2015

ЛЕКЦИЯ №7

01.02.2015

ЛЕКЦИЯ №7

«Проектирование реконструкции плана участка железнодорожной линии»

Содержание лекции:

1. Исходные данные для проектирования реконструкции плана железнодорожной линии

 1.1 Основные задачи реконструкции плана

 1.2 Модели кривых

 1.3. Способы съемки кривых

 1.4. Преобразование результатов съемки в модели кривых

Литература

1.1. Основные задачи реконструкции плана

Основные задачи реконструкции существующего пути можно сформулировать в виде следующих положений:

1) выправка плана существующего пути с постановкой его в правильное геометрическое положение, то есть определение параметров существующего пути (радиус и угол поворота круговой привой, длины переходных кривых), пикетажное положение характерных точек (НПК$_{1,2}$, НКК, КПК$_{1,2}$, ККК) и сдвиги существующего пути в точках деления кривой.

2) приведение параметров существующего пути в полное соответствие с действующими нормами проектирования в увязке с перспективной категорией железнодорожной линии, то есть определение параметров проектного положения существующего пути;

3) проектирование плана второго пути с учетом обеспечения габаритного уширения на прямых и криволинейных участках;

4) проектирование поперечных профилей с учетом смещения оси существующего пути и с учетом проектирования вторых путей (при необходимости).

1.2 Модели кривой

Известно, что в практике проектирования часто используют методы моделирования, которые позволяют проводить расчеты и эксперименты не над реальным объектом, а над его созданным образом. Причем насколько модель будет адекватна реальному объекту, настолько и можно судить о точности расчетов.

1.2.1. Математическая модель кривой

Еще до начала прошлого столетия математическая модель являлась единственной и классической. Она позволяла построить кривую в декартовых прямоугольных координатах.

Уравнение круговой кривой можно выразить, как:

$$(y-R)^2 + x^2 = R^2 \qquad (1)$$

Уравнение переходной кривой представляет уравнение кубической параболы:

$$y = x^3/6Rl_{пк} \qquad (2)$$

Математическая модель кривой сегодня используется для выполнения расчетов точным методом. Расчеты плана выполняются в прямоугольной системе координат. План существующей линии представлен в виде разомкнутого многоугольника и описывается координатами вершин его углов поворота. Для создания плана проектируемого пути используются уравнения различных геометрических прямых и кривых линий. Этот точный метод используется в основном при автоматизированном проектировании реконструкции плана (программный комплекс КАПРЕМ).

1.2.2 Углограмма и эпюра кривизны

Многие ученые задумывались над возможностью использовать ось существующего пути, как приволинейную координатную линию, по нормалям к которой можно откладывать точки выправленной оси пути и точки второго пути. Для этого потребовалось:

1) разработать достаточно производительные методы инструментальной съемки пути;

2) создать метод расчета нормалей.

Первая попытка создания теории метода расчета нормалей принадлежит Зубову (1915 г) и независимо от него к этим же идеям позже пришел Гофер (1927г). Эти ученые считали, что точки выправленной оси пути следует откладывать от существующей оси по эвольвентам.

Эвольвента может быть получена, если на кривые радиусов R_1 и R_2 навивать нить, закрепленную в некоторой точке , тогда конец этой нити опишет траекторию эвольвент $aa^{//}$ и $aa^{///}$ (рис.1).

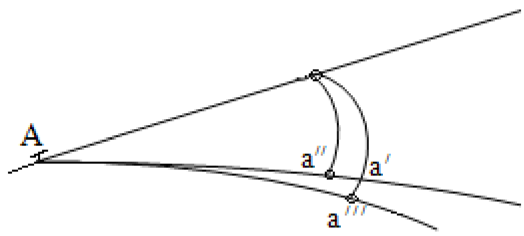


Рис.1. Эвольвенты

В теории эвольвент сдвиг в точке определяется, как разность эвольвент:

$$n = Эс - Эп \tag{3}$$

Длина эвольвенты определяется:

$$Эс = K_c^{\,2} / 2R_c \qquad Эп = K_п^2 / 2R_п \ , \tag{4}$$

где K_c -   длина существующей кривой; $K_п$ – длина проектной кривой.

На самом деле из рис.1 видно, что т. а$^{//}$ и т.а$^{/}$ не совпадают. При малых сдвигах погрешность расчетов по эвольвентам невелика. Погрешность возрастает с увеличением сдвигов. Поэтому в практике проектирования этой теорией для точных расчетов не пользуются. При приближенных расчетах можно в качестве модели использовать углограмму.

Как же использовать угловую диаграмму для определения сдвигов по эвольвентам?

Углограмма – это график изменения угла поворота касательной к оси пути в зависимости от расстояния от начала кривой до точки касания.

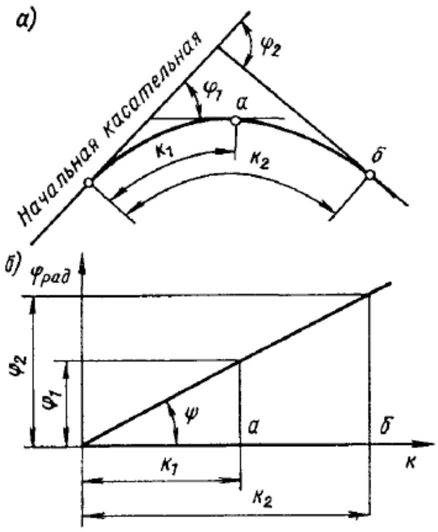


Рис.2. Построение угловой диаграммы круговой кривой (а - план кривой, б – углограмма)

Докажем, что длина эвольвенты равна площади угловой диаграммы (рис.3)

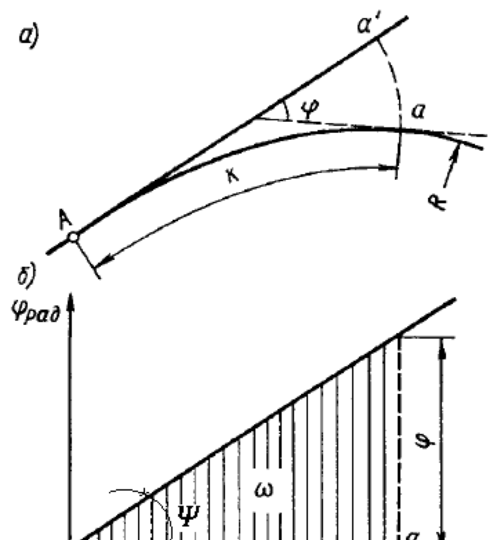


Рис.2. Вывод площади углограммы

Покажем цепочку рассуждений:

$К=R\cdot\varphi_{рад}$ $\rightarrow$ $\varphi_{рад}= К/R$, то есть в правильной круговой кривой угол изменяется по линейному закону (радиус является постоянной величиной).

Чем меньше радиус кривой, тем круче кривая.

Если углограмма на участке правильной круговой кривой – это прямая, то

$\mathrm{tg}\,\Psi$ угла наклона этой линии определится, как

$\mathrm{tg}\,\Psi=\varphi/К = \varphi/ R\cdot\varphi = 1/R = k$ (это первое свойство углограммы).

Определим площадь, ограниченную углограммой и осью абсцисс от начала кривой до т.а:

$\omega=(К\cdot \varphi)/2 = (К\cdot К/R)/2 = К^2/2R = Э$ (это второе свойство углограммы)

На этом свойстве основан способ определения сдвижек пути при выправке кривых. В этом случае уравнение (3) преобразуется:

$$n = \omega_с - \omega_п, \qquad (5)$$

где $\omega_с$ – площадь существующей углограммы; $\omega_п$ – площадь проектной углограммы.

Рассмотрим углограмму с учетом постановки переходных кривых (рис.4).

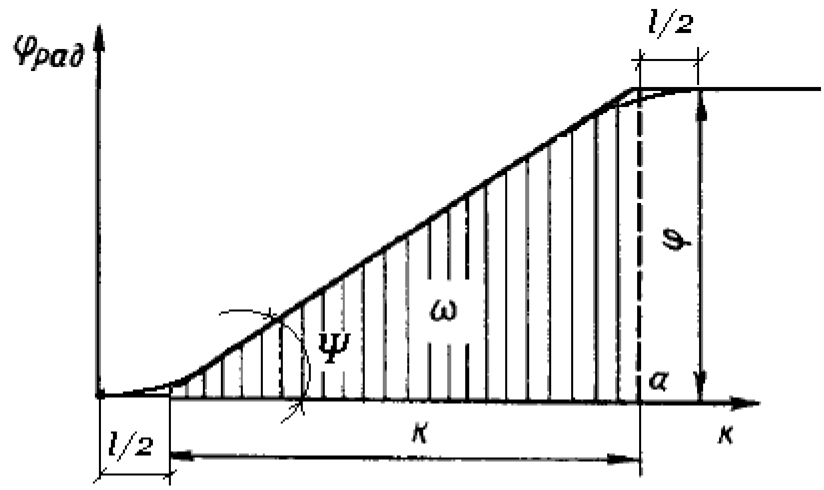


Рис.4. Углограмма с учетом постановки переходных кривых

В пределах круговой кривой $\varphi_i = К_i / R$;

В пределах переходной кривой $\varphi_i = К_i^2 / 2C$;

Основы теории нормалей заложили Гонигберг и Дектярев. Развил эту теорию и дал общее уравнение кривизны в криволинейной системе координат А.К. Дюнин.

Сдвиг в любой точке определяется по нормалям к оси существующего пути, то есть по направлению радиуса кривизны существующего пути.

В практике теории нормалей используются две модели кривых: углограмма и эпюра кривизны.

Представим изображение эпюры кривизны или, как ее еще называют – эпюры стрел (рис.5).

Рис.5. Эпюра стрел

В пределах «чистой» круговой кривой кривизна постоянная и равна k=1/R. В пределах переходной кривой кривизна меняется по линейному закону $k= К_i/C =-К_i/R \cdot l_{пк.}$

Для многорадиусной кривой эпюра стрел представлена на рис.6.

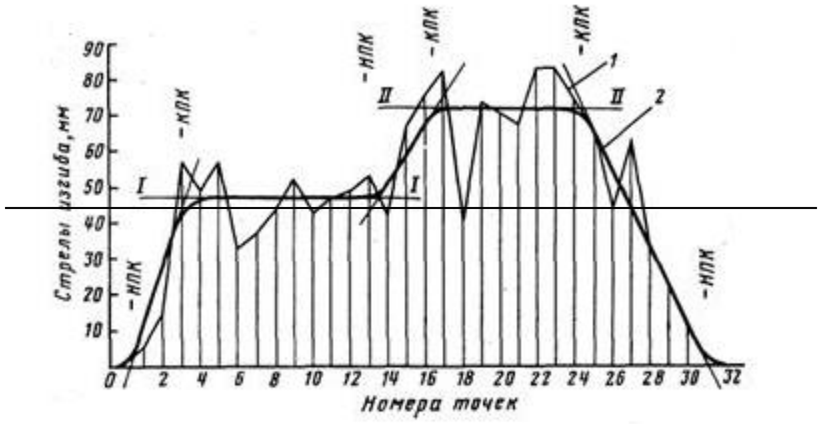


Рис.6. Эпюра стрел многорадиусной кривой

1.3. Способы съемки кривых

В процессе полевой съемки плана в пределах круговой кривой, а также на некотором расстоянии до ее видимого начала и после конца фиксируются точки деления, обычно, через каждые 20 или 10 м.

Существуют следующие способы съемки кривых:

- Способ углов – измеряются углы поворота между хордами a_1, $a_2 \dots a_n$.

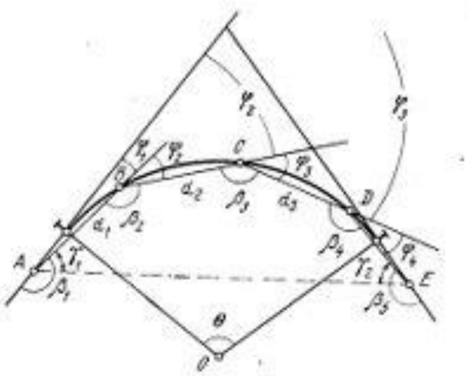


Рис.7. Съемка способом углов

- Способ стрел – измеряются стрелы f_2 $f_3 \dots\dots\dots\dots$ f_n точек 2, 3…..n от кривой до хорды, протянутой между ближайшими соседними точками концов делений.

Рис. 8. Съемка кривой способом стрел

- Смешанный способ И.В. Гоникберга - измеряются углы между основными хордами α_i и расстояний (стрел f_{ij}) от основных хорд до оси пути в точках деления кривой;

- *При разбивке пикетажа по оси кривой, по всей длине кривой, за условное начало которой принимается точка на прямой, лежащая а 50-60 м от видимого начала кривой, на внутренней стороне шейки наружного рельса кривой через* ***20 м*** *наносят штрихи (“****двадцатки****”).*
- *При наличии прямых вставок менее 150 м должна производиться непрерывная разметка “двадцаток” в пределах всего снимаемого участка.*
- *При радиусах кривой* ***менее 600 м*** *“двадцатки” следует намечать, ведя измерения строго по оси пути.*
- *Для кривых* ***радиусом 300 м и менее*** *и при необходимости более детальной съемки кривой* ***разметка должна делаться через 10 м.***
- *От условного начала кривой (НК) до ее конца (КК) по оси пути или наружному рельсу прокладывают теодолитный ход, принимая длину стороны хода (стягивающей хорды) 100 м, а для радиусов 500 м и менее – 80-60 м (рис. 17.1).*
- *На каждой стоянке теодолита измеряют полным приемом углы α_i между хордами, а также стрелы f_i .*

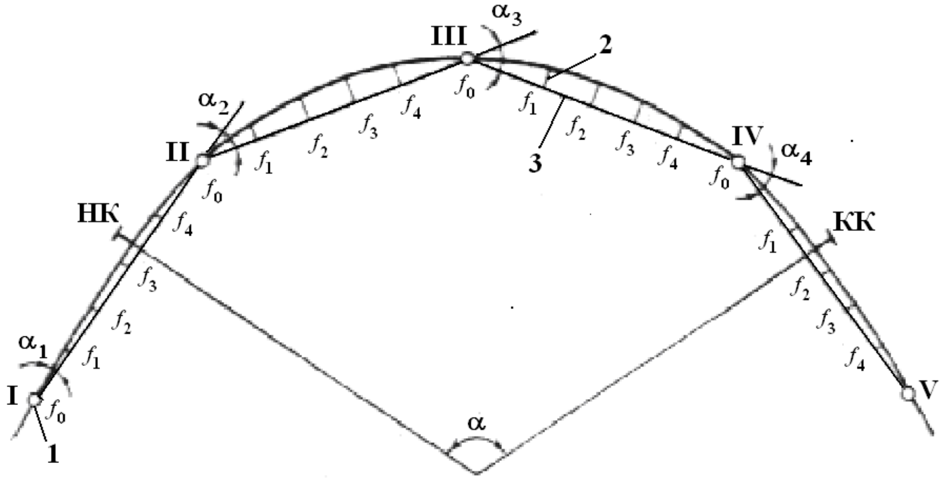


Рис. 9. Схема съемки кривых методом И.В. Гоникберга:
I-V - стоянки теодолита; *1* - наружный рельс; *2* - стрелы;
3 – хорды

- *Величины стрел определяют по горизонтально уложенной рейке, начало делений которой совпадает с осью рельса, отсчеты по рейке берутся по вертикальному штриху сетки нитей теодолита.*

- *Центрирование теодолита и наведение на визирную цель, установленную в конце хорды, по оси рельса следует выполнять, используя специальные приспособления.*
- *Если имеется прямая видимость с начальной на конечную точку, теодолитный ход следует замыкать, измеряя примычные углы. При отсутствии прямой видимости на конечную точку теодолитный ход следует замыкать, выбирая промежуточные точки.*
- *На линиях с интенсивным движением поездов для повышения безопасности топографических работ железнодорожные кривые следует снимать с теодолитного хода, проложенного вдоль земляного полотна.*
- *Стоянки теодолита закрепляют, как правило, со стороны наружного рельса по нормали к кривой на расстоянии от него не менее 2 м так, чтобы линия визирования не пересекала наружный рельс.*

- Координатная съемка кривых существующего железнодорожного пути координатным способом (способом полярных координат) с помощью электрооптических и электронных тахеометров.

Последовательно определяют координаты равномерно расположенных точек по оси пути или по одному из рельсов.

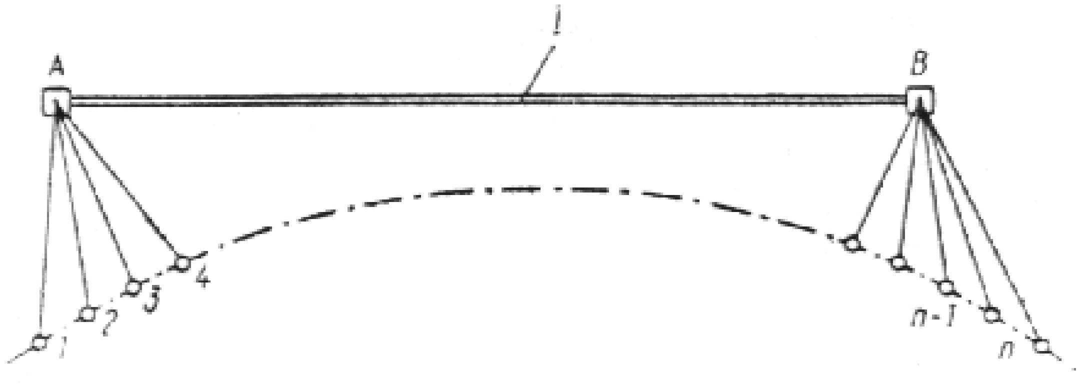


Рис. 8. Схема съемки кривой с базиса:

1, 2…n - точки на оси пути; —·—·—·—· - ось пути

Для фиксирования оси пути следует применять специальную штангу с отражателем. Если же определяются координаты головки рельса, используют раздвижную веху с укрепленным на ней отражателем.

Кривую на равные отрезки (длиной 10-20 м) можно не разбивать, а использовать стыки рельсов.

Координаты точек кривой определяют методом полярных координат с точек светодальномерного хода или произвольного базиса. Съемку небольших отдельных кривых можно выполнять с одной точки, не прокладывая светодальномерного хода.

Положение точек магистрального хода или произвольного базиса выбирают в стороне от кривой так, чтобы расстояние до точек на оси пути не превышало 300 м.

Если съемку кривой производят с одной точки, то при вычислениях ей приписывают условные координаты, а за начальное принимают произвольное направление, считая его дирекционный угол равным 0°.

При съемке кривой с произвольного базиса (рис. 17.2) измеряют длину базиса и с обоих концов базиса выполняют съемку точек кривых. Точке А приписывают произвольные значения координат, а дирекционный угол базиса принимают равным 0°.

Зная длину базиса АВ, измеренную светодальномером, вычисляют координаты точки В и дальнейшие вычисления координат точек кривой выполняются известным способом.

Для определения угла поворота кривой во всех случаях первые (1, 2) и две последние (n-1; n) точки должны лежать на прямых, примыкающих к кривой.

Угол поворота кривой получают как разность дирекционных углов линий 1-2 и (n-1)-n.

1.4. Преобразование результатов съемки в модели кривых

1.4.1 Метод стрел

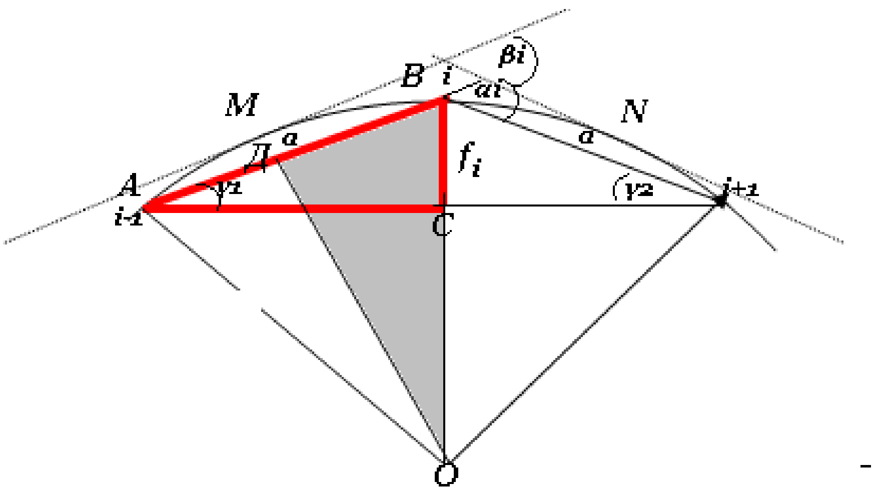


Рис.9. Связь между стрелами и углами поворота

Рассмотрим треугольник АВС и ВДО. Эти треугольники подобны, следовательно:

ВС/АВ = ВД/ВО

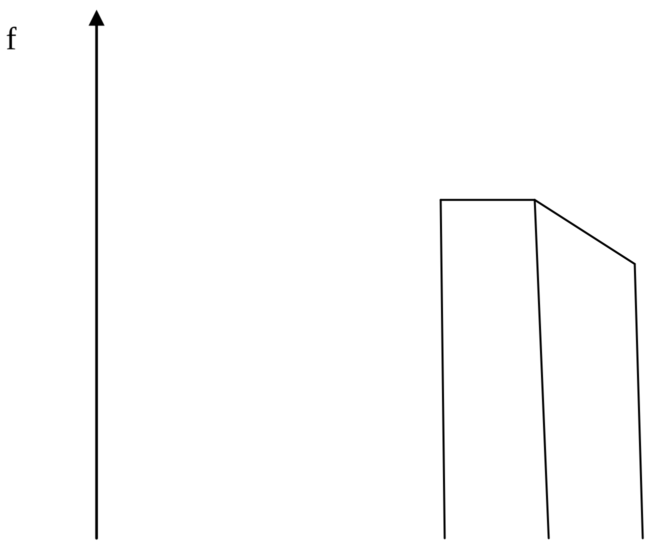
Но, ВД=АВ/2; ВС=f; АВ=a; ОВ=R.

Следовательно, $f/a = a/2R$, поэтому $f_i = a^2/2R$, м или в мм:

через радиус кривой $f_i = 500 \cdot a^2/R$, (6)

через кривизну пути $f_i = 500 \cdot a^2 \cdot k.$, (7)

Таким образом, используя способ стрел мы получаем график кривизны в масштабе $500 \cdot a^2$.



Теперь рассмотрим угол, образованный касательными к т.M и N.

Эти касательные параллельны хордам. Угол β_i равен сумме двух внутренних не смежных с ним.

Угол $\beta_i = \gamma_1 + \gamma_2 = 2\gamma$

Из треугольника АВС $f_i = a \cdot \sin\gamma$ $\gamma = \arcsin(f_i/a)$

$\beta_i = 2 \arcsin(f_i/a)$

Разложим в ряд Маклорена $\arcsin(f_i/a) = f_i/a(1 + (1/6)\cdot(f_i^2/a^2) + \ldots.)$

Если принять a= 10000мм; f_i = 100мм, то $(1/6)\cdot(f_i^2/a^2) = 2\cdot10^{-5}$*рад* (можно принебречь этим членом, тогда

$$\beta_i = 2\cdot f_i/a \tag{8}$$

Угол поворота всей кривой определится:

Обозначим сумму стрел от первой до N – ой точки через $S^/$, то есть

$$\sum_1^N f_i = S^/$$

$\varphi = \sum_1^N \beta_i$ или:

$$\varphi = \frac{2S^/}{a}, \tag{9}$$

где φ - угол поворота всей кривой, выраженный через сумму всех стрел, рад; a – деление кривой.

Здесь приняты размерности: f, м; a, м.

Если перевести f, мм; a, м, то формула (9) примет вид $\varphi = \dfrac{S^/}{500\cdot a}$, рад.

Способ стрел дает возможность вести контроль за точностью измерений.

В паспорте кривой приводится сумма стрел. Она должна строго соответствовать углу поворота кривой, φ.

$$\varphi = \frac{2S^/}{a} \longrightarrow S^/ = \frac{\varphi\cdot a}{2}.$$

Например: φ =1 рад; a=10000мм

$S_{пас}'$= 5000мм.

Наибольшее отклонение суммы измеренных стрел от паспортного значения не должно превышать $\delta S' = \tau \cdot \sqrt{N}$,

где τ – точность замеров; N – количество замеров, Практика показала – при а = 10 м τ=1.5 мм.

$$S'_{\text{ïàñ}} - S'_{\text{èçì}} \le \delta S' \qquad (10)$$

1.4.2 Смешанный способ

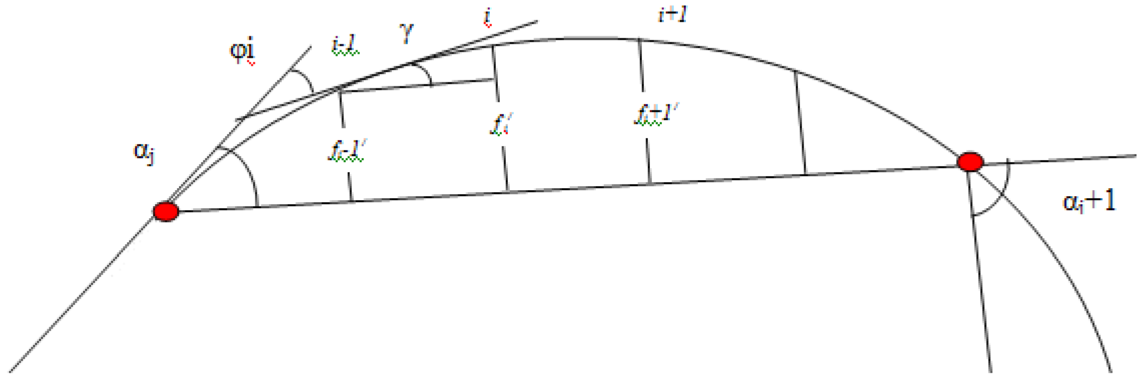


Рис.11. Преобразование результатов смешанного способа в модель кривой

Чтобы построить углограмму, нам нужен угол поворота касательной к кривой относительно прямого подхода.

Проведем касательную на середине отрезка от *i-1 до i.*

$$\varphi_i = \sum_1^j \alpha_j - \gamma_i \qquad (11)$$

Но $\gamma_i = \arcsin \frac{f_i' - f_{i-1}'}{a} \approx \frac{\Delta f_i'}{a}$, тогда выше приведенная формула примет вид:

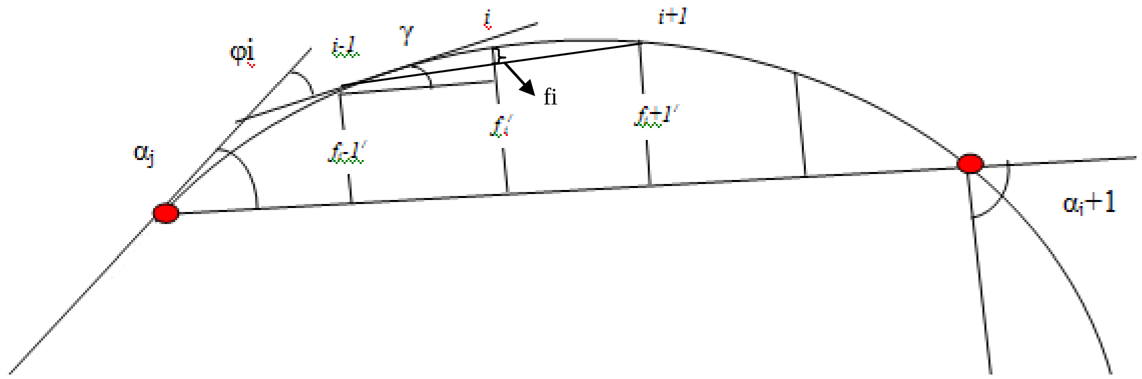
$$\varphi_i = \sum_1^j \alpha_j - \frac{\Delta f_i'}{a} \qquad (12)$$

Этот способ съемки позволяет сразу получить углограмму, используя формулу(10).

Кроме того, если возьмем первую производную от φ_i , то получим кривизну в т.i. Поэтому график приращения углов φ в последовательно расположенных точках – это график кривизны в определенном масштабе.

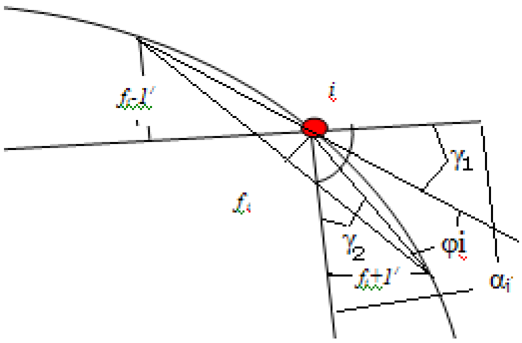
Надо отметить, что смешанный способ съемки позволяет произвести пересчет стрел, измеренных от большой хорды (100м- 5а) в стрелы, измеренные от хорд 2а. Это позволяет в дальнейшем также выйти на модель кривой – эпюру стрел.

Рассмотрим любую промежуточную точку, в которой замеряется стрела.



$$f_i = f_i^{/} - \frac{f_{i-1}^{/} + f_{i+1}^{/}}{2} \qquad (13)$$

Рассмотрим точку стоянки теодолита



Из формулы (8) $\varphi_i = 2\cdot f_i/a$,но

$$\varphi_i = \alpha_i - \arcsin\frac{f'_{i+1}}{a} - \arcsin\frac{f'_{i-1}}{a} \quad \text{или} \quad \varphi_i = \alpha_i - \frac{f'_{i+1}}{a} - \frac{f'_{i-1}}{a}$$

$$\frac{2f_i}{a} = \alpha_i - \frac{f'_{i+1}}{a} - \frac{f'_{i-1}}{a} \quad \text{или} \quad 2f_i = \alpha_i a - \frac{f'_{i+1}a}{a} - \frac{f'_{i-1}a}{a}$$

$$f_i = \frac{\alpha_i a}{2} - \frac{f'_{i=1} + f'_{i+1}}{2} \qquad (14)$$

Или в общем виде:

$$f_i = \frac{\alpha_i a}{2} + f'_i - \frac{f'_{i=1} + f'_{i+1}}{2} \qquad (15)$$

В точке стоянки теодолита – α_i # 0, а f_i =0;

в любой промежуточной точке - α_i =0, а f_i #0.

Литература:

1. Основы проектирования, строительства и реконструкции железных дорог: Учебник /Под общ. Ред. Ю.А. Быкова и Е.С. Свинцова. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 448с.

2. Миронов В.С., Гороховцев Б.И., Турбин И.В. Проектирование реконструкции железной дороги: Методические указания к курсовому проектированию / Под редакцией В.С. Миронова. – М.: МИИТ, 2007. – 99 с.

3. Подвербная О.В. Проектирование реконструкции железных дорог: учеб. Пособие по курсовому и дипломному проектированию /Подвербная О.В. и др.. – Иркутск: ИрГУПС 2019. – 340с.