План трассы ЖД пути — проекция трассы на горизонтальную плоскость[1].

План состоит из участков[2], отличающихся кривизной:

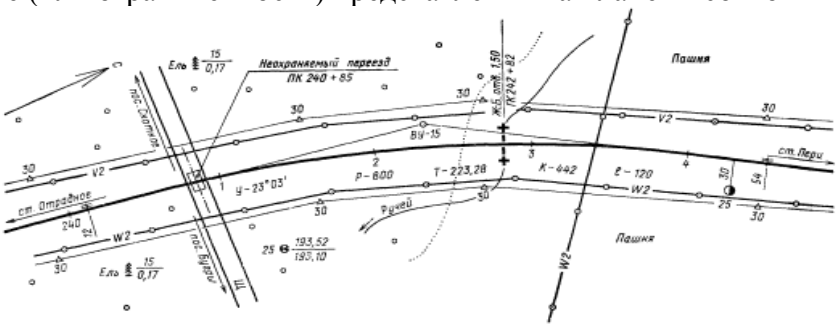
- Прямых;
- Кривых;

Главное достоинство плана- наглядность:

- изменения направления трассы
- её расположения относительно объектов окружения.

Существенным недостатком плана- являются:

- невозможность прямого измерения длины кривых,
- отсутствие (или ограниченность) представления на плане высотной информации.



Положение оси пути в плане- используется из-за простоты её нахождения геодезическими методами[3]. Поскольку ось пути- так-же является виртуальной линией, и никак не зафиксирована на рельсо-шпальной решетке- измерения производят по одному из рельсов[4]:

- В прямой однопутного участка- правой рельсовой нити по счету километров;
- В прямой многопутного участка- по нити, обращенной в узкое междупутье;
- В кривой- по наружной рельсовой нити;

Затем полученные результаты пересчитывая к середине колеи[5].

Прямые и их характеристики

Прямые- служат для преодоления трассой расстояния между станциями, а на станционных и прочих путях- для выполнения поездной работы.
Прямой участок имеет две основных характеристики:

1. направление, выражаемое через румб или дирекционный угол;
2. протяженность;

Доля общей протяженности прямых участков- иногда используется для оценки качества проектирования трассы ЖД линии.

Кривые, их виды и характеристики

Кривые служат для изменения направления трассы ЖД пути.
Они классифицируются в зависимости от назначения.

Круговые

Круговые кривые- служат для изменения направления трассы.
Имеют круговое очертание, описываемое уравнением вида:

---

1 Или поверхность отсчетного эллипсоида, если речь идёт об участке достаточно большой протяженности.
2 На сегодняшний день термин «элементы плана»- считается синонимом
3 Теодолитная или тахеометрическая съёмка.
4 т.н. «рихтовочной нити», по которой выставляют положение пути в плане;
5 Иногда рейка или веха устанавливается на специальные шаблоны, гарантирующие её положение в середине колеи.

$$x^2+y^2=R$$

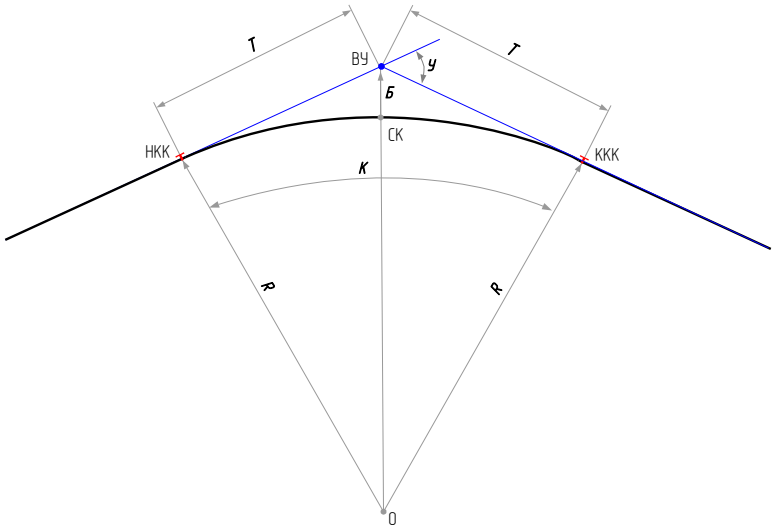
Основными характеристиками любой круговой кривой- являются:

- радиус R -назначаемый от местных условий и ожидаемой скорости движения поездов[6];
- угол поворота -определяемый необходимым изменением направления трассы.

Исторически, приняты два его обозначения, меняющиеся от единицы измерения:

$У$ -угод поворота, º;

α -угол поворота, рад;



Круговая кривая имеет следующие характерные[7] точки:

- НКК - начало круговой кривой;
- ККК — конец круговой кривой;
- СК- середина круговой кривой;
- ВУ -вершина угла поворота;
- О-центр поворота

«Начало» и «конец» круговой кривой- обозначаются в зависимости от счета километров.
Для разбивки означенных точек на местности- используются расчетные характеристики:
Тангенс круговой кривой — расстояние от НКК до ВУ, и от ВУ до ККК;

$$T=R\cdot tg\left(\frac{У}{2}\right)$$

Длина круговой кривой — развёртка от НКК до ККК;

$$K=R\cdot\alpha$$

Биссектриса круговой кривой — расстояние между ВУ и СК:

$$Б=R\left[sec\left(\frac{У}{2}\right)-1\right]$$

Домер круговой кривой- разность между длинами двух тангенсов и кривой:

$$Д=2\mathrm{T}-K$$

Переходные

Непосредственное сопряжение прямого участка пути с круговой кривой приводит к тому, в точке НКК внезапно возникает центробежная сила, ощущающаяся в экипаже[8] как резкий

6 на сегодняшний момент устанавливается строительными нормами: СП119 и СП237
7 Они-же «основные»;
8 Локомотиве, вагоне и т.п.

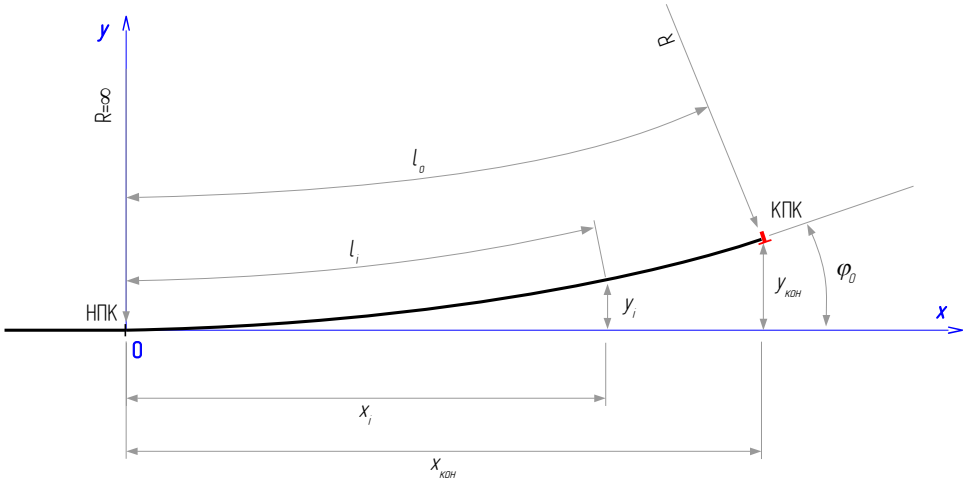
боковой толчок. Такой-же боковой толчок- происходит в точке ККК- в результате скачкообразного уменьшения центробежной силы до 0.

Чтобы обеспечить плавное нарастание центробежной силы- между прямой и круговой кривой вписывают[9] т.н. переходную кривую, радиус кривизны которой плавно изменяется:

- от ∞ в точке НПК- начале переходной кривой;
- до R в точке КПК- конец переходной кривой;

Расчеты переходной кривой производится в прямоугольной системе координат, причем:

- Начало координат- совпадает с НПК;
- Ось x - направлена в сторону точки ВУ;
- Ось y - направлена внутрь кривой;



Угол поворота переходной кривой[10]- зависит от радиуса круговой кривой, и длины переходной:

$$\varphi_o = \frac{l_o}{2R}$$

Равенство радиусов, в точке сопряжения переходной и круговой кривых- обеспечивается через параметр переходной кривой:

$$C = R \cdot l_o$$

где l_o - длина переходной кривой, м.

Длина переходной кривой- является её первой основной характеристикой и зависит от скорости[11].

Второй основной характеристикой переходной кривой- является её очертание.

В отечественной практике- используют переходные кривые двух очертаний[12]:

1. кубическая парабола:

$$x_i = l_i \qquad y_i = \frac{x^3}{6C}$$

Главным достоинством кубической параболы- является простота расчетов и разбивки кривой на местности, потому что её длина совпадает с абсциссой: $x_i = l_i$

Однако, при $x_i \to \infty$ кубическая парабола «выпрямляется», то есть, с какого-то момента её становится[13] невозможно сопрягать с нужным радиусом круговой кривой.

---

9 Проще говоря- укладывают

10 Иначе говоря- насколько повернёт трасса, в пределах переходной кривой.

11 конкретные значения рекомендуются сводами правил СП119 и СП237

12 Из пяти, широко известных в мировой практике.

13 даже теоретически;

2. радиоидальная спираль[14] :

$$x_i = l_i\left(1-\frac{l_i^4}{40\cdot C^2}\right) \qquad y_i = \frac{l_i^3}{6\cdot C}\cdot\left(1-\frac{l_i^4}{56\cdot C^2}\right)$$

Теоретически, радиоидальная спираль может быть «подогнана» к любому радиусу R .
Проверка применимости того или иного вида переходной кривой проводится исходя из двух независимых условий:

- Разница между последним значением x_i и l_0 должна быть меньше, или равна точности измерения расстояний на местности $\frac{1}{W}$:

$$\frac{l_o^4}{40\cdot C^2} \leqslant \frac{1}{W}$$

- Кривизна в конце переходной кривой, не должна создавать «угол»[15] в пути:

$$R \geqslant 1{,}602\cdot\sqrt[9]{C^5}$$

Если:

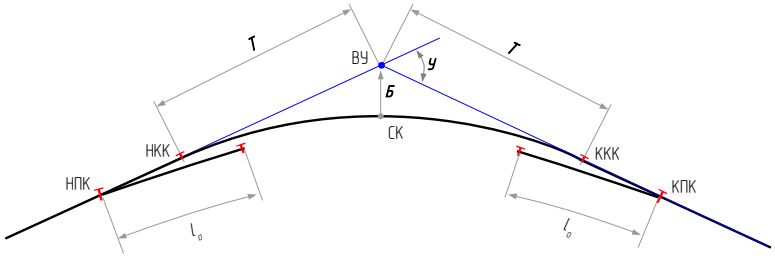
- оба условия соблюдаются- в качестве переходной кривой может быть применено уравнение кубической параболы;
- если не соблюдается хотя-бы одно- следует использовать радиоидальную спираль.

Поскольку круговых кривых- всегда две, «входная» в круговую кривую и «выходная»- из круговой кривой, то положение НПК и КПК- так-же зависит от счета километров.
Необходимо помнить, что у входной переходной кривой- совпадают точки КПК и НКК, а у выходной- ККК и НПК.

Сопряжение переходной и круговой кривой

Принципиально возможны различные варианты совмещения переходной и круговой кривой.

В отечественной практике- сопряжение переходной и круговой кривых- выполняется способом сдвижки круговой кривой внутрь, при сохранении радиуса, но с уменьшением длины круговой кривой K :



14 она-же клотоида
15 Отступление по рихтовке

Связь плана и пикетажа

Все характерные точки кривых- после завершения строительства или реконструкции- имеют рассчитанную привязку к пикетажу как плюсовые точки. Все они закрепляются на местности знаками, см. чертёж 8 и 9 ГОСТ 8442-65, а на рельсах- отмечаются белой краской.

