

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ СЪЕМКИ КРИВЫХ ПРИ ВОЗРАСТАНИИ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

В умовах підвищення швидкості руху поїздів зростають вимоги до утримання кривих ділянок колії. У статті проаналізовані відомі методи зйомки кривих з точки зору точності інформації, що отримується. Надавні рекомендації щодо технологій зйомки для підвищення точності.

В условиях повышения скоростей движения поездов возрастают требования к содержанию кривых участков пути. В статье проанализированы известные методы съемки кривых с точки зрения точности получаемой информации. Даны рекомендации по технологиям съемки для повышения точности.

In conditions of increasing train traffic speeds the maintenance requirements for curve track sections must be revised to more strict ones. Familiar techniques of surveying curves are analyzed in the paper from the viewpoint of accuracy of the data obtained. Some recommendations on the survey procedures for improving their accuracy are proposed.

При возрастании скоростей движения поездов особое внимание следует уделять вопросам содержания и рихтовки кривых участков пути, которые волнуют практиков и теоретиков железнодорожного пути уже более 100 лет.

Проблема распадается на четыре направления:

1. Как снимать кривую?
2. Какую математическую модель кривой использовать?
3. Каким методом рассчитывать рихтовки?
4. Как реализовать полученные рихтовки?

Что касается возможности реализации заданных рихтовок, то рассмотрение этих вопросов не входит в задачу данной статьи, хотя можно отметить, что современная техника позволяет это сделать с достаточной точностью.

Анализ методов расчета кривых показывает, что требуемая точность может быть обеспечена только при координатном методе расчета, когда в качестве исходных данных используются координаты отдельных точек кривой. Это позволяет воспользоваться достаточно строгой математической моделью кривой и уйти от целого ряда погрешностей, вносимых «эвольвентным» представлением задачи. В настоящее время авторы статьи работают над принципиально новым методом расчета, в котором ликвидированы практически все допущения, ведущие к погрешностям расчета. Частично метод реализован на основе рекуррентной модели плана и позволяет выполнять расчеты выправки кривых практически любой сложности.

В данной статье рассматриваются существующие методы съемки кривых и даются рекомендации по их усовершенствованию. На сегодняшний день для получения информации о состоянии кривой могут использоваться:

- 1) путеизмерительные ленты;
- 2) машинная съемка кривой путерихтовочными машинами;
- 3) ручная съемка кривой методом стрел;
- 4) съемка кривой методом Ленгипротранса;
- 5) полярная съемка для определения координат точек кривой;
- 6) съемка точек кривой с помощью систем спутниковой геодезии.

Использование путеизмерительных лент для расчетов выправки кривых неоправданно из-за низкой точности информации. Машинная съемка кривых в большинстве случаев также не обеспечивает требуемой точности и практически не применима в координатных методах расчета.

Развитие систем спутниковой геодезии позволяет получить требуемую точность, однако съемка одной точки может занимать до 30 минут, а на электрифицированных линиях погрешность, вносимая контактными проводами, делает точность съемки недостаточной.

В практике текущего содержания по-прежнему одним из наиболее точных методов съемки остается метод стрел [1]. При этом на кривой делается, как правило, один проход с измерением стрел изгиба после чего выполняется расчет выправки с последующей рихтовкой. Следует отметить, что результаты такой съемки содержат случайные и систематические ошибки, которые могут существенно повлиять на результаты всей работы.

В качестве примера рассмотрим одну из кривых Львовской железной дороги, на которой было выполнено три независимых измерения. Для каждого из замеров были сделаны расчеты выправки по программе, основанной на рекуррентной модели плана.

После расчета полученные сдвиги применялись к среднему из трех съемок положению кривой (предполагая, что средние значения снятых стрел близки к истинным). При этом использовалась известная формула соотношения между проектной H_i и измеренной h_i

стрелами, а также сдвигами в соседних точках e_{i-1} , e_i и e_{i+1}

$$H_i = h_i + e_i - (e_{i-1} + e_{i+1})/2.$$

Отличия полученных стрел от ожидаемых представлены на рис. 1.



Рис. 1.

Пример наглядно показывает необходимость хотя бы двойного промера стрел. Кроме того, стрелы следует уравнивать так, чтобы сумма стрел равнялась углу поворота кривой. Реальная среднеквадратическая погрешность измерения стрел изгиба составляет $m_f = 0,5\sqrt{n}$, мм, а предельная погрешность определяется как утроенная погрешность отдельного измерения, поэтому

$$m_f = 1,5\sqrt{n},$$

где n – число измеренных стрел изгиба.

Наиболее точное значение угла поворота кривой получают инструментальным способом (метод Ленгипротранса [2]).

Если считать, что угловые измерения выполнены равноточно, то согласно теории погрешностей [3] предельная средняя квадратическая погрешность m_β суммы измеренных горизонтальных углов составит

$$m_\beta = 1,5t\sqrt{n},$$

где t – точность отсчета углового измерения;
 n – количество измеренных углов.

Уменьшение инструментальных погрешностей достигается соответствующей методикой измерений (измерения при КЛ и КП).

На рис. 2 приведена схема натуральных измерений кривой длиной 600 м. Разбивка кривой выполнена через 10 м. В целях повышения точности и контроля угловых измерений следует брать дополнительные точки на обочине для того, чтобы образовался замкнутый теодолитный ход.

Для расчетов выправки кривой одновременно с угловыми измерениями определяются стрелы изгиба «под теодолит» во всех точках деления кривой по горизонтально уложенной нивелирной рейке специальной конструкции.

Исследования показывают, что рейку необходимо «качать» в горизонтальной

плоскости и брать наименьший отсчет, так как при снятии отсчетов без покачивания отклонение рейки от перпендикулярности к лучу визирования может составить до 10 градусов.

В табл. 1 приведены ошибки в стрелах изгиба, если плоскость рейки не перпендикулярна

визирной плоскости зрительной трубы теодолита. Для повышения точности измерений и исключения грубых ошибок стрелы изгиба должны измеряться дважды с разных установок теодолита.

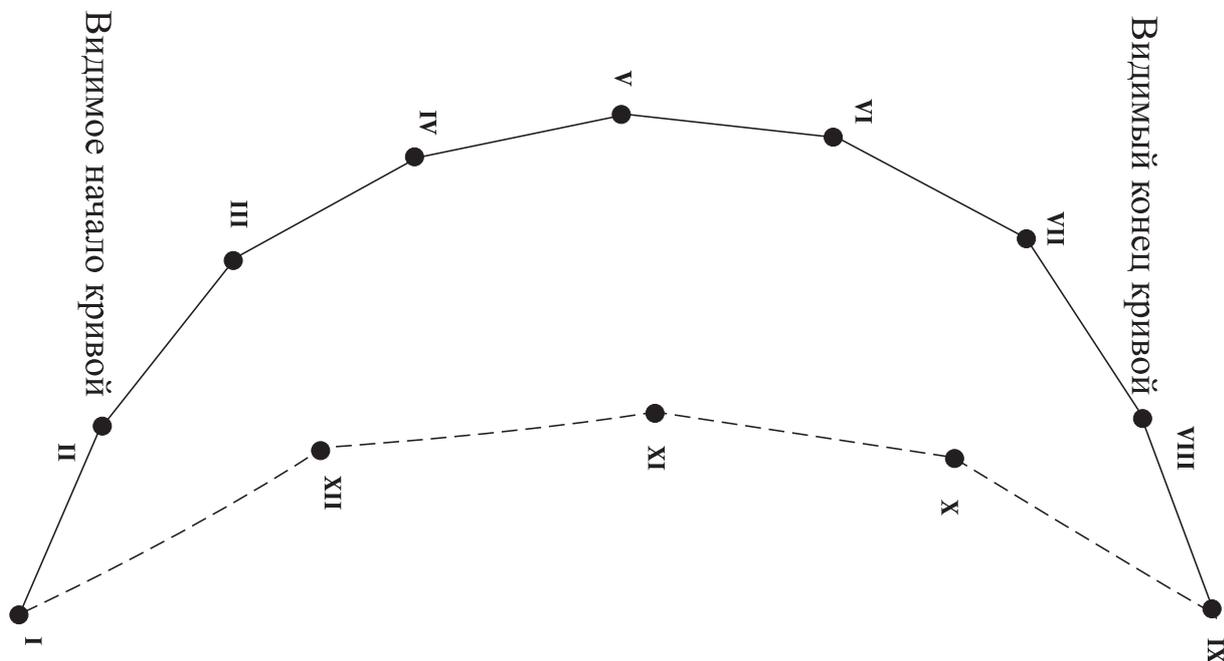


Рис. 2.

Таблица 1

Ошибки в измеренных стрелах изгиба кривой при отклонении плоскости рейки от перпендикулярности к визирной оси зрительной трубы теодолита

Измеренные стрелы изгиба, мм	Ошибки в стрелах изгиба, мм, если отклонение от перпендикулярности составляет, град.			
	1	2	5	10
300	0,05	0,18	1,15	4,63
900	0,14	0,55	3,44	13,89
1500	0,23	0,90	5,73	23,14
2500	0,38	1,52	9,55	38,57

Так как для выправки кривой рекомендуется использовать координатные методы, оценим точность вычисления координат точек железнодорожного пути при разных способах съемки.

Способ стрел. По измеренным стрелам изгиба координаты конечной точки разбивки кривой могут быть определены по формулам (1) и (2):

$$x_k = a + \sum_1^{i-1} a \cdot \cos \left(2 \sum_1^{i-1} \arcsin \frac{f_i}{a} \right); \quad (1)$$

$$y_k = \sum_1^{i-1} a \cdot \sin \left(2 \sum_1^{i-1} \arcsin \frac{f_i}{a} \right). \quad (2)$$

Исходя из теории погрешностей геодезических измерений [3], дифференцируем выражения (1) и (2) по a и f и получаем рабочие формулы для оценки точности вычисления координат

$$m_{xi} = m_a \sqrt{2i}; \quad (3)$$

$$m_{yi} = m_f \sqrt{2i(i-1)}, \quad (4)$$

где i – номер точки деления кривой.

После преобразования (3) и (4) получим формулу для определения среднеквадратической погрешности координат точек деления кривой.

$$m = \sqrt{2i \left[m_a^2 + m_f^2 (i-1) \right]}.$$

Так, при $n = 100 - m = 141$ мм.

Способ Ленгипротранса. Способ заключается в прокладке теодолитного хода и измерении в нем горизонтальных углов, расстояний и стрел изгиба, как было приведено ранее. Оценим точность данного способа при измерениях, выполненных традиционным способом (технический теодолит 2ТЗ0П, землемерная лента ЛЗ-20). Относительная погрешность измерения длины составит $1/2000$, а точность угловых измерений – $30''$. Определим среднеквадратическую погрешность вычисления приращений координат. Приращения координат вычисляются так:

$$\Delta X = S \cos \alpha ; \Delta Y = S \sin \alpha ,$$

где S – горизонтальное проложение;
 α – дирекционный угол.

Выполнив вычисления в соответствии с [3] получаем, что среднеквадратическая погрешность в определении координат конечной точки только одной хорды составляет более 50 мм. Если же учесть отклонение рейки от перпендикулярности к лучу визирования, то погрешности в определении координат точек деления пути увеличатся.

Способ полярных координат. Этот способ был рекомендован нами для съемки точек кривой полярным методом от базисного теодолитного хода.

Если измерения выполнены теодолитом 2ТЗ0П и рулеткой длиной 50 м с пяти станций, то среднеквадратические погрешности координат точек кривой составят до 40 мм.

При выполнении съемки электронным тахеометром SET630R среднеквадратические погрешности координат точек железнодорожного пути (с учетом погрешностей исходных данных) составят от 3 до 6 мм.

Выводы

1. В паспорте каждой кривой должно быть указано точное значение угла поворота кривой, длина отрезка деления кривой и теоретическая сумма стрел изгиба.

2. При съемке кривой способом стрел в полевых условиях необходимо определить сумму измеренных стрел изгиба, которая не должна отличаться от теоретической суммы на величину допустимого значения, в противном случае измерения повторить и выполнить их более тщательно. При расчетах необходимо уравнивать измеренные стрелы по углу поворота.

3. При отсутствии точного значения угла поворота кривой стрелы изгиба необходимо измерить дважды (в прямом и обратном направлениях). Расхождение в суммах этих стрел не должно превышать допустимого значения. Дальнейшие расчеты кривой осуществляют по средним значениям стрел изгиба.

4. При выполнении съемки кривой способом Ленгипротранса необходимо для контроля угловых измерений прокладывать замкнутый ход. Стрелы изгиба целесообразно измерять дважды в прямом и обратном направлениях, с обязательным «покачиванием» рейки в горизонтальной плоскости.

Наиболее предпочтительным по точности является способ съемки кривой электронным тахеометром полярным методом от теодолитного хода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Інструкція по устрою та утриманню колій залізниць України. № 0050/ЦП. – К.: Транспорт України, 1999. – С. 6–7.
2. Шведков В. В. Геодезическая съемка железнодорожных путей. – М.: Недра, 1966. – С. 5–12, 42–52.
3. Хренов Л. С. Инженерная геодезия. – М.: Высш. шк., 1985. – 352 С.