



Расчет и разбивка переходных кривых

Расчет переходной кривой из условия въезда на круговую кривую с расчетной скоростью

Переходные кривые устраиваются на кривых малого радиуса для повышения безопасности движения и удобства управления автомобилем. В качестве переходных кривых применяются различные математические кривые с постепенно уменьшающимся радиусом кривизны от бесконечности до радиуса круговой кривой. Наиболее часто используется клотоида (радиоидальная спираль), уравнение которой

$$\rho = \frac{A^2}{S}$$

- где ρ – радиус кривизны;
 S – расстояние от начала клотоиды до данной точки;
 A – параметр клотоиды, равный $\sqrt{R \times L}$;
 R – радиус кривизны конца клотоиды и круговой кривой;
 L – длина переходной кривой (клотоиды).

Длина переходной кривой определяется из требования, чтобы величина нарастания центробежного ускорения j не превышала 0.2-0.5 м/с³, по формуле

$$L = \frac{v^3}{47 \times R \times j}$$

- где v – расчетная скорость, км/ч,
47 – коэффициент, приводящий размерности к м.

Чем меньше j , тем плавнее переход с прямого участка на кривую. Полученные по расчету величины L должны быть не менее рекомендованных СНиП.

Прежде чем приступить к разбивке переходной кривой, необходимо проверить, возможно ли произвести ее разбивку. Для этого требуется определить значение угла β по формуле

$$\beta = \frac{L}{2R} \cdot 573$$

Если окажется, что центральный угол круговой кривой α больше двух углов β , разбивка переходной кривой возможна. В том случае, когда $2\beta > \alpha$, потребуется или уменьшить длину переходной кривой, или увеличить радиус круговой кривой, или изменить значения этих элементов одновременно в зависимости от местных условий.

После определения длины переходной кривой производят расчет элементов всего закругления, определение координат переходной кривой и оформление чертежа.

Последовательность расчета:

1. Определяют значение t – расстояния от начала переходной кривой до перпендикуляра, опущенного из центра круговой кривой на линию тангенсов,

$$t = x_k - R \sin \beta,$$

- где x_k – абсцисса конца переходной кривой.

Значение абсциссы x_k и ординаты y_k переходной кривой определяются по формулам

$$x_K = L - \frac{L^3}{40c^2}$$

$$y_K = \frac{L^3}{6c} - \frac{L^5}{336 \cdot c^3}$$

где $c = LR$ – параметр клотоиды.

1. Определяют расстояние смещения круговой кривой

$$P = \frac{L^2}{24R}$$

3. Определяют длину нового тангенса

$$T_H = (R+p) \operatorname{tg} \alpha / 2 + t$$

4. Определяют величину новой биссектрисы

$$B_H = B + p$$

5. Определяют длину новой круговой кривой

$$K_H = \frac{\pi R(\alpha - 2\beta)}{180}$$

6. Определяют полную длину закругления

$$K_3 = K_H + 2L$$

7. Определяют пикетажное положение основных точек закругления.

Начало закругления: $HЗ = ВУ - T_H$

Начало круговой кривой: $HKK = HЗ + L$

Конец круговой кривой: $KKK = HKK + K_H$

Конец закругления: $KЗ = KKK + L$, или $KЗ = HЗ + K_3$

При выполнении чертежа переходной кривой может быть принят масштаб 1:1000 или 1:2000 в зависимости от размеров элементов закругления.

Детальную разбивку оси закругления в плане выполняют следующим образом:

1. Вычисляют координаты переходной кривой и определяют соответствующие пикетные положения точек переходной кривой. Координаты переходной кривой могут быть вычислены по формулам, таблицам или с применением ЭВМ. Формулы для расчета координат имеют вид

$$x = S - \frac{S^5}{40c^2}, \quad y = \frac{S^3}{6c} - \frac{S^7}{336c^3}$$

где S – длина участка кривой.

При этом, чем короче эти участки, тем точнее будет построена переходная кривая. Так, при длине переходной кривой 100 м можно разделить ее на 10 участков по 10 м. Тогда значения координат (абсцисса x и ордината y) будут вычисляться при S , равном 10, 20, 30, ..., 90 м. Значения x_{10} и y_{10} , т.е. координат конца переходной кривой ($L=100$ м), определены ранее (x_K и y_K).

В таблицах по отношению $l=S/A$ определяют координаты $x_{\text{табл}}$, $y_{\text{табл}}$ для параметра $A=100$. Фактические координаты x и y получают умножением табличных значений на параметр $A/100$. Длины участков кривой S , как при расчете по

$$\frac{L}{n}, \frac{2L}{n}, \frac{3L}{n}$$

формулам, принимают равными n , $2n$, $3n$, и т.д., где n – число участков, на которые разбивается переходная кривая.

2. Начало координат для детальной разбивки круговой кривой принимают на расстоянии T от вершины угла, т.е. в начале круговой кривой, вычисленном без учета вписывания переходной кривой.

2. Координаты круговой кривой вычисляют по формулам

$$x = R \sin \beta, \quad y = R(1 - \cos \beta)$$

где β – центральный угол, стягивающий дугу длиной S ,

Целесообразно координаты круговой кривой определять по таблицам.

Ординаты круговой кривой вычисляют с учетом сдвижки P переходной кривой по формуле

$$y = y_{\text{табл}} + P$$

Расчет клотоидных кривых

При проектировании дорог в последние годы широко используются переходные кривые большой длины как самостоятельный элемент трассы, наравне с прямыми и кривыми. При близком расположении углов поворота трасса дороги может состоять из сопрягающихся круговых и переходных кривых, практически без прямых вставок. Такую трассу называют «клотоидной».

Правильное применение клотоидной трассы не приводит к значительному удлинению ее, обеспечивает большие удобства движения и, как правило, не влечет за собой увеличения объемов земляных работ.

Для обеспечения зрительной плавности трассы при радиусах от 1000 до 3000 м параметр должен быть в пределах от 0.4 до 1.4 R . При этом длина переходной кривой должна быть не менее $\frac{1}{4}$ длины круговой кривой.

При сопряжении переходными кривыми обратных S -образных кривых желательно, чтобы обе переходные кривые имели одинаковый параметр A , если соотношение между радиусами сопрягаемых кривых

$$R_1 \geq 3R_2$$

При сопряжении переходными кривыми круговых кривых, направленных в одну сторону, должны соблюдаться соотношения при $R_1 \geq 2R_2$

$$0.5R_1 < A^2$$

При $R_1 \leq R_2$ кривые могут сопрягаться непосредственно.

Для проектирования и разбивки клотоидной трассы изданы таблицы.

Возможны несколько способов вписывания клотоидных кривых в закругление:

а) симметричная биклотоида, состоящая из двух переходных кривых равной длины без круговой вставки.

При известном угле α и радиусе R элементы биклотоиды получают умножением значений, приведенных в таблице на величину $R/100$, поскольку в таблице приведены значения биклотоиды при $R=100$ м. При известном угле α и величине тангенса T элементы клотоиды получают умножением табличных значений на величину $T/T_{\text{табл}}$, где $T_{\text{табл}}$ – табличный тангенс, соответствующий углу α . В этом случае

$$R = 100 T / T_{\text{табл}}$$

б) несимметричная биклотоида, состоящая из двух переходных кривых разной длины без круговой вставки.

При известном соотношении тангенсов T_1/T_2 по номограмме определяют углы β_1 и $\beta_2 = \alpha - \beta_1$

Значения элементов первой клотоиды определяют умножением табличных значений, соответствующих углу β_1 , на величину $T_1/T_{\text{табл1}}$. Значения элементов второй клотоиды определяют умножением табличных значений, соответствующих углу β на величину $T_2/T_{\text{табл2}}$

Величину радиуса рассчитывают по формуле

$$R = \frac{57.3}{\alpha} \left(\frac{L_1 + L_2}{2} \right)$$

где L_1, L_2 – значения соответственно первой и второй клотоид. Длина несимметричной биклотоиды равна $K=L_1+L_2$

Если известны угол α , радиус R и величина дополнительного тангенса t одной из клотоид, то по величине $t_{\text{табл}}=t100/R$ определяют угол β_1 и все элементы первой клотоиды – умножением табличных значений на величину $R/100$. Затем по углу $\beta_2=\alpha-\beta_1$ определяют аналогично элементы второй клотоиды.

Тангенсы закругления, представляющего несимметричную биклотоиду, вычисляются по формулам

$$T_1 = T_{\partial 1} + \frac{\sin \beta_2}{\sin \alpha} (T_{\kappa 1} + T_{\kappa 2})$$

$$T_2 = T_{\partial 1} + \frac{\sin \beta_1}{\sin \alpha} (T_{\kappa 1} + T_{\kappa 2})$$

в) круговая кривая с симметричными переходными кривыми.

При известном R и t переходной кривой угол β , длина переходной кривой L и сдвигка P определяются, как и в случае проектирования несимметричной биклотоиды, по величине $t_{\text{табл}}=t100/R$ умножением табличных значений на величину $R/100$.

Остальные элементы закругления вычисляются по формулам для разбивки круговых кривых при радиусе $R_0=R+P$.