переводов

2.1. Цель изгибания

Сложные процессы движения при эксплуатации железных дорог, а также огромное разнообразие локальных ограничений требуют решение многообразных геометрических проблем, которые можно достигнуть только с помощью широкого спектра стр. переводов. Напротив, разумное управление материалами требует ограничения количества типов стр. переводов. Современное проектирование требует укладку стр. переводов также в кривых участках пути.

Удовлетворить этим противоречивым требованиям позволяет изгибание стр. переводов, которое небольшим числом изгибания так называемого базового стр. перевода позволяет варьировать геометрическую развязку в широких границах и позволяет укладывать стр. переводы в кривые участки пути.

Изгибание стр. переводов выполняется на стрелочном заводе путем изгибания базового стр. перевода. Во время изгиба никаких конструкционных изменений не происходит, соответственно конструкционные зависимости и боковые размеры не изменяются. Обычно, при изгибании изгибается прямое направление базового стр. перевода в заданный радиус кривой и вследствие конструкционных зависимостей боковое направление перевода изгибается в другой радиус. Реже при изгибании изгибается боковое направление базового стр. перевода в заданный радиус кривой, что, согласно вышесказанному, также приводит к изгибу первоначального прямого главного направления. Вопрос в основном идентичен изгибу прямого участка пути в кривую. Тогда единственным изменением будет сокращение внутренней нити этого направления, которое выравнивается изменением длины соединительных рельсов.

3. Требования, касающиеся применения криволинейных стрелочных переводов в соответствии

Стрелочные переводы в прямом направлении должны позволить применение такой же скорости, как на примыкающем пути, а в боковом направлении скорость определяется в соответствии с эксплуатационными требованиями.

Рельсы, уложенные в стрелочные переводы, должны быть как минимум такого же погонного веса, как и рельсы примыкающего пути.

Криволинейные и перекрестные стрелочные переводы могут быть запроектированы только при ограничениях по геометрии.

Новый тип стрелочных переводов должен быть запроектирован только касательного типа с гибкими острьями.

В случае более высокой потребности в скорости в боковом направлении необходимо выяснить, не является ли использование стрелочных переводов с переходной кривой более выгодным с точки зрения комфортабельности и спокойности езды.

Проектирование криволинейных стрелочных переводов допускается только для стандартизованных типов стрелочных переводов.

Требования по примыканию кривых участков пути должны соблюдаться и для соединений путей.

Криволинейные перекрестные стрелочные переводы могут быть запроектированы только при ограничениях по геометрии.

Изгибать разрешается только такой базовый стр. перевод, у которого криволинейный остряк касательного типа, а боковое направление имеет геометрию с проходной переводной кривой (т.е. крестовина криволинейная). Если базовым стр. переводом является простой прямой стр. перевод, тогда изгибать его можно только от начала перевода до крестовины. Основное условие изгибания перевода, чтобы все боковые размеры базового перевода остались неизменными после изгибания, и значения ширины колеи и проводящее расстояние не могут быть изменены. Изгибать перевод разрешается только на такие радиусы, для которых размер желобов базового стр. перевода подходящий. При изгибании стр. переводов исходные данные необходимо взять из базового стр. перевода. При проектировании криволинейных стр. переводов скорость определяется на основе принципов геометрии пути. При проектировании стремиться применять криволинейные стр. переводы. Для индивидуального изгибания должен быть составлен проект изгибания.

Проектирование криволинейных стрелочных переводов допускается только для стандартизованных типов стрелочных переводов.

На основе модернизации проектов искривления стрелочных переводов, а также расчетов, выполняемых с большей точностью и практического опыта, упрощая производство, стало возможным определить типы криволинейных стрелочных переводов, которые требуются практикой. Эти стрелочные переводы приведены в *таблицах*. (Смотри **Примерную таблицу** ниже).

Отличные от этих криволинейные стрелочные переводы могут использоваться исключительно в оправданных случаях и с особым разрешением.

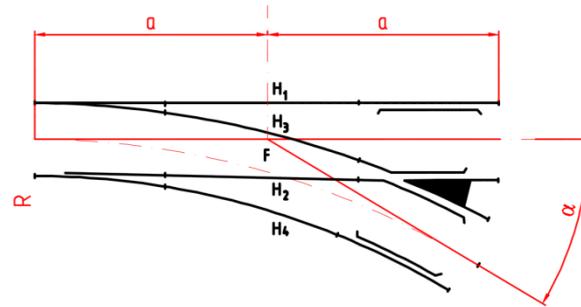
Данные в таблицах могут использоваться независимо от типа рельсов. В изолированных криволинейных стрелочных переводах удлинение соединительных рельсов должно толковаться так, чтобы они находились в направлении крестовины, т. е. место изолирующих стыков должно быть на таком расстоянии от конца стрелки, на каком это требуется в базовом стр. переводе.

В расчетах угол перевода определялся на основе длины касательной.

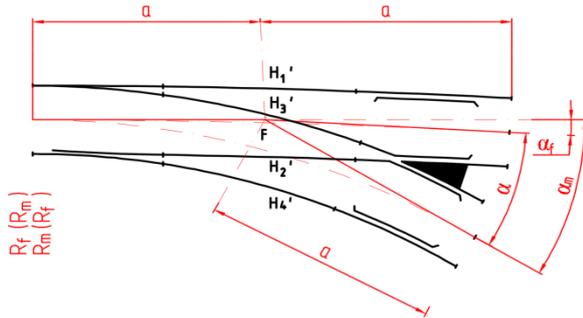
При определении радиусов кривой, рассчитанных относительно оси рельса, как нейтральной линии изгиба, расстояние оси рельса от рабочей грани равно 35 мм, независимо от типа рельсов. При определении данных схемы геометрических размеров все еще должны использоваться радиусы, относящиеся к рабочей грани рельса.

Для упрощения расчетов пренебрегали уширением. Возникающая в результате этого самая большая ошибка в изменении длины составляет 0,3 мм.

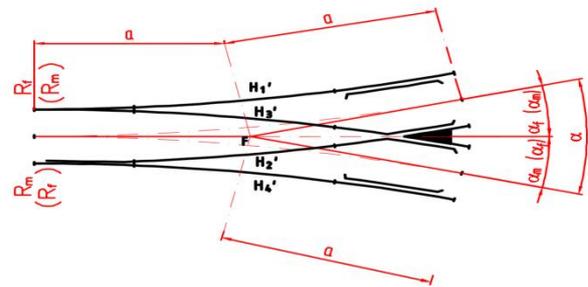
Базовый стрелочный перевод



Односторонний стрелочный перевод



Разносторонний стрелочный перевод



Система обозначений в таблицах и в расчётах

Рисунок 1.

Расчетные формулы для расчета изменений длин рельсов:

$$DH_1 = H_1' \pm H_1 \quad DH_2 = H_2' \pm H_2 \quad DH_3 = H_3' \pm H_3 \quad DH_4 = H_4' \pm H_4$$

Примерная таблица

XVIII-100-1:4,7 e.g.									
Sorszám	Főirány				Mellékirány				Megjegyzés
	R _f [mm]	α _f [°]	ΔH1 [mm]	ΔH2 [mm]	R _m [mm]	α _m [°]	ΔH3 [mm]	ΔH4 [mm]	
1	125 000	9,612249732	28	-34	504 418,4	2,387270245	-4	59	Főirányban az alapkitérő íves ágát hajlítjuk
2	150 000	8,015948033	44	-61	302 209,2	3,983571944	-10	95	
3	175 000	6,873785303	53	-81	234 806,1	5,125734674	-16	119	
4	200 551	5,999759501	60	-98	200 550,8	5,999760476	-21	136	Szimmetr.
5	225 000	5,348811067	55	-86	180 883,7	6,650708910	-17	124	Főirányban az alapkitérő egyenes ágát hajlítjuk
6	250 000	4,814594101	51	-76	167 403,1	7,184925876	-14	113	
7	275 000	4,377350638	47	-68	157 774,1	7,622169339	-12	103	
8	300 000	4,012883105	44	-61	150 552,3	7,986636872	-10	96	
9	350 000	3,439987101	39	-51	140 441,8	8,559532876	-7	83	
10	400 000	3,010200618	35	-44	133 701,5	8,989319359	-6	73	
11	450 000	2,675863049	31	-39	128 887,0	9,323656928	-5	66	
12	500 000	2,408359909	29	-35	125 276,2	9,591160068	-4	59	
13	550 000	2,189474044	26	-31	122 467,7	9,810045933	-3	54	
14	600 000	2,007056882	24	-29	120 220,9	9,992463095	-3	50	
15	650 000	1,852695915	23	-26	118 382,7	10,146824062	-2	46	
16	700 000	1,720381141	21	-24	116 850,8	10,279138836	-2	43	
17	750 000	1,605704613	20	-22	115 554,6	10,393815363	-2	40	
18	800 000	1,505360005	19	-21	114 443,5	10,494159971	-2	38	
19	900 000	1,338113937	17	-19	112 638,1	10,661406040	-1	34	
20	1 000 000	1,204312944	15	-17	111 233,8	10,795207033	-1	30	
21	1 100 000	1,094836945	14	-15	110 110,5	10,904683032	-1	28	
22	1 200 000	1,003605410	13	-14	109 191,3	10,995914567	-1	26	

Пример толкования названий стрелочных переводов, приведенных в таблицах (например, XVIII-100-1: 4,7):

- XVIII тип стрелочного перевода согласно системе, применяемой на МАВ,
- 100 радиус переводной кривой (м),
- 1:4,7 угол перевода,
- e.g. Криволинейный разносторонний несимметричный стрелочный перевод.

Толкование обозначения значений, приведенных в таблицах:

- a	длина касательной базового стр. перевода (мм),
- R	радиус переводной кривой базового стр. перевода (мм),
- R _f	радиус кривой, по которому изгибают основное прямое направление стр. перевода (мм),
- R _m	радиус кривой, по которому изгибают боковой путь с первоначальным радиусом R (мм),
- R _{fk}	радиус кривой наружной нити основного направления криволинейного стр. перевода (мм),
- R _{fb}	радиус кривой внутренней нити основного направления криволинейного стр. перевода (мм),
- R _{mk}	радиус кривой наружной нити бокового направления криволинейного стр. перевода (мм),
- R _{mb}	радиус кривой внутренней нити бокового направления криволинейного стр. перевода (мм),
- α	угол отклонения (°),
- α _f	угол отклонения (°) основного направления криволинейного стр. перевода,
- α _m	угол отклонения (°) бокового направления криволинейного стр. перевода,
- Н _{1,2} 3,4	Длины промежуточных рельсов (мм) согласно рисунку 1,
- Н _{1,2} 3,4'	Измененные длин промежуточных рельсов (мм) согласно рисунку 1,

Расчетные формулы значений, приведенных в таблицах, если в основное направление изгибают прямое направление базового стр. перевода:

$$\alpha = 2 * \arctg a/R$$

$$\alpha_f = 2 * \arctg a/R_f \quad (\text{выбрано на основании } R_f)$$

$$\alpha_m = \alpha + \alpha_f \quad (\text{для стр. перевода односторонней кривизны})$$

$$\alpha_m = \alpha - \alpha_f \quad (\text{для стр. перевода разносторонней кривизны})$$

$$R_m = a / [\arctg (\alpha_m/2)]$$

$$H_1 = H_2 = 2a$$

$$H_3 = (R + 752,5) * (\alpha * P / 180)$$

$$H_4 = (R - 752,5) * (\alpha * P / 180)$$

$$R_{fk} = R_f + 752,5$$

$$R_{fb} = R_f - 752,5$$

$$R_{mk} = R_m + 752,5$$

$$R_{mb} = R_m - 752,5$$

$$H_1' = R_{fk} * (\alpha_f * \Pi / 180) \quad (\text{для стр. перевода односторонней кривизны})$$

$$H_1' = R_{fb} * (\alpha_f * \Pi / 180) \quad (\text{для стр. перевода разносторонней кривизны})$$

$$H_2' = R_{fb} * (\alpha_f * \Pi / 180) \quad (\text{для стр. перевода односторонней кривизны})$$

$$H_2' = R_{fk} * (\alpha_f * \Pi / 180) \quad (\text{для стр. перевода разносторонней кривизны})$$

$$H_3' = R_{mk} * (\alpha_m * \Pi / 180)$$

$$H_3' = R_{mk} * (\alpha_m * \Pi / 180)$$

Если в основное направление изгибают боковое направление базового стр. перевода, вместо R_{fk} и R_{fb} ставится R_{mk} и R_{mb} , а вместо R_{mk} и R_{mb} ставится R_{fk} и R_{fb} .

3.1. Требования по изгибанию

Требования изгибания в отношении базового стр. перевода:

- базовый стр. перевод должен иметь криволинейный остриек касательного типа,
- боковое направление перевода должна иметь геометрию с проходной переводной кривой,
- простой прямой стр. перевод можно изгибать только от начала перевода до крестовины,
- конструкционное требование, чтобы стрелка базового стр. перевода не имела продольную стальную лафету.

Путем изгибания могут быть получены следующие типы криволинейных стр. переводов:

- Криволинейный разносторонний несимметричный стрелочный перевод (*рисунок 2.*)
- Криволинейный односторонний несимметричный стрелочный перевод (*рисунок 3.*)
- Криволинейный симметричный стрелочный перевод (*рисунок 4.*)

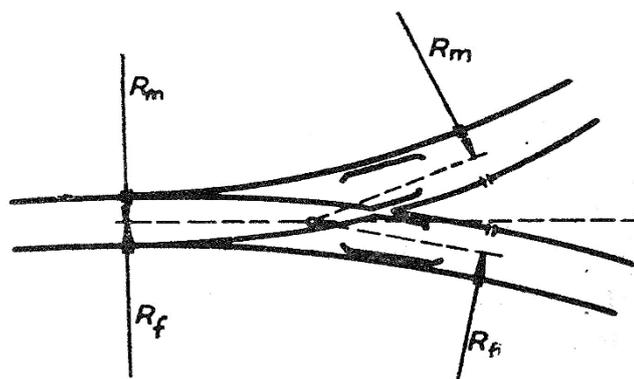


Рисунок 2.

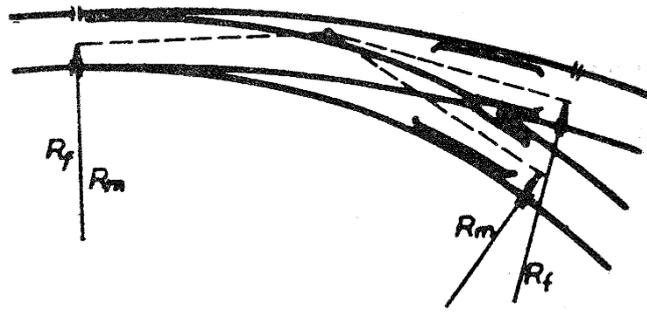


Рисунок 3.

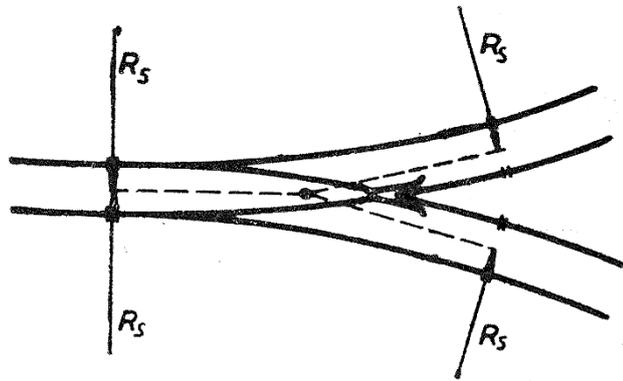


Рисунок 4

3.2. Изгибание стрелочных переводов в круговую кривую

3.2.1. Геометрия изгибания стр. переводов

Рисунок 5 служит для вывода формул изгибания.

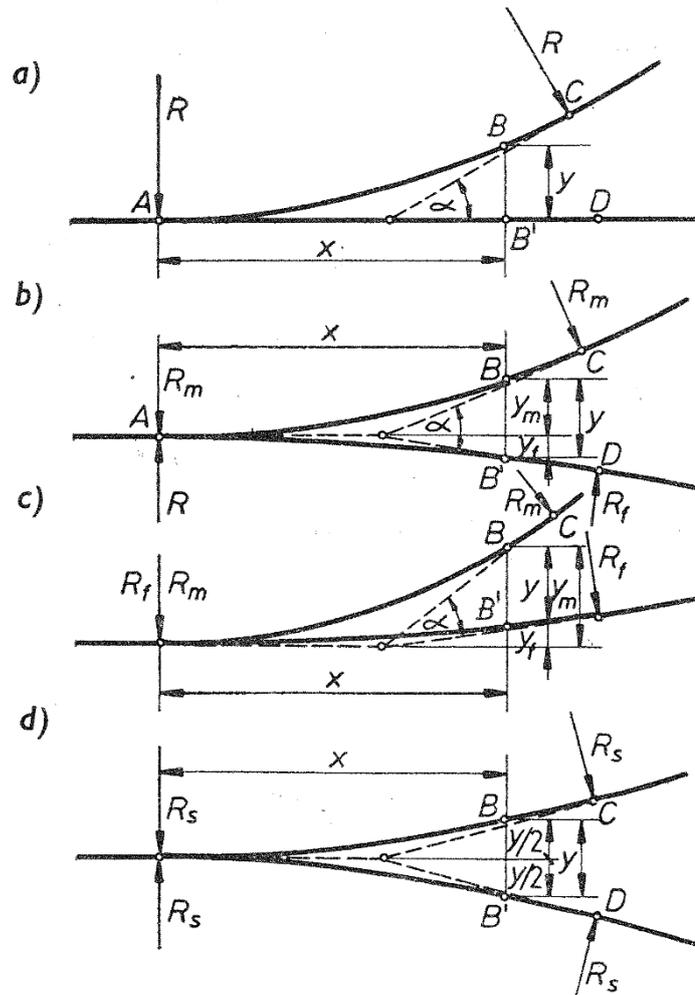


Рисунок 5

На рисунке 5. *a*) приведены линия осей и схема осей (с пунктиром) базового стр. перевода, с **проходной переводной кривой** с радиусом R .

Обозначения вывода формул:

- R	радиус переводной кривой базового стр. перевода (м),
- R_f	радиус кривой, по которому изгибают основное прямое направление стр. перевода (м),
- R_m	радиус кривой, по которому изгибают боковой путь с первоначальным радиусом R (м),
- R_s	Радиус переводной кривой симметричного стр. перевода (м)
- g	Первоначальная кривизна бокового пути базового стр. перевода (m^{-1})
- g_f	Кривизна после изгибания первоначально прямого главного направления базового стр. перевода (m^{-1})
- g_m	Кривизна бокового пути после изгибания (m^{-1})
- y_m	Ордината кривой с радиусом R_m бокового пути в точке x
- y_f	Ордината кривой с радиусом R_m прямого пути в точке x
- \square_m	Меняющийся радиус бокового пути (м)
- \square_f	Меняющийся радиус главного пути (м)

Точка **A** начала стр. перевода является начальной точкой системы координат. Координата y точки, лежащей на боковом направлении, с использованием приближенной формулы параболы будет:

$$y = x^2 / 2R$$

Рисунок 5. *b*) показывает изгибание базового стр. перевода в **разносторонний** несимметричный стр. перевод.

Основное прямое направление изгибают в кривую радиуса R_f , а вследствие конструктивных зависимостей радиус R первоначально кривого направления перевода меняется в радиус R_m , который пока неизвестен. Вследствие неизменных конструктивных размеров поперечные размеры стр. перевода не могут меняться, а значит значение $y = \mathbf{BB}'$, находящееся на расстоянии x от начала перевода должно остаться неизменной и после изгибания:

$$y = y_m + y_f$$

$$\text{так как: } y = x^2 / 2R \quad y_m = x^2 / 2R_m \quad y_f = x^2 / 2R_f$$

$$\text{поэтому: } x^2 / 2R = x^2 / 2R_m + x^2 / 2R_f$$

$$\text{отсюда: } 1 / R = 1 / R_m + 1 / R_f \quad \text{и} \quad g = g_m + g_f$$

$$\text{в конце: } R_m = R_f * R / R_f - R \quad \text{здесь } R_f > R$$

Рисунок 5. *c*) показывает изгибание базового стр. перевода в **односторонний** стр. перевод. Вывод по предыдущему примеру:

$$y = y_m - y_f$$

$$\text{так как: } x^2 / 2R = x^2 / 2R_m - x^2 / 2R_f$$

$$\text{отсюда: } 1 / R = 1 / R_m - 1 / R_f \quad \text{и} \quad g = g_m - g_f$$

$$\text{в конце: } R_m = R_f * R / R_f + R \quad \text{здесь } R > R_f$$

Рисунок 5. *d*) показывает изгибание базового стр. перевода в **симметричный** стр. перевод. Вывод по предыдущему примеру:

$$y_m = y_f = y_s = y/2$$

$$\text{так как: } x^2 / 2R_s = 1/2 (x^2 / 2R)$$

$$\text{отсюда: } 1 / R_s = 1 / 2R \quad \text{и} \quad g_s = g/2$$

$$\text{в конце: } R_s = 2R$$

Зависимости кривизны, полученные из вышеупомянутых выводов, не зависят от геометрии номинала, как правило, обще действительны. Соответственно, формулы

$$1 / R = 1 / R_m \pm 1 / R_f \quad \text{és} \quad g = g_m \pm g_f$$

Могут быть применены не только при изгибании в круговые кривые, но и в переходные кривые. Могут быть получены точные формулы кругового изгибания, так как после изгибания, при структурных зависимостях, неизменными остаются следующие характеристики базового стр. перевода:

- длина дуги I_h ,
- угол перевода α ,
- длина $2a$ первоначально прямого главного направления.

Длина касательной не может считаться неизменной. Исходя из неизменности длины дуги:

$$R_m * \arcsin \alpha_m = R * \arcsin \alpha$$

$$\alpha_m = \alpha - \alpha_f \quad (\text{для разностороннего стр. перевода})$$

$$\alpha_m = \alpha + \alpha_f \quad (\text{для одностороннего стр. перевода})$$

Поскольку длина $2a$ первоначально прямого главного направления остается неизменной:

$$\arcsin \alpha_f = 2a / R_f$$

Заменяя значение α_m :

$$R_m * \arcsin (\alpha \pm \alpha_f) = R * \arcsin \alpha \quad \text{и} \quad R_m = R * [\arcsin \alpha / (\arcsin \alpha \pm \alpha_f)]$$

Это соотношение можно описать также следующим образом:

$$R_m = I_h / [(I_h / R) \pm (2a / R_f)]$$

До сих пор речь шла о случае, когда первоначально прямое направление стр. перевода изгибали в соответствии с заданным радиусом R_f , чтобы поместить основное направление в эту кривую. Было видно, как изменяется радиус изначально кривого бокового направления в результате конструкционного ограничения.

Однако также возможно, что **целесообразно поместить первоначально криволинейное боковое направление с радиусом R в кривую с заданным радиусом R_m** . В этом случае необходимо проверить, что изначально прямое основное направление **в кривую какого радиуса изгибается** из-за конструкционной зависимости.

$R_f = R_m * R / R_m - R$ itt $R_m > R$ (для стр. перевода разносторонней кривизны)

$R_f = R_m * R / R - R_m$ itt $R > R_m$ (для стр. перевода односторонней кривизны)

Значения α_f и R_f после изгибания могут быть определены также следующими формулами:

$$\arcsin \alpha_m = (R / R_m) * \arcsin \alpha$$

$$\alpha_f = \alpha + \alpha_m \quad (\text{для стр. перевода разносторонней кривизны})$$

$$\alpha_f = \alpha - \alpha_m \quad (\text{для стр. перевода односторонней кривизны})$$

Зная α_f , на основе неизменности длины основного направления $2a$ получим:

$$R_f = 2a / \arcsin \alpha_f$$

Таким образом, из двух решений, что основное или боковое направление помещать в кривую, всегда необходимо выбрать то, при котором стр. перевод изгибается в меньшей степени.

3.2.2. Изгибание простого прямого стр. перевода (стр. перевод, у которого переводная кривая заканчивается перед крестовиной)

Рисунок 6 служит для вывода формул изгибания.

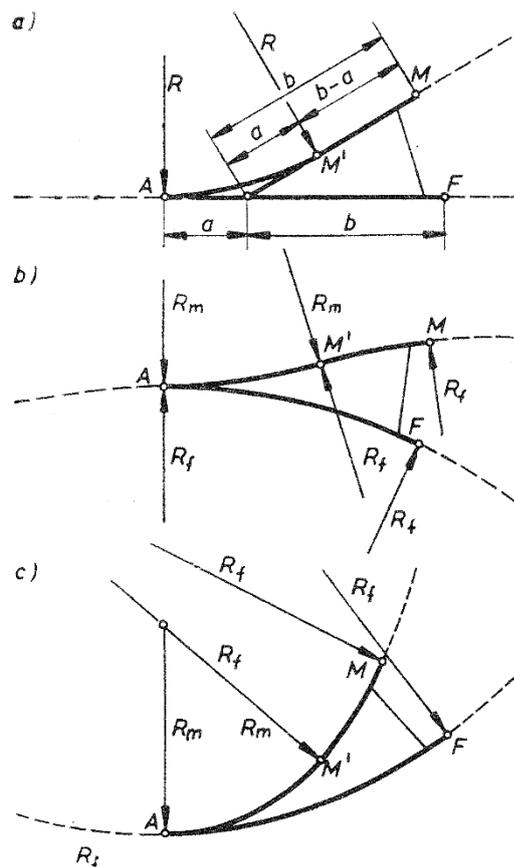


Рисунок 6.

На рисунке 6.a) изображена линия осей базового **обыкновенного прямого** стр. перевода. На участке AM' боковое направление лежит на кривой радиусом R_f , примыкающий участок $M'M$ уже прямой.

Главное прямое направление изгибают по рисунку 6.b) в кривую радиуса R_f , а конструктивное зависимость изгибала боковое направление перевода первоначальным радиусом R в кривую радиуса R_m на участке AM' . Для этого, как стр. перевода разносторонней кривизны действительно предыдущее изгибное соотношение:

$$R_m = R_f * R / R_f - R$$

Однако первоначально прямой участок $M'M$ из-за конструктивной зависимости изгибается в обратную кривую радиусом R_f , что не целесообразно.

По рисунку **6.с)** главное прямое направление изгибали так, чтобы получить стр. перевод односторонней кривизны. В это случае на участке AM' :

$$R_m = R_f * R / R_f + R$$

Однако на первоначально прямом $M'M$ участке образуется кривая односторонней кривизны радиуса R_f .

3.2.3. Ограничения по изгибанию стр. переводов

- Отклонение кривизны изогнутого стр. перевода не может превышать $\Delta g = 0,0005 \text{ (м}^{-1}\text{)}$ по сравнению с кривизной базового стр. перевода.
- При изгибании в стр. перевод разносторонней кривизны граничный случай – это симметричный стр. перевод, при котором оба направления перевода находятся на кривой одного и того же радиуса $R_s = 2R$, этот радиус $2R$ является максимальным радиусом перевода в этом стр. переводе. После симметричного стр. перевода дальнейшее изгибание в одну сторону уже не целесообразно, потому что в таком случае более правильно будет изгибать противоположно направленный стр. перевод в противоположную сторону. Более целесообразно изгибать правосторонний стр. перевод в левую сторону с необходимым радиусом.
- При изгибании в стр. перевод односторонней кривизны одним из ограничений является то, чтобы радиус бокового пути не был меньше, чем минимальный с точки зрения проезда подвижного состава радиус.
- Другим ограничением является уширение. Например, стр. перевод с радиусом 500 м нельзя изгибать так вовнутрь, чтобы радиус бокового направления была 190 м, потому что это требует уширения в 6 мм, что не позволяет конструкция стр. перевода.
- И, наконец, стр. перевод можно изгибать только в такой степени, чтобы возникающее изменение длины, было действительно компенсировано за счет изменения длины рельсовых нитей соединительного пути.

3.2.4. Изгибание пересечений

Прямые пересечения можно изгибать в кривую. Из-за неизменности конструктивных зависимостей (поперечных размеров) при изгибании оба направления пересечений размещаются на кривых одинакового направления и радиуса. **Рисунок 7.** Показывает изогнутое, криволинейное пересечение.

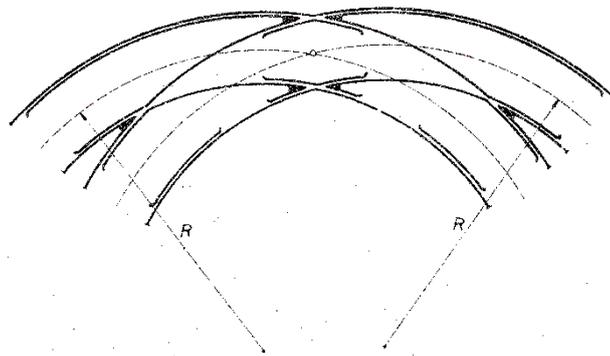


Рисунок 7.

– В случае изгибании пересечения, если изгибание происходит в радиус менее 750 м, контррельс простой крестовины рядом с внешней нитью должен быть удлинен до двойной крестовины, как показано на рисунке 7., чтобы избежать схода с рельса.

– Однако при таких обстоятельствах не разрешается изгибать пересечения в кривые с радиусом менее 500 м.

– При радиусах $R < 1000$ м двойные крестовины должны быть также изогнуты.

3.2.5. Изменение длины рельсовых нитей соединительного пути

Стрелочные переводы могут быть изогнуты только до такого предела, когда изменение длины из-за изгибания ещё может быть компенсировано изменением длины рельсовых нитей соединительного пути. Эти изменения длины должны быть известны, чтобы рельсовые нити соединительного пути можно было резать на заводе с учетом изменений длины.

Изменения длины рельсовых нитей ΔH могут быть рассчитаны путем вычитания длины рельсов базового перевода с соответствующей длины рельса изогнутого перевода. Символы, используемые в формулах:

- ΔH_{fb} и ΔH_{fk} : изменения длины внутренних и наружных рельсовых нитей изначально прямого основного направления (м),

- ΔH_{mb} и ΔH_{mk} : изменения длины внутренних и наружных рельсовых нитей бокового направления (м),

- Знак + означает удлинение, а знак – укорочение.

Формулы:

$$\text{arc } \alpha_f = 2a / R_f \quad \text{и} \quad \text{arc } \alpha_m = I_h / R_m$$

$$\Delta H_{fb} = (R_f - t/2) * \text{arc } \alpha_f - 2a$$

$$\Delta H_{fk} = (R_f + t/2) * \text{arc } \alpha_f - 2a$$

$$\Delta H_{mb} = (R_m - t/2) * \text{arc } \alpha_m - (R - t/2) * \text{arc } \alpha$$

$$\Delta H_{mk} = (R_m + t/2) * \text{arc } \alpha_m - (R + t/2) * \text{arc } \alpha$$

3.3. Разбивка криволинейных стрелочных переводов

Перед разбивкой криволинейных стрелочных переводов сначала надо разбить ту кривую, в которую планируется укладывать стрелочный перевод. Здесь нужно следить не только за тем, чтобы стрелы прогиба находились в пределах требуемой погрешности, но и на то, чтобы вся кривая геометрически попала на проектное место. Поэтому целесообразно проводить разбивку кривой, опираясь на базовой линии, известной в системе координат проекта.

При разбивке круговых криволинейных стрелочных переводов необходимо сначала точно разбить ту круговую кривую, в которую планируется укладывать стрелочный перевод. После этого на этой круговой кривой следует указывать начальную точку стрелочного перевода **A** и касательную круговой кривой в этой точке.

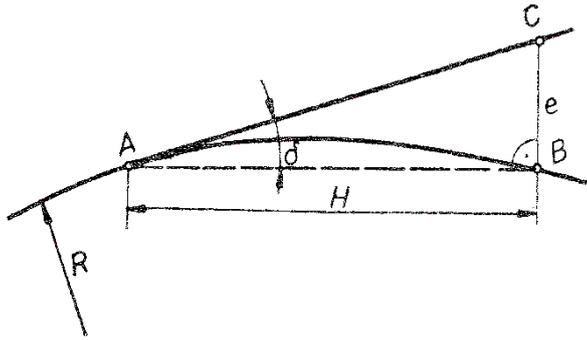


Рисунок 8.

Проще всего это выполняется согласно *Рисунку 8*. так, что указывается ещё одна, удаленная точка **В** кривой и вычисляется длина хорды $AB = H$. В этом случае:

$$\sin \delta = H / 2R \quad \text{és} \quad e = H * \operatorname{tg} \delta$$

Отмеряя расстояние e перпендикулярно в точке **В** можно получить другую точку касательной (**С**). Более правильно выполнить разбивку, измеряя длину H и угол δ . Любые дальнейшие измерения или задания выполняются с использованием касательной **А-С**. Исходными данными являются радиус R_f главного и R_m бокового пути изогнутого стрелочного перевода и конечный угол касательной базового стрелочного перевода λ . Существует также потребность в углах α_f или α_m .

Зная их, должны быть определены координаты конечных точек обоих направлений **F** и **М**:

$$x_F = R_f * \sin \alpha_f \quad \text{и} \quad y_F = R_f * (1 - \cos \alpha_f)$$

$$x_M = R_m * \sin \alpha_m \quad \text{и} \quad y_M = R_m * (1 - \cos \alpha_m)$$

Затем в обоих направлениях перевода от касательных нужно разбить координаты промежуточных точек, которые могут быть рассчитаны, как описано выше. Тем самым выполнена разбивка осей криволинейного перевода. Таким образом, отдельные части перевода могут быть закреплены после замера в обе стороны половины ширины колеи $t/2$. Как правило, необходимо ещё определить точное положение математического центра крестовины. Его координаты x_0, y_0 могут быть рассчитаны на основании *рисунков 9 и 10*.

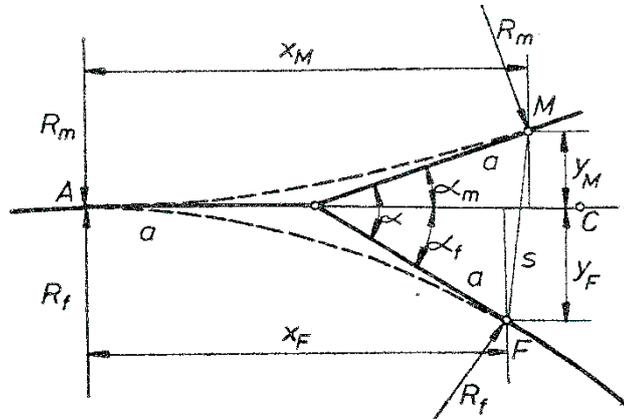


Рисунок 9.

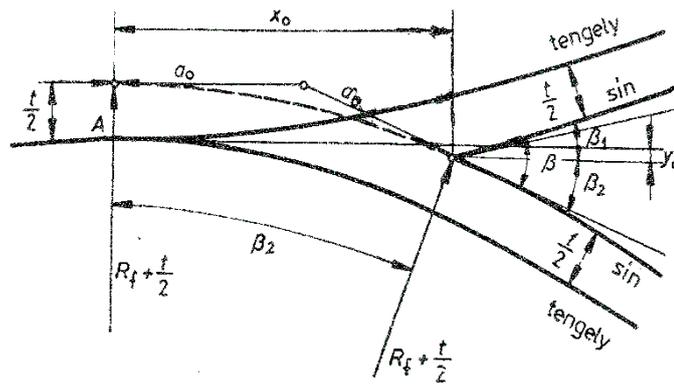


Рисунок 10.

(здесь: tengely=ось ; sín=рельс)

Необходимо знать угол β базового стрелочного перевода, а также углы β_f и β_m изогнутого стрелочного перевода. Согласно **Рисунку 10.**:

$$t = (R_k + t/2) * (1 - \cos \beta) = 2 * (R_k + t/2) * \sin^2 \beta/2$$

отсюда:

$$\sin \beta/2 = \sqrt{[t / 2 * (R_k + t/2)]} = \sqrt{[t / 2R_k + t]}$$

где: R_k – радиус

Зная угол β , угол частичного отклонения β_m подобно вышеприведенным может быть определено с учетом того факта, что длина круговой кривой бокового пути до математического центра крестовины не изменяется в результате изгиба. Итак:

$$R_m * \text{arc } \beta_m = \text{arc } \beta * R_k$$

и

$$\text{arc } \beta_m = (R_k / R_m) \text{arc } \beta$$

потом:

$$\beta_f = \beta - \beta_m \quad (\text{для стр. перевода разносторонней кривизны})$$

$$\beta_m = \beta_f - \beta \quad (\text{для стр. перевода односторонней кривизны})$$

Зная углы отклонения получим:

$$x_0 = (R_m + t/2) * \sin \beta_m$$

$$y_0 = (R_m + t/2) * (1 - \cos \beta_m) = (R_m + t/2) * \sin^2 \beta_m/2$$

Часть железных дорог, чтобы упростить работу проектировщиков и строителей, предоставляет таблицы для подходящих типов стрелочных переводов, как базовых переводов комбинации радиусов криволинейных стрелочных переводов, которые могут быть сформированы из этих базовых. На МАВ эти таблицы содержат координаты всех данных, необходимых для проектирования, производства, разбивки и укладки в соответствии с схемами разбивки и закрепления.

Такие схемы стр. перевода разносторонней кривизны показывает **рисунок 11**, а схемы стр. перевода односторонней кривизны **рисунок 12**. Схемы состоят из частей, обозначенных **a)** и **b)**. На схемах **a)** показан общий случай, когда в кривую заданного радиуса изгибают первоначально прямое главное направление базового стр. перевода, а на рис. **b)** первоначально кривое боковое направление помещается н кривой.

Разбивка также, как и в предыдущем случае, начинается с разбивкой кривой, в которую необходимо изгибать основное и боковое направление стр. перевода. Затем следует выбор точки **A** стр. перевода на круговой кривой, а затем разбивка касательной в этой точке, как описано выше. Эта касательная будет осью абсцисс разбивки, а точка **A** является начальной точкой оси.

Таблицы в каждом случае содержат:

- Для целей проектирования углы α , α_f , α_m , радиусы R_k , R_f и R_m .

Для разбивки:

- абсциссу x_1 и ординаты m_1 , f_1 , стыков в конце стрелки,
- координаты x_2 и m_2 , f_2 , лежащих в конце соединительного пути стыков,
- координаты x_3 , m_3 , f_3 лежащих в конце крестовинной части стыков,
- координаты x_4 , x_5 , и f_v , m_v двух концов стрелочного перевода,
- изменения длин рельсов из-за изгиба (h_1 , h_2 , h_3 , h_4) для производства.

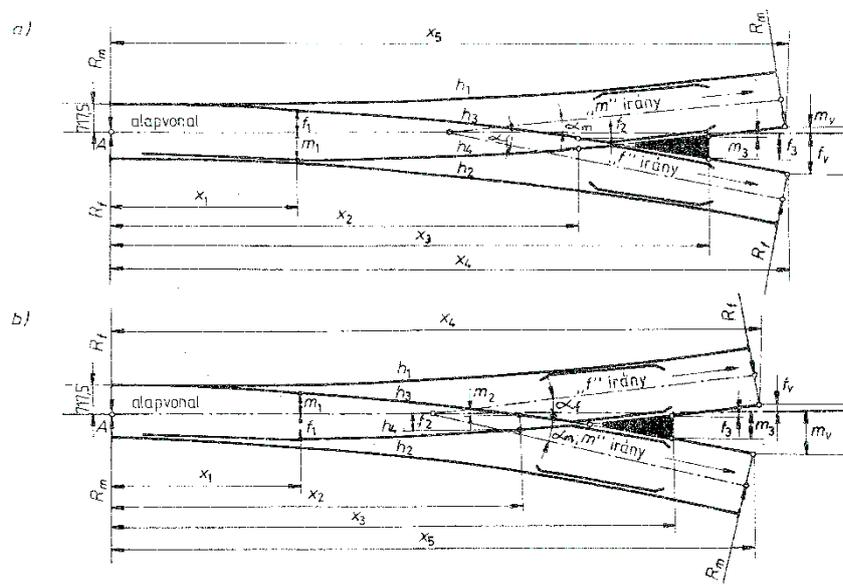


Рисунок 11.

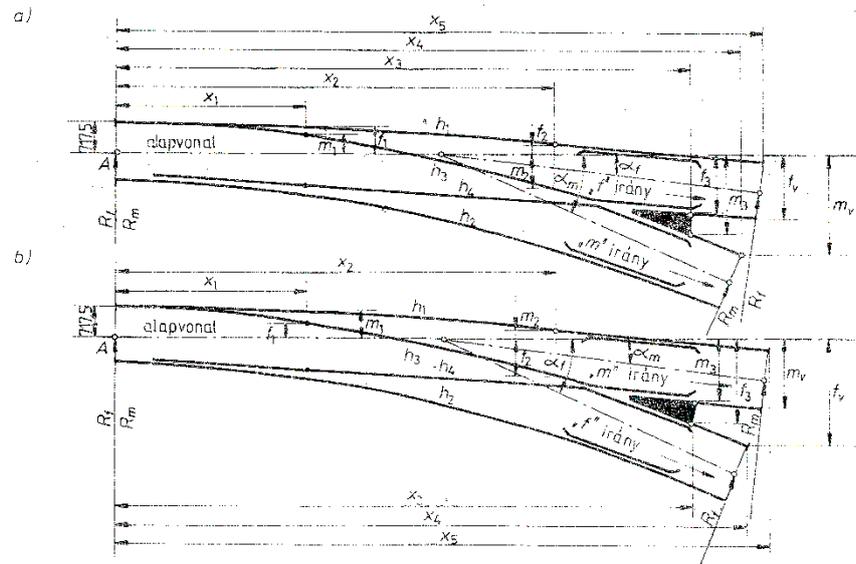


Рисунок 12.

4. Конструкционные вопросы стрелочного перевода, связанные с изгибанием

Помимо геометрии изгиба стрелочных переводов и пересечений, а также их конструкционным решением необходимо изучить, как изгиб обсуждаемых конструкций выполняется или не вызывает, или не требует ли какой-либо конструкционное изменение.

В соответствии с общей практикой железных дорог изгиб не проводится на месте, а на заводе, где он легче и точнее может быть выполнен компетентными специалистами, с необходимым оборудованием, на основе имеющихся проектов. Соответственно, на строительную площадку прибывают уже достаточно изогнутые рамные и остряковые рельсы, крестовины и соединительные рельсы, отрезанные до необходимой длины.

Стрелку изгибают на заводе на основании стрел изгиба, относящихся к заданному радиусу рабочей кромки рамных и остряковых рельсов. Базовый стр. перевод с первоначально прямым главным направлением изготавливают на заводе без изменения, в том числе и рамные и остряковые рельсы. Изгиб выполняется впоследствии во всех частях стр. перевод в соответствии с проектом изгиба.

Что касается сгибания стрелки, возникает вопрос, не искажается ли первоначально тщательно изготовленное строгание остряка, и обеспечено ли безупречное прилегание остряка к рамному рельсу и после изгиба, равно как это было у базового стр. перевода? Ответ такой, что изгиб выполняется, оставляя поперечные размеры неизменными, поэтому прилегание остряка к рамному рельсу и после окончания изгиба остается неизменной.

Нет трудностей в изгибе соединительной части, но изменения длины сквозных рельсов полностью изогнутого стр. перевода компенсируются на этом участке, укорачивая длину каждого соединительного рельса.

Нет никаких трудностей в изгибе соединительных рельсов и контррельсов, а также рельсов, примыкающих к концу крестовины. Изгибать саму крестовину не так

просто. В принципе, эта конструкция может иметь три конфигурации: сборно-рельсовая, с литым сердечником, цельнолитая крестовина. Эта последняя из-за жесткой большой массы не может изгибаться. МАВ долгое время не покупал цельнолитые крестовины, но сегодня отлитые из высокопрочной марганцовистой стали уже распространились на венгерской железнодорожной сети.

- стрелочные переводы с цельнолитой крестовиной также могут быть изогнуты до ранее указанного предела разницы кривизны $\Delta g = +0,0005 \text{ м}^{-1}$ (опыт DB). На этой основе, главное направление прямого стрелочного перевода можно изгибать в радиус $R=1/0,0005 \text{ м}^{-1}=2000 \text{ м}$ и выше, без всяких заводских изменений при монтаже на месте.
- сборно-рельсовые крестовины также могут быть изогнуты без затруднений.
- крестовины с литым сердечником также жесткие, но можно их незначительно изгибать. Поскольку они значительно короче крестовина с литым сердечником и цельнолитых крестовин, они тоже в незначительной степени являются ограничением при изгибе.
- Уширение также является конструкционным ограничением, которое может ограничить изгиб стрелочных переводов, потому что конструкция стрелки не позволяет изменить исходную ширину колеи. Соответственно, стрелочные переводы могут изгибаться только до тех пор, пока полученный меньший радиус кривой не потребует уширения. Уширение на МАВ применяют только при радиусе менее $R=300\text{м}$, поэтому это значение радиуса должно быть принято за граничное при изгибе стрелочных переводов, в которых уширение первоначально не применялось.

5. Съезды между двумя путями с применением криволинейных стрелочных переводов

5.1. Сокращенный съезд между двумя путями, лежащими на круговых кривых с применением криволинейных стрелочных переводов разносторонней и односторонней кривизны

5.1.1. Соединение обратными кривыми без прямой ставки

Соединение двух кривых показано на *рисунке 13. а)*, а ответвление в другую кривую показано на *рисунке 13. б)*. Известны радиусы R_k, R_b, r_1, r_2 , вычисляются углы α, β, γ и длины касательных.

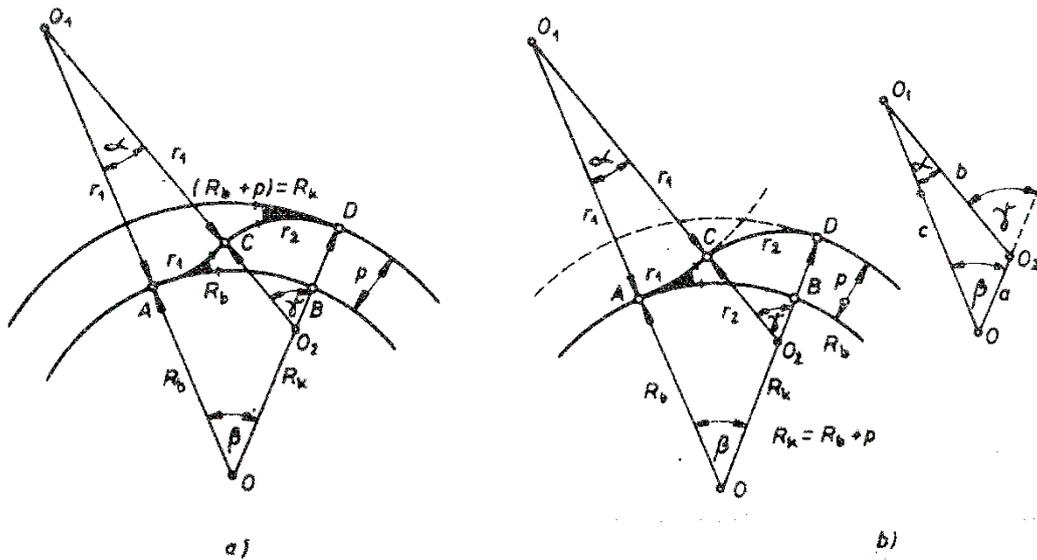


Рисунок 13.

Формулы расчета из общего треугольника OO_1O_2 следующие:

$$OO_2 = a = R_k - r_2 \quad \text{и} \quad O_1O_2 = b = r_1 + r_2 \quad \text{а также} \quad OO_1 = c = r_1 + R_b$$

$$s = \frac{1}{2} * (a + b + c)$$

$$\operatorname{tg} \alpha/2 = \sqrt{[(s - b) * (s - c) / s * (s - a)]} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \beta/2 = \sqrt{[(s - a) * (s - c) / s * (s - b)]}$$

$$\gamma = \alpha + \beta$$

Если концентрический путь, который должен быть подключен, находится внутри кривой, тогда соединение начинается со стрелочным переводом односторонней кривизны, но формулы расчета не изменяются. Аналогично, формулы не изменяются, когда соединение двух путей противоположное, значит соединение начинается в наружном пути со стрелочным переводом односторонней кривизны с. В этом случае появляются зеркальные изображения рисунков.

5.1.2. Соединение обратными кривыми с прямой вставкой

Если на соединении хотят двигаться с большей скоростью, между обратными кривыми должна быть установлена прямая ставка или промежуточная кривая. Прямая ставка показана на *рисунке 14*. Исходными данными являются R_k , T_b , r_1 , r_2 и α . Прямая ставка e_{\min} не должна быть меньше требуемой длины.

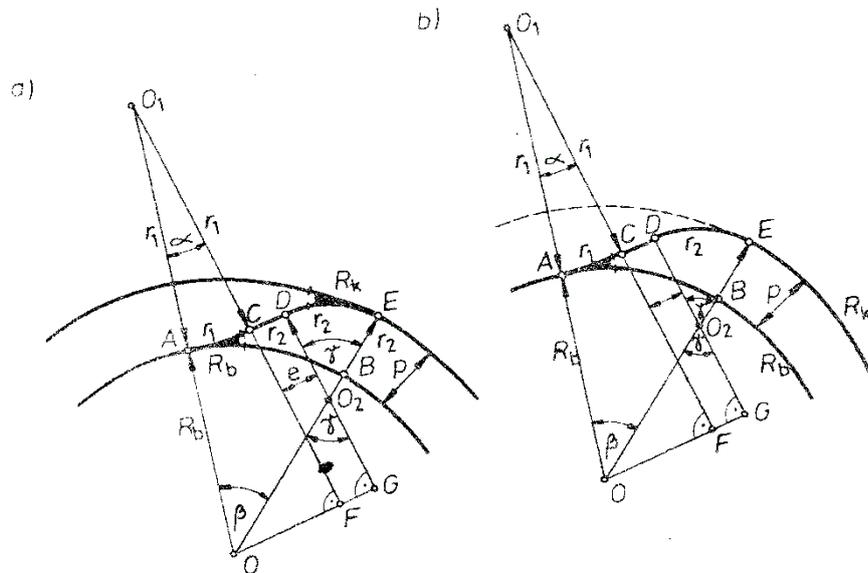


Рисунок 14

Формулы расчета из общего треугольника OO_1O_2 следующие:

$$OO_1 = r_1 + R_b$$

$$O_1F = (r_1 + R_b) * \cos \alpha \quad \text{és} \quad OF = (r_1 + R_b) * \sin \alpha$$

$$OO_2 = R_k - r_2 \quad \text{és} \quad O_2G = DG - r_2 = O_1F - r_1 - r_2$$

$$\cos g = O_2G / OO_2 \quad \text{és} \quad OG = OO_2 * \sin \gamma$$

$$e = OG - OF \quad \text{ahol} \quad e > e_{\min}$$

$$\beta = \gamma - \alpha$$

Зная углы, можно рассчитать длину касательных, которую можно использовать для разбивки соединения.

5.1.3. Соединение обратными кривыми с промежуточной кривой

Применение промежуточной кривой показано на *рисунке 15*. Кривизна кривой радиуса R_k представляет собой среднюю кривую радиуса кривых r_1 и r_2 . Известными отправными точками являются радиусы и угол α , что совпадает с углом перевода. Вычисляются углы β , γ и δ , а также длины касательных с использованием этих углов.

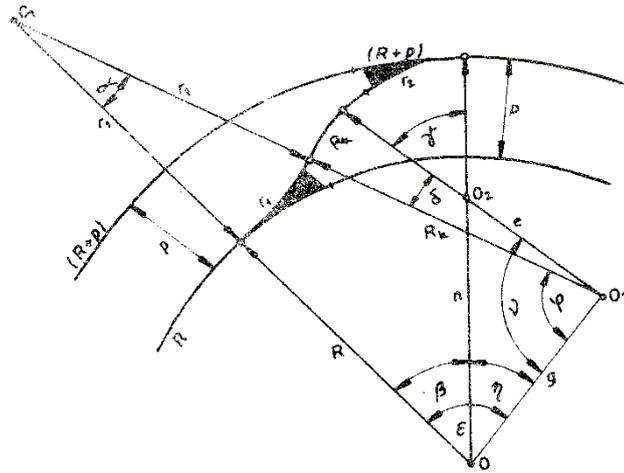


Рисунок 15

Формулы расчета из общего треугольника OO_1O_3 и OO_2O_3 следующие:

$$g = OO_3 = \sqrt{[(R + r_1)^2 + (R_k + r_1)^2 - 2(R + r_1)(R_k + r_1) \cos \alpha]}$$

$$\sin \varepsilon = [(R_k + r_1) / g] * \sin \alpha \quad \text{и} \quad \sin \phi = [(R + r_1) / g] * \sin \alpha$$

$$g = OO_3 \quad e = O_2O_3 = R_k - r_2 \quad n = OO_2 = (R + p) - r_2 \quad s = \frac{1}{2}(g + e + n)$$

$$\operatorname{tg} \gamma/2 = \sqrt{[(s - n) * (s - e) / s * (s - g)]} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \eta/2 = \sqrt{[(s - n) * (s - g) / s *$$

$$(s - e)]$$

$$v = 180^\circ - (\gamma + \eta) \quad \text{és} \quad \beta = \varepsilon - \eta \quad \text{а также} \quad \delta = v - \phi$$

5.2. Съезд между двумя путями, лежащими на круговых кривых с применением криволинейных стрелочных переходов односторонней кривизны

5.2.1. Соединение без промежуточной кривой

Съезд показан на *рисунке 16*. Известна каждая сторона общего треугольника, образованного тремя центрами кривых, и можно вычислить углы α , β , и γ .

$$a = OO_2 = R_k - r_2 \quad b = O_1O_2 = r_1 - r_2 \quad c = OO_1 = r_1 - R_b$$

$$s = \frac{1}{2} * (a + b + c)$$

$$\operatorname{tg} \alpha/2 = \sqrt{[(s - b) * (s - c) / s * (s - a)]} \quad \text{és} \quad \operatorname{tg} \gamma/2 = \sqrt{[(s - a) * (s - b) / s *$$

$$(s - c)]$$

$$\beta = \alpha + \gamma$$

Зная углы, можно рассчитать длины касательных, и разбивку съезда можно выполнить.

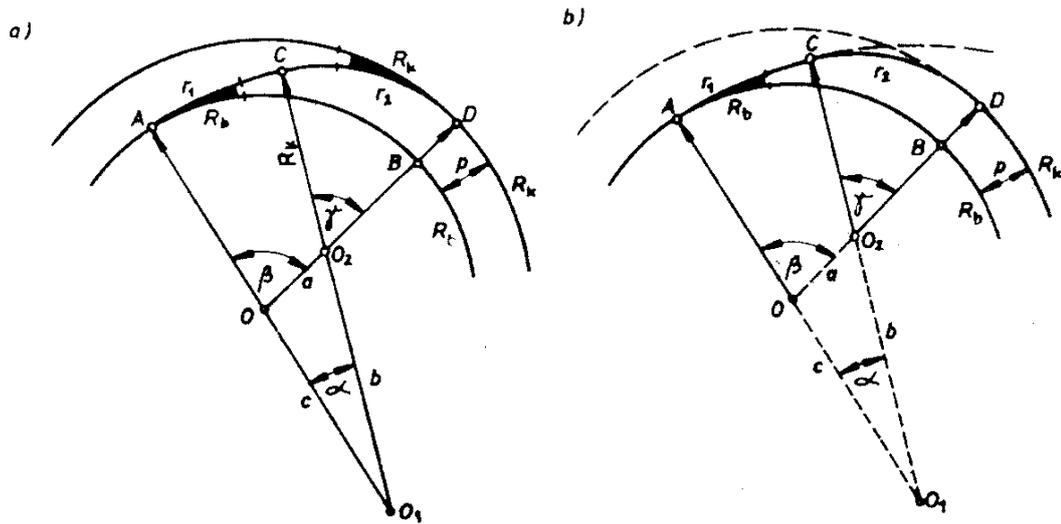


Рисунок 16

5.2.2. Соединение с промежуточной кривой

Съезд показан на *рисунке 17*. Известны радиусы круговых кривых и угол α , обычно принимаемый как центральный угол одного из направлений первого стрелочного перевода. Рассчитываются углы α , β , γ и δ , а также длины касательных с использованием этих углов.

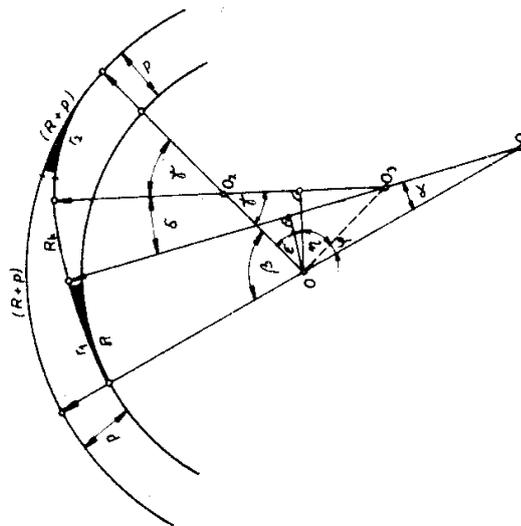


Рисунок 17

Формулы расчета из общего треугольника OO_1O_3 и OO_2O_3 следующие:

$$OO_3 = \sqrt{[(r_1 - R)^2 + (r_1 - R_k)^2 - 2(r_1 - R)(r_1 - R_k) \cos \alpha]}$$

$$\sin \alpha = (O_1O_3 / OO_3) \quad \sin \alpha = (r_1 - R_k / OO_3) \quad \sin \alpha$$

$$a = OO_2 = (R + p) - r_2 \quad b = O_2O_3 = R_k - r_2 \quad c = OO_3 \quad s = \frac{1}{2}(a + b + c)$$

$$\operatorname{tg} \gamma/2 = \sqrt{[(s - a) * (s - b) / s * (s - c)]} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} (\epsilon + \eta) / 2 = \sqrt{[(s - a) * (s - c) / s * (s - b)]}$$

$$\beta = 180^\circ - (\phi + \epsilon + \eta) \quad \text{и} \quad \delta = \beta - (\alpha + \gamma)$$

5.3. Съезды между неконцентрическими круговыми кривыми

Такие съезды обычно требуются перед станциями или на территории станций в местах, где необходимо устроить съезд на переходном участке от расстояния осей путей на перегоне к большому расстоянию осей станционных путей.

5.3.1. Съезды с применением стрелочных переводов односторонней кривизны

Съезд показан на *рисунке 18*. Известны точки IE_1 и IE_2 , их расстояние (b), расстояние между осями путей на перегоне (p), данные криволинейных стрелочных переводов, начало стрелочных переводов (E_1, E_2) и угол α . Вычисляются углы β, γ и δ .

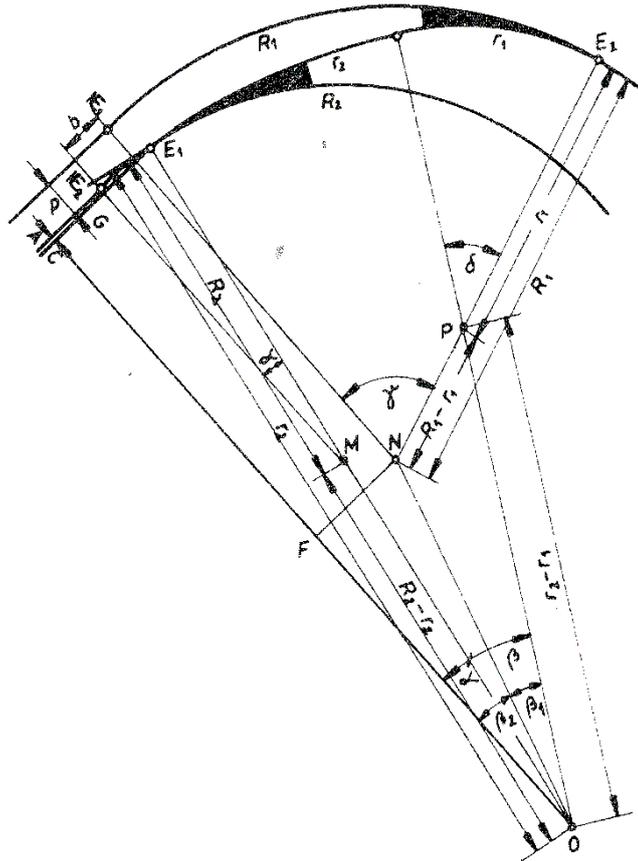


Рисунок 18.

Формулы расчета из прямоугольного треугольника E_1GM , E_1CO , FNO и общего треугольника PON следующие:

$$\begin{aligned}
 GE_1 &= R_2 * \sin \alpha & GM &= R_2 * \cos \alpha \\
 CE_1 &= r_2 * \sin \alpha & CO &= r_2 * \cos \alpha \\
 CA &= R_2 - GM & CG &= CE_1 - GE_1 & FN &= CG + b \\
 FO &= CO - [R_1 - (CA + p)] \\
 \operatorname{tg} \beta_2 &= FN / FO & NO &= FO / \cos \beta_2 \\
 \operatorname{tg} \beta_1/2 &= \sqrt{[(s - (r_2 - r_1)) * (s - NO)] / s * (s - (R_1 - r_1))]} \\
 \operatorname{tg} \delta/2 &= \sqrt{[(s - (R_1 - r_1)) * (s - (r_2 - r_1))] / s * (s - NO)}
 \end{aligned}$$

$$\gamma = \beta_1 + \beta_2 + \delta$$

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 - \alpha$$

5.3.2. Съезды с применением стрелочных переводов односторонней и разносторонней кривизны без прямой ставки

Съезд показан на *рисунке 19*. Известны расстояния p и b , данные кривых, начало стрелочного перевода разносторонней кривизны и угол α .

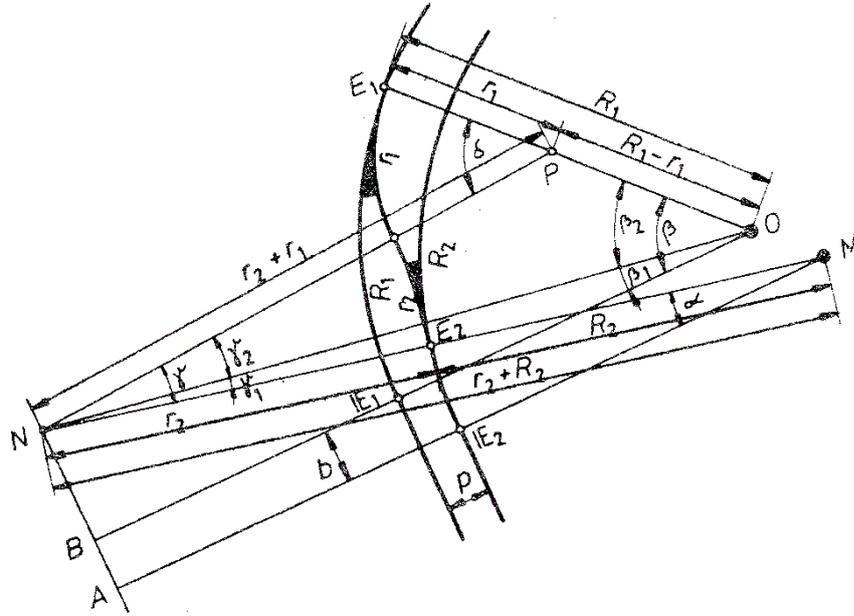


Рисунок 19

Формулы расчета из прямоугольного треугольника NAM , NBO и общего треугольника NOP следующие:

$$NM = r_2 + R_2$$

$$AN = (r_2 + R_2) * \sin \alpha \quad \text{и} \quad AM = (r_2 + R_2) * \cos \alpha$$

$$BN = AN - b \quad \text{и} \quad BO = AM - (R_2 + p + R_1)$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = BN / BO \quad \text{и} \quad NO = BO / \cos \beta_1 \quad \text{или} \quad NO = \sqrt{[BN^2 + BO^2]}$$

$$\gamma = \alpha - \beta_1$$

$$\operatorname{tg} \beta_2/2 = \sqrt{[(s - (R_1 - r_1)) * (s - NO) / s * (s - (r_1 + r_2))]}$$

$$\operatorname{tg} \gamma_2/2 = \sqrt{[(s - NO) * (s - (r_1 + r_2)) / s * (s - R_1 + r_1)]}$$

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 \quad \text{и} \quad \gamma = \gamma_1 + \gamma_2 \quad \text{а также} \quad \delta = \beta_2 + \gamma_2$$

5.3.3. Съезды с применением стрелочных переводов односторонней и разносторонней кривизны с прямой вставкой

Съезд показан на *рисунке 20*. Известны обе дуги, их начальная точка, начало стрелочного перевода разносторонней кривизны и углы α и γ . Вычисляются углы β и δ , а также длина прямой вставки AB .

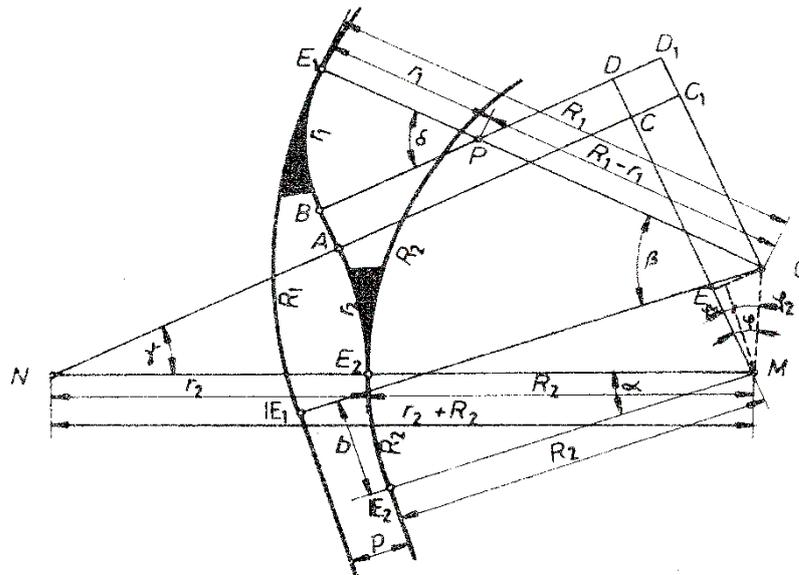


Рисунок 20

Формулы расчета прямого треугольника NMC и POD_1 следующие:

$$NM = r_2 + R_2$$

$$MC = (r_2 + R_2) * \sin \gamma \quad \text{и} \quad NC = (r_2 + R_2) * \cos \gamma$$

$$\text{а также} \quad AC = NC - r_2$$

$$\operatorname{tg} \phi = [R_1 - (R_2 + p)] / b \quad \text{и} \quad MO = \sqrt{[b^2 + (R_1 - (R_2 + p))^2]}$$

$$\phi_1 = \gamma - \alpha \quad \text{и} \quad \phi_2 = \phi + \phi_1$$

$$EM = MO * \cos \phi_2 \quad \text{и} \quad EO = CC_1 = DD_1 = MO * \sin \phi_2$$

$$PD_1 = AC + EO - r_1$$

$$\cos \delta = PD_1 / (R_1 - r_1) \quad \text{и} \quad D_1O = \sin \delta * (R_1 - r_1) \quad \text{а также} \quad \beta = \delta + \phi_1$$

$$AB = CD = D_1O + EM - MC$$

Если на основании вычислений длина или позиция прямой вставки оказывается неблагоприятной, тогда предварительно принятый угол γ должен быть выбран по-другому, и расчет должен быть повторен.

6. Съезды с возвышением, с применением криволинейных стрелочных переводов

Из вышесказанного видно, что в съездах между криволинейными путями и устроенных с применением криволинейных стрелочных переводов, если основное направление находится на кривой с возвышением, то в стрелочном переводе разносторонней кривизны образуется отрицательное возвышение из-за ограничений от длинных брусьев. Из этого же ограничения следует, что все рельсы стрелочных переводов односторонней и разносторонней кривизны находятся на разном уровне, так что продольный профиль каждой из рельсовых нитей таких съездов должно быть изготовлено отдельно, и должно быть допущено несколько облегчений, отличных от общих руководящих принципов проектирования.

Продольный профиль прямых рельсовых нитей обычно проектирую в масштабе 1: 500 в продольном направлении и 1: 5 по высоте. Этот подъем пути рассматривается, как базовый подъем и представлено горизонтальной линией, потом по отношению к этой линии изображают дальнейшие подъемы. Таким образом, подъем e_1 на продольном профиле на самом деле означает $e_1 + e$.

При проектировании отводов следует учитывать, что в начале стрелочного перевода находящиеся на одной стороне рельсовые нити главного и бокового направления встречаются в одной точке, однако в конце перевода существует разница по высоте h (**рисунок 21.**), значение которой равно:

$$h = y * m/t = y * m/1500$$

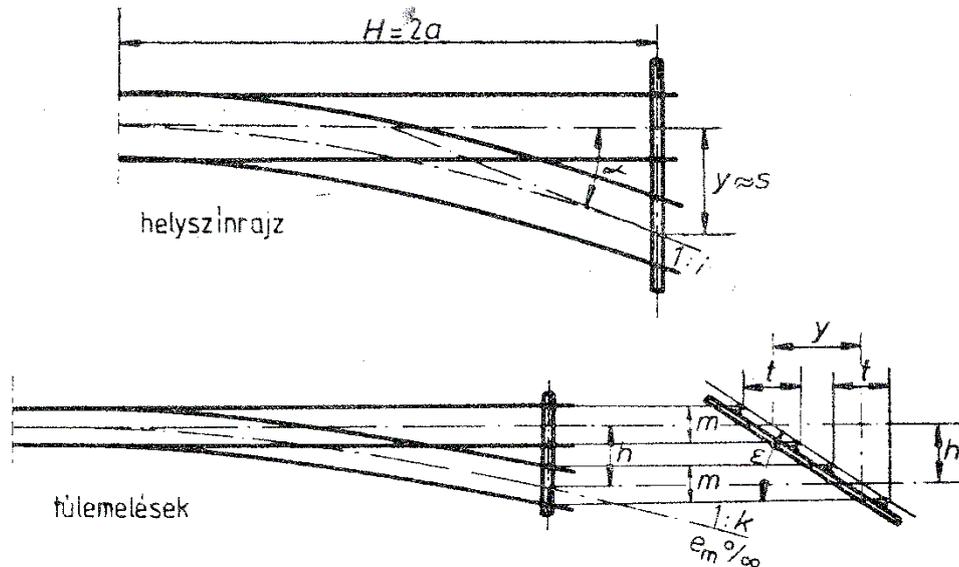


Рисунок 21

Этот рисунок может быть применен в равной степени к стрелочным переводам односторонней и разносторонней кривизны, поскольку кривое направление может быть изображено в выпрямленном виде и дает достаточную точность, если наклонные расстояния заменяются их проекцией. Верхняя часть рисунка показывает план стрелочного перевода, а нижняя часть показывает вид сбоку. Из последнего рисунка видно, что, вследствие упомянутого ограничения, кривая боковой ветки относительно прямой ветки находится в подъеме или спуске $e_m\%$, что добавляется или вычитается из спуска пути, согласно вышесказанному.

$e_m\%$ можно выразить в наклоне 1: k. Этот наклон состоит из конечного наклона 1: $i = \operatorname{tg} \alpha$ стрелочного перевода, полученного вследствие возвышения m наклона $\operatorname{tg} \varepsilon = m/t$:

$$1/k = \operatorname{tg} \alpha * \operatorname{tg} \varepsilon = 1/i * m/t = m / (1500 * i)$$

$$e_m\% = 1000 / k = m / (1,5 * i)$$

Из-за принужденного ограничения по высоте двух веток криволинейных стрелочных переводов, лежащих в возвышении, в криволинейных съездах обычно необходимо частично изменить исходное положение пути по высоте. На этом изменяемом участке необходимо запроектировать положение по высоте каждой рельсовой нити отдельно. **Рисунок 22** показывает схему съезда, запроектированного

между круговыми кривыми с возвышением. Исходное положение concentрических путей изображено на сечении a-a **Рисунка 22.с).** Это положение нужно изменить по длине съезда согласно сечению b-b, а потом отвести в исходное положение согласно **Рисунку 22. б).** Изменение условий высоты также может привести к расширению основной площадки насыпи.

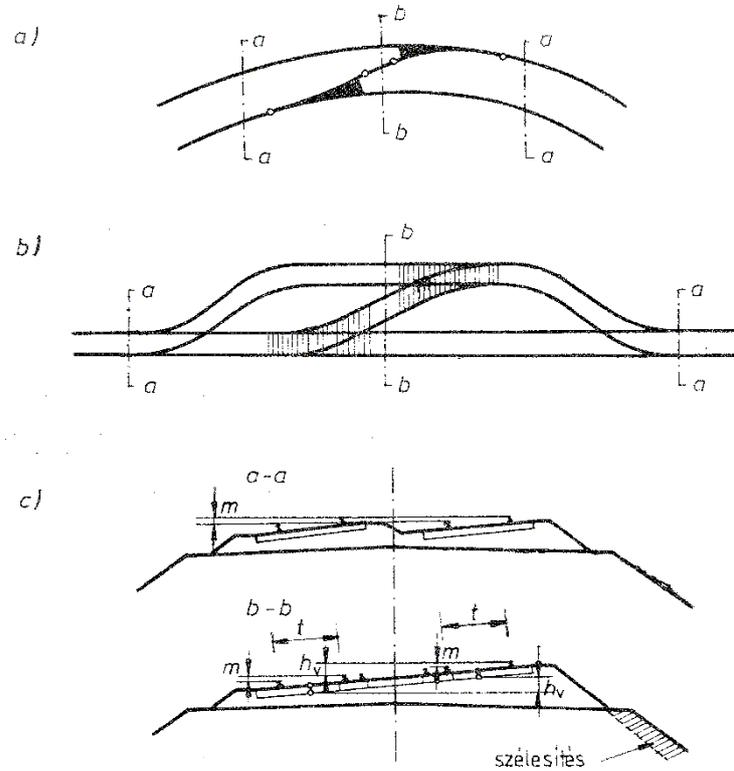


Рисунок 22