

**ЭФФЕКТИВНАЯ МЕТОДИКА РАЗБИВКИ СОПРЯЖЕНИЯ
БИКЛОТОИДЫ С КРУГОВОЙ ВСТАВКОЙ
ИЗ СЕРЕДИНЫ КРИВОЙ**

Канд. техн. наук, доцент **С.П. Паудяль**
(Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ))
Конт. информация: surgara@mail.ru

Разбивка закруглений трассы автомобильной дороги с сопряжением переходных кривых и круговых вставок обычно выполняется от нескольких точек – от вершины угла, начала и конца закругления и других точек. Однако при больших значениях радиуса и угла поворота это значительно трудоемкий процесс.

При проектировании трассы автомобильной дороги среди используемых методов наиболее широко применяемым является метод «однозначного определения оси», основанный на принципах проектирования тангенциальной оси.

Согласно нормативным документам предъявляются требования, обеспечивающие безопасное и удобное движение автомобиля. Почти во всех странах мира в качестве переходных кривых применяются клотоидные отрезки с разными параметрами и в сочетании с круговыми вставками. Однако при этом существует возможность поиска и разработки новых методик.

В статье предложена новая методика разбивки закругления плана трассы биклотоидами с круговой вставкой из одной точки – из её середины с целью существенного повышения точности и сокращения времени выполнения разбивочных работ.

Ключевые слова: автомобильная дорога, клотоидное трассирование, клотоидные переходные кривые, круговая вставка, разбивка клотоид и круговой вставки, вершина угла поворота, система полярных координат.

***Принципы применения переходных кривых
в участках закругления трассы***

Переход от прямого участка трассы на кривую необходимо осуществлять плавно с учетом центробежной силы движущегося

автомобиля во избежание его заноса, соблюдая нормативные требования безопасного и удобного движения с расчетной скоростью [1-4]. Поскольку на практике из-за рельефа местности, других препятствий и ограничений не всегда удастся применять рекомендуемые значительные радиусы круговых кривых, в частности для плавного перехода в начале кривой, то взамен неизбежны те или иные переходные кривые переменного радиуса с соответствующими параметрами. При выборе и расчетах переходных кривых нужно учесть не только нарастание скорости (центробежного ускорения), но и *зрительное восприятие самой кривой*. Рекомендуют множество теорий, математических кривых и методов для вписывания различных переходных кривых. В основном предлагают: методы клотоидного трассирования, метод «гибкой линейки» (проф. В.Ф. Бабков, проф. Г.А. Федотов и др.), кубические параболы (к.т.н. В.А. Федотов), различные сплайны, кривые Безье (д.т.н. В.Н. Бойков), кардиоиды (проф. А.А. Белятынский), поликлотоиды (к.т.н. Ю.А. Фортуна), лемнискату Бернулли и т.п. [1, 5]. Все эти математически обоснованные методы и способы бесспорно справедливы, но каждый из них с учетом условий их применения имеет свои преимущества и недостатки.

Принцип «гибкой линейки», похожей на эскизную линию для сплайна, может создавать множество разнородных участков, не всегда поддающихся однозначному описанию единой функцией для получения непрерывной трассы. Такие отдельные сопрягаемые участки, местами заменяемые круговыми кривыми с небольшими радиусами, усложняют их сопряжения. Однако полученную проектную линию можно сглаживать сплайн-функциями. Кубические параболы позволяют получить переходные кривые с постепенным изменением кривизны. Тем не менее, возникают трудности при сопряжении их длинных участков с разнонаправленными круговыми или иными кривыми, в некоторых случаях с недопустимыми нестыковками. В то же время их применяют в сложных, насыщенных рельефными и другими препятствиями местностях, где приходится применять небольшие радиусы, используя комплексные высоко автоматизированные системы проектирования. Однако их не всегда так просто разбивать в полевых условиях. Чаще всего отрезки длинных кубических парабол применимы при проектировании вертикальных кривых с целью обеспечения видимости.

Сплайн-функции как основы методов свободной геометрии являются более универсальными интерполяционными многочленами, как правило, с более высокими степенями. Их используют для автоматизированного проектирования автомобильных дорог при трассировании их значительных участков одним приемом как непрерывные линии с множеством закруглений. При тангенциальном трассировании в качестве

отдельного закругления переходной кривой данный метод без специальных граничных условий не совсем удобен для сопряжения и используется редко.

Кардиоиды как закругления используются в виде сплошной переходной кривой с учетом угла поворота. Такое закругление получается похожим на симметричную биклотоиду без круговой вставки. Однако как кривая с известным радиусом в каждой её точке, она может быть сопряжена с любыми кривыми или прямыми по касательным через любую точку сопряжения. Кардиоиду также используют как отрезок линии профиля трассы.

Лемниската Бернулли представляет собой алгебраическую, плавно переходящую симметричную кривую. Её отрезок используют как переходную кривую при закруглении автомобильных и железных дорог.

На дорогах с горным и сильно пересеченным рельефом местности с сочетанием множества серпантинных криволинейных закруглений обеспечивают более или менее постоянную скорость движения. Однако, если преобладают случаи движения автомобиля с переменной скоростью, например, на участках разгона и торможения, то необходимы разгонные и тормозные кривые. В таких случаях, согласно результатам проведенных исследований, для обеспечения гармоничного вписывания участков плана трассы рекомендуется использование так называемых поликлотоидных кривых, описываемых специальными степенными функциями.

Широкое применение находят кривые Безье как универсальные многочлены третьей и пятой степени. Для проектирования закруглений трассы в тангенциальном ходе наиболее перспективными геометрическими элементами являются кривые Безье, которые способны принимать близкие формы почти всех вышеприведенных кривых элементов. В общем случае кривые Безье являются пространственными функциями и применимы для обеспечения требований пространственного трассирования автомобильных дорог. Однако заметным недостатком формул Безье третьей степени является невозможность создать единую кривую в середине кругового участка трассы, что в основном устраняется при применении кривых Безье пятой степени.

Традиционный тангенциальный метод трассирования с круговой кривой дает достаточно надежное и экономически относительно обоснованное решение задач простым способом, удобен при выполнении разбивочных работ в полевых условиях [1]. Однако с целью безопасного и удобного перехода от прямого участка на кривую переходные кривые обязательны [1, 3].

В качестве достаточно надежной, относительно простой и легко манипулируемой переходной кривой является радиальная спираль или

клотоида [6-8]. Она хорошо сопрягается с круговыми кривыми и прямыми.

При проектировании трассы как в РФ, так и за рубежом широко применяют клотоидные переходные кривые, что отражено в целом ряде учебников, справочников и нормативных документов [6, 8-10].

Длины переходных кривых для автомобильных дорог I и II категории должны составлять 150-200 м [2-4]. Однако с учетом местности для трасс автомобильных дорог более низких категорий приходится применять небольшие радиусы и, тем самым, уменьшать длины переходных кривых в пределах 30-100 м.

Для обеспечения зрительной плавности на поворотах автомобильных дорог постепенным переходом от прямой вставки на кривую и для уменьшения влияния центробежного ускорения, согласно нормативным требованиям, строят клотоидные переходные кривые, сочетая различные их отрезки с разными параметрами и сопрягая с круговыми вставками [1, 3, 8]. Переходные кривые, начиная с радиуса $R = \infty$ в конце прямой вставки, устраивают с постепенным уменьшением кривизны до величины нормативного радиуса R для автомобильных дорог различных категорий [3].

Универсальными элементами закругления являются отдельные и комбинированные клотоиды, которые служат для подбора любых очертаний и сопряжений [1, 8]. Расчет таких закруглений представляет собой комплексную аналитическую задачу. Основы решения для составных закруглений известны, однако, на практике реализация таких решений является непростой задачей.

Исходя из вышеизложенного, можно отметить, что при проектировании закруглений трассы в различных условиях приходится использовать те или другие методы и схемы с учетом их преимуществ и недостатков.

С точки зрения расчета элементов и координат точек для выполнения разбивочных работ закругления круговыми и клотоидными кривыми достаточно подробно проработаны и удобны для реализации на практике следующие методы и способы: метод клотоидного трассирования, принцип гибкой линейки, сплайн-трассирование, принципы кривых Безье третьей и пятой степени, кардиоиды, лемниската Бернулли и др.

Основы клотоидного закругления трассы

Начальной точкой клотоидной переходной кривой *НПК* с радиусом кривизны $R = \infty$ является конец прямой вставки, а точка с заданным радиусом R – концом клотоидной дуги *КПК* (рис. 1). Угол β ,

образованный касательной к концу клотоиды и осью абсцисс, является основным угловым элементом клотоиды. С учетом центростремительного ускорения расчетной скорости на практике стремятся принимать минимально допустимое значение параметра клотоиды A , характеризующего её кривизну. Клотоидная кривая S в заданной точке имеет радиус кривизны ρ . Принимая конкретную длину клотоиды L с заданным радиусом R в её конечной точке, получаем основную зависимость параметра клотоиды:

$$A = \sqrt{RL}.$$

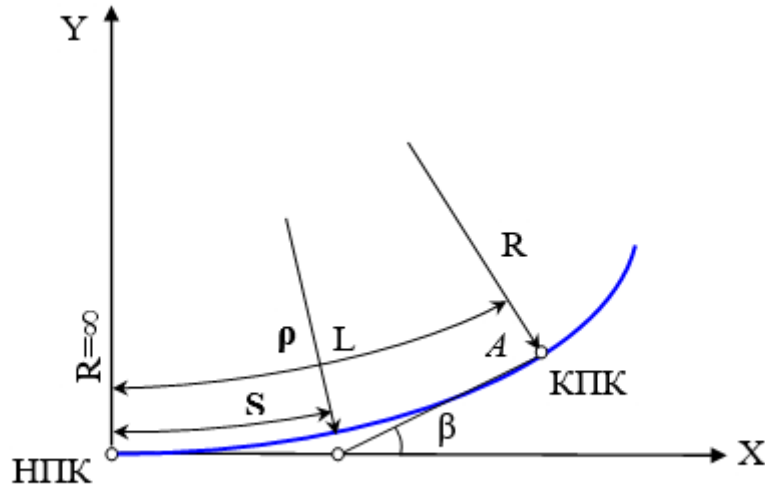


Рис. 1. Схема начального участка клотоидного перехода:

S – клотоидная кривая в заданной точке;
 β – угол поворота, образованный касательной
 к концу клотоиды и осью абсцисс

Преимуществом и практичностью клотоидного закругления является получение легко манипулируемых для сопряжения самостоятельных элементов трассирования под названием «клотоидная трасса». При проектировании клотоидной трассы применяют различные способы сопряжения отрезков кривых. На практике сочетают либо только клотоидные отрезки с одинаковыми или разными параметрами, либо с ними сопрягают и круговые, и прямые вставки с учетом конкретных особенностей рельефа местности. Исходя из этого, различают следующие типы закруглений клотоидной трассы:

1. биклотоида симметричная ($A_1 = A_2$) и несимметричная ($A_1 \neq A_2$);
2. биклотоида с круговой вставкой (симметричная ($L_1 = L_2$) и несимметричная ($L_1 \neq L_2$));
3. клотоида коробовая (составная);
4. комбинированное закругление.

Аналогично случаю с круговой кривой используют следующие основные способы детальной разбивки клотоиды [7, 8]:

- а) способ прямоугольных координат от главной касательной;
- б) способ прямоугольных координат от хорд (ординат и абсцисс);
- в) способ полярных координат;
- г) способ углов и хорд;
- д) способ продолженных хорд (без угломерных приборов).

В ряде стран, например в ФРГ, нормами регламентируется обязательное размещение круговой вставки между симметричными ($A_1 = A_2$) и несимметричными ($A_1 \neq A_2$) биклотоидами. На практике, если рельеф и ситуация местности позволяют, широко применяют симметричную биклотоиду с круговой вставкой.

Наиболее распространенным и простым для детальной разбивки клотоиды является способ прямоугольных координат от главной касательной (**рис. 1**), при котором необходимо рассчитать, как минимум, следующие координаты и параметры:

- 1) параметр A клотоиды по назначенным значениям радиуса R и длины клотоидной дуги L :

$$A = \sqrt{RL};$$

- 2) прямоугольные координаты точек клотоиды от главной касательной с начала переходной кривой *НПК* по формулам (1), основанным на уравнениях рядов Маклорена с учетом практической сходимости двух и трех членов:

$$\left. \begin{aligned} X &= S - \frac{S^5}{40A^4} + \frac{S^9}{3456A^8} ; \\ Y &= \frac{S^3}{6A^2} - \frac{S^7}{336A^6} + \frac{S^{11}}{42240A^{10}} . \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

- 3) Принимая $A = \sqrt{RL} = 1$; $\frac{x}{A} = x$; $\frac{y}{A} = y$; $\frac{S}{A} = l$, получают упрощенные уравнения (2):

$$\left. \begin{aligned} x &= l - \frac{l^5}{40} + \frac{l^9}{3456} ; \\ y &= \frac{l^3}{6} - \frac{l^7}{336} + \frac{l^{11}}{42240} . \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

По этим формулам, позволяющим определить координаты клотоиды в зависимости от аргумента $\frac{S}{A} = l$ и $A = \sqrt{RL} = 1$, составлены таблицы для детальной разбивки клотоидных трасс [8]. При этом табличные координаты необходимо перевести в соответствующие их значения:

$$X = xA; Y = yA.$$

- 4) Основными элементами симметричной биклотоиды с круговой вставкой для разбивки их ветвей способом прямоугольных координат (рис. 2) являются следующие:
- общий угол поворота трассы θ ;
 - радиус R ;
 - полный тангенс T ;
 - параметр клотоиды A ;
 - длина клотоиды L ;
 - биссектриса B ;
 - домер D ;
 - углы клотоид: β , γ и др.;
 - сдвигка круговой кривой p ;
 - длинный и короткий тангенсы: T_d , T_k ;
 - расстояние от начала переходной кривой до начала круговой кривой t и т.д.

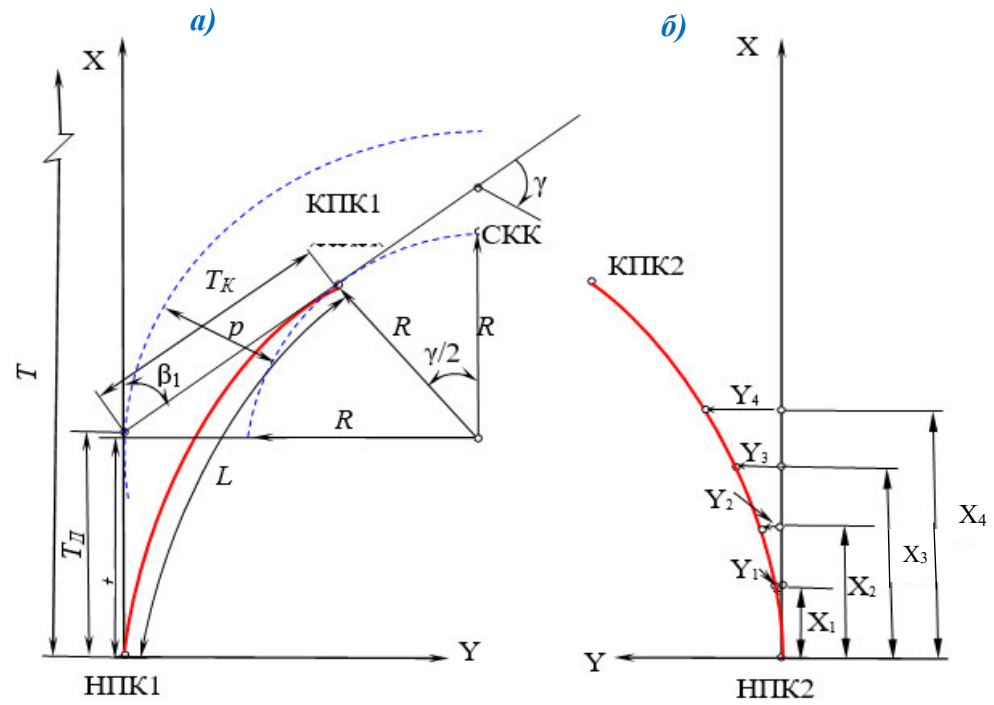


Рис. 2. Элементы и разбивка клотоидной переходной кривой:
 а) основные элементы; б) детальная разбивка способом прямоугольных координат

Координаты конца и центра клотоидной кривой определяют по известным формулам. Другие методы разбивки клотоидного закругления приведены в справочных материалах [7, 8].

Биклотоидное закругление трассы с круговой вставкой

В общем случае закругления биклотоидой с круговой вставкой (рис. 3), принимая L_1 и L_2 в качестве длин первой и второй клотоид и L_0 – за длину круговой вставки и $L_1 = 1$ в качестве единицы, $\frac{L_0}{L_1} = m$ и $\frac{L_2}{L_1} = n$, можно представить их соотношения в следующем виде:

$$L_1:L_0:L_2 = 1:m:n .$$

Применяя уравнения клотоиды $L_1 = 2R\beta_1$ и $L_2 = 2R\beta_2$ и используя $\frac{L_0}{L_1} = m$ и $\frac{L_2}{L_1} = n$, получим:

5) Углы клотоид в радианах (3):

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 &= \frac{L_0}{2mR}; \\ \beta_2 &= \frac{nL_0}{2mR} = n\beta_1. \end{aligned} \right\} . \quad (3)$$

6) Из рис. 3, $L_0 = R\gamma$, откуда получим угол поворота круговой вставки в радианах (4):

$$\gamma = \frac{L_0}{R} = 2m\beta_1 . \quad (4)$$

7) Общий угол поворота θ в радианах равен $\theta = \beta_1 + \gamma + \beta_2$, т.е. (5):

$$\theta = \beta_1 + 2m\beta_1 + n\beta_1 = \beta_1 (1 + 2m + n) . \quad (5)$$

8) Исходя из вышеизложенного, получим контрольную формулу (6):

$$\beta_1 = \frac{\theta}{1+2m+n} . \quad (6)$$

Определяя необходимые элементы и соответствующие параметры, выполняют детальную разбивку первой и второй клотоид в отдельности и находят положения начальной *НKK* и конечной *KKK* точек

круговой вставки. Исходя из главного угла поворота θ (рис. 1), по вышепредставленным зависимостям вычисляют углы клотоид β , угол поворота круговой вставки γ и элементы круговой вставки по известным формулам, а затем выполняют детальную её разбивку одним из общепринятых способов.

При использовании симметричной клотоиды с круговой вставкой по главному углу поворота θ и вышеприведенным формулам определяются углы клотоид β . При этом для симметричной биклотоиды принимают:

$$\beta l = \beta 2 = \beta; \quad l1 = l2 = L; \quad \gamma = \theta - 2\beta.$$

9) Наиболее простым способом короткий тангенс можно определить по уравнению (7):

$$T_{\kappa} = R \left[\frac{1}{\sin\left(\frac{\rho L}{2R}\right)} \left(\frac{2}{3} \left(\frac{L}{2R}\right)^2 - \frac{\left(\frac{L}{2R}\right)^4}{21} + \frac{\left(\frac{L}{2R}\right)^6}{660} \right) \right]. \quad (7)$$

10) Длину круговой вставки L_0 в линейном выражении вычисляют по формуле (8):

$$L_0 = \frac{\pi R \gamma}{180^\circ}. \quad (8)$$

11) Минимальный радиус R определяют по вычисленному значению β (в радианах) по формуле (9):

$$R = \frac{L}{2\beta}. \quad (9)$$

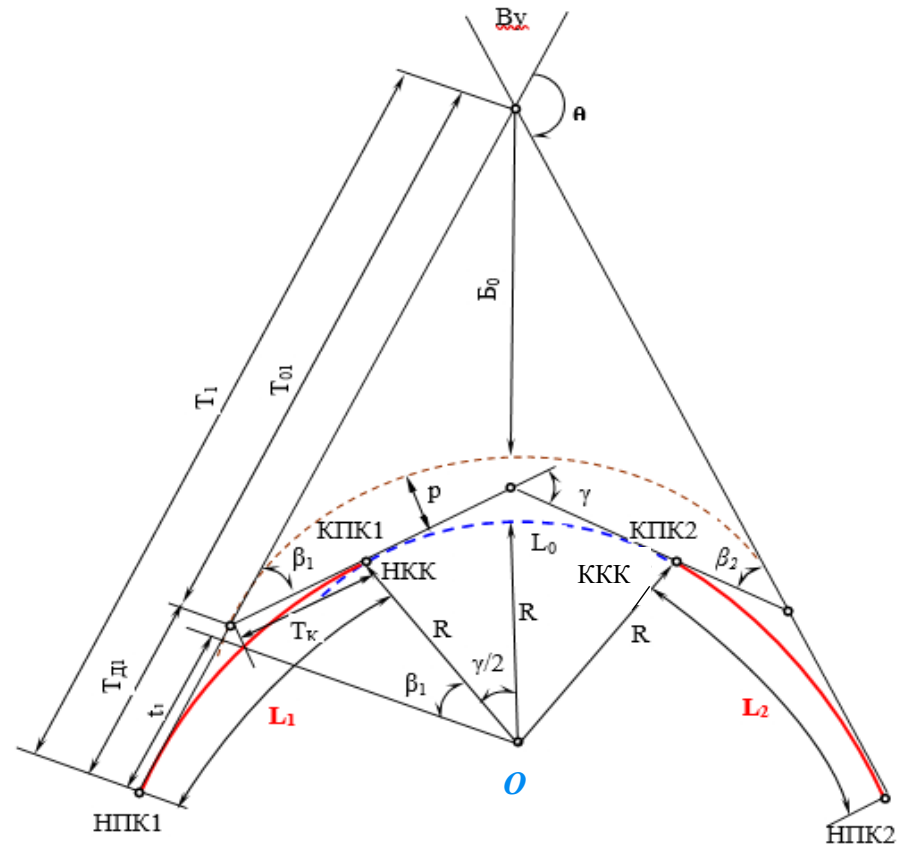


Рис. 3. Схема биклотоидного закругления трассы с круговой вставкой

12) Сдвигку круговой вставки p определяют по формуле (10):

$$p = \frac{L^2}{6R} - \frac{L^4}{336R^3} + \frac{L^6}{42240R^5} + R \cos\left(\frac{\rho L}{2R}\right) - R. \quad (10)$$

13) Длину длинного тангенса можно определить по уравнению (11):

$$T_{\text{д}} = L - \frac{L^3}{40R^2} + \frac{L^5}{3456R^4} - \left(\frac{L^2}{6R} - \frac{L^4}{386R^3} + \frac{L^6}{42240R^5} \right) \operatorname{tg}\left(\frac{\rho L}{2R}\right). \quad (11)$$

14) Биссектрису B определяют по углу поворота θ , радиусу R и сдвигке круговой вставки p по формуле (12):

$$B = B_0 + p = \left\{ (R + p) \left(\frac{l}{\cos \frac{\theta}{2}} - l \right) + p \right\}, \quad (12)$$

где

B_0 – биссектриса круговой вставки.

15) Тангенс круговой вставки вычисляют по формуле (13):

$$T_0 = (R + p) \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}, \quad (13)$$

а полный тангенс T равен:

$$T = T_0 + t,$$

где

t – расстояние от начала клотоиды до начала круговой кривой, определяемое по формуле (14):

$$t = L - \frac{L^3}{40R^2} + \frac{L^5}{3456R^4} - R \sin\left(\frac{\rho L}{2R}\right). \quad (14)$$

Таким образом, длина полной кривой K :

$$K = 2L + L_0.$$

После определения изложенных выше и других необходимых параметров, а также положения начальной и конечной точек круговой вставки выполняют её детальную разбивку.

*Детальная разбивка от середины круговой вставки,
расположенной между симметричными клотоидами*

Наиболее близкой к обеим ветвям круговой кривой и удобной для установки прибора при детальной разбивке является её середина. Разбивка от начала HK и конца KK кривой отнимает много времени для выполнения разбивки из двух станций, особенно при больших её размерах. От середины кривой $СК$ можно обойтись одной станцией, выполняя разбивку симметричных ветвей по одинаковым расчетным параметрам. Тем более, вершина круговой вставки является наиболее ответственной точкой ввиду более резкого изменения направления кривой через неё.

Часто применяют способ разбивки кривых в прямоугольных координатах, имея в виду его точность и простоту технологии. Однако этот способ многодельный, а иногда и нереализуемый, когда вершина угла поворота недоступна [9]. Например, при разбивке круговой вставки возле больших водоёмов или с внешней стороны серпантин в горной местности сталкиваются с рядом сложных обстоятельств. Во многих случаях абсциссы по тангенсам окажутся в недоступных местах, что делает невозможным восстановить перпендикуляры к тангенсу и отложить ординаты. Наиболее универсальным и эффективным в таких случаях является способ полярных координат [1, 6-10], особенно с помощью электронного тахеометра, что позволяет обеспечить высокую точность.

После нахождения необходимых параметров по вышеизложенным зависимостям и определения положения середины круговой вставки выполняем её детальную разбивку. Её можно выполнять относительно нескольких направлений: от $V_{уз}$, от направления касательной, от центра кривой (например, при разбивке круговой части серпантин). Наиболее целесообразным является ориентирование прибора на $V_{уз}$. Принимая это направление, легко можно выполнять детальную разбивку обеих ветвей (рис. 4).

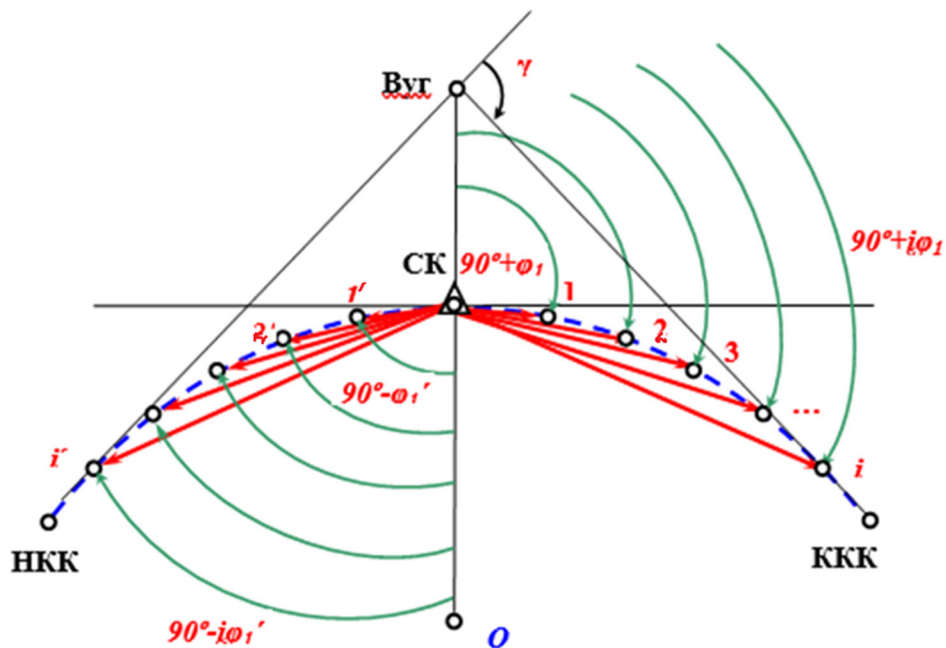


Рис. 4. Схема детальной разбивки круговой вставки от её середины между симметричными клотоидами

*Алгоритм детальной разбивки круговой вставки
клотоидного закругления от её середины*

1. Определяем шаг разбивки k , поделив половину круговой вставки на количество n .
2. Вычисляем центральный угол μ , стягивающую дугу k по формуле (15):

$$\mu = \frac{k180^\circ}{\pi R} . \quad (15)$$

3. Вычисляем разбивочные полярные углы (16):

$$\varphi_1 = \mu/2, \varphi_2 = 2\varphi_1, \varphi_3 = 3\varphi_1, \dots, \varphi_i = i\varphi_1, \dots, \varphi_n = n\varphi_1 . \quad (16)$$

4. Определяем для половины кривой $K/2$ число $n = (K/2)/k$.

5. Вычисляем длины радиусов-векторов d_i до искомым i -х точек кривой по формуле (17):

$$d = R\sqrt{2(1 - \cos(i\mu))} . \quad (17)$$

6. Ориентируем прибор на вершину угла $B_{уг}$ в отсчете по горизонтальному кругу $0^\circ 0' 0''$.
7. Прибавив 90° разбивочному углу для каждой искомой точки на кривой, откладываем полученный угол по ходу часовой стрелки, т.е. при угле (18):

$$90^\circ + \varphi_i . \quad (18)$$

8. Откладываем соответствующий радиус-вектор d_i по полученному направлению и фиксируем i -ю точку и т.д. до точки KKK .
9. Для разбивки левой ветви кривой после ориентирования прибора на точку $B_{уг}$ переводим зрительную трубу через зенит и, вычисляя соответствующие откладываемые углы по формуле (16), выполняем последовательно указанные выше действия и определяем положения искомым точек (19):

$$90^\circ - \varphi_i . \quad (19)$$

ВЫВОДЫ

1. При использовании представленной методики разбивки круговой вставки симметричного биклотоидного закругления значительно повышается эффективность производства работ за счет снижения количества станций прибора, времени для его установки и выполнения разбивочных работ. Кроме того, увеличивается точность измерений из-за расположения разбивочных точек вблизи круговой вставки и более ответственной части – вокруг самой её вершины.
2. В некоторых случаях методика может быть незаменимой при разбивочных работах, например, при значительной сложности для перемещения или установки прибора в крайних точках закругления. При больших радиусах круговых кривых, особенно на автомобильных дорогах высокой категории, установка прибора в одной точке, расположенной в центре, позволяет произвести измерения в обеих ветвях круговой вставки, охватывая кривую полностью или её значительную часть.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Справочная энциклопедия дорожника. Г.А. Федотов, П.И. Поспелов, В.К. Апестин и др. / Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). – М.: Инфортавтомор, 2007. – Т. 5: Проектирование автомобильных дорог. – 667 с.*
2. *ГОСТ 33475-2015. Дороги автомобильные общего пользования Геометрические элементы. Технические требования. – М.: Стандартинформ, 2019. – 10 с.*
3. *ОДМ 218.2.101- 2019. Методические рекомендации по проектированию элементов плана, продольного и поперечного профиля автомобильных дорог / Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). – М., 2019. – 148 с.*
4. *СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М.: Госстрой России, 2013. – 139 с.*
5. *Федотов Г.А. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 книгах. Книга 1: учебное пособие / Г.А. Федотов, П.И. Поспелов. – М.: Высшая школа, 2009. – 646 с.*
6. *Брынь М.Я. Расчет элементов и разбивка железнодорожных кривых: учебное пособие / М.Я. Брынь, Н.В. Канахин, В.И. Полетаев; под ред. М.Я. Брыня. – СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2008. – 36 с.*
7. *Ганьшин В.Н. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых / Ганьшин В.Н., Хренов Л.С. – М.: Недра, 1985. – 430 с.*
8. *Ксенодохов В.И. Таблицы для клотоидного проектирования и разбивки плана и профиля автомобильных дорог: справочник. – М.: Транспорт, 1981. – 431 с.*
9. *Паудяль С.П. Инженерные геодезические задачи: учебное пособие / С.П. Паудяль. – М.: МАДИ, 2014. – 96 с.*
10. *Федотов Г.А. Инженерная геодезия: учебное пособие / Г.А. Федотов. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 479 с.*

LITERATURA

1. *Spravochnaya enciklopediya dorozhnika. G.A. Fedotov, P.I. Pospelov, V.K. Apestin i dr / Federal'noe dorozhnoe agentstvo (Rosavtodor). – М.: Informavtodor, 2007. – Т. 5: Proektirovanie avtomobil'nyh dorog. – 667 s.*

2. GOST 33475-2015. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya Geometricheskie elementy. Tekhnicheskie trebovaniya.* – M.: Standartinform, 2019. – 10 s.
3. ODM 218.2.101- 2019. *Metodicheskie rekomendacii po proektirovaniyu elementov plana, prodol'nogo i poperechnogo profilya avtomobil'nyh dorog / Federal'noe dorozhnoe agentstvo (Rosavtodor).* – M., 2019. – 148 s.
4. SP 34.13330.2012. *Avtomobil'nye dorogi. Aktualizirovannaya redakciya SNIp 2.05.02-85* / Min-vo regional'nogo razvitiya Rossijskoj Federacii.* – M.: Gosstroj Rossii, 2013. – 139 s.
5. Fedotov G.A. *Izyskaniya i proektirovanie avtomobil'nyh dorog. V 2 knigah. Kniga 1: uchebnoe posobie / G.A. Fedotov, P.I. Pospelov.* – M.: Vysshaya shkola, 2009. – 646 s.
6. Bryn' M.YA. *Raschet elementov i razbivka zheleznodorozhnyh krivyh: uchebnoe posobie / M.Ya. Bryn', N.V. Kanashin, V.I. Poletaev; pod red. M.YA. Brinya.* – SPb.: Peterburgskij gos. un-t putej soobshcheniya, 2008. – 36 s.
7. Gan'shin V.N. *Tablicy dlya razbivki krugovyh i perekhodnyh krivyh / Gan'shin V.N., Hrenov L.S.* – M.: Nedra, 1985. – 430 s.
8. Ksenodohov V.I. *Tablicy dlya klotoidnogo proektirovaniya i razbivki plana i profilya avtomobil'nyh dorog: spravochnik.* – M.: Transport, 1981. – 431 s.
9. Paudyal' S.P. *Inzhenernye geodezicheskie zadachi: uchebnoe posobie / S.P. Paudyal'.* – M.: MADI, 2014. – 96 s.
10. Fedotov G.A. *Inzhenernaya geodeziya: uchebnoe posobie / G.A. Fedotov.* – M.: INFRA-M, 2017. – 479 s.

.....

**AN EFFICIENT STAKING METHOD OF BICLOTHOID
CONJUGATION WITH A CIRCULAR INSERT
FROM THE CURVE MIDDLE**

*Ph. D. (Tech.), Associate Professor S.P. Paudyal
(Moscow Automobile and Road Construction
State Technical University (MADI))
Contact information: suprapa@mail.ru*

Staking road curves with the conjugation of transition curves and circular inserts is usually carried out from several points – from the vertex of the angle, the beginning and end of the rounding and other points. However, for large values of the radius and turning angle it is a very time-consuming process.

When designing the road routes, among the range of several methods, the most widely used one is the «unambiguous axis determination» method, based on the principles of tangential axis design.

According to the regulatory documents, requirements are imposed for ensuring the safe and convenient movement of the vehicle. In almost all countries of the world, clothoid segments with different parameters in combination with circular inserts are used as the transition curves. However, the possibility of searching and developing new methods has not been exhausted.

The article proposes a new method for staking the curves of the route plan by biclothoids with a circular insert from one point – from its middle in order to significantly increase the accuracy and reduce the time consumption for staking out.

Key words: *road, clothoid tracing, clothoid transition curves, circular insert, staking of clothoids and circular insert, vertex of the turning angle, system of polar coordinates.*

Рецензент: д-р техн. наук, профессор А.М. Кулижников
(ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 18.04.2022 г.