

НОВЫЕ СПОСОБЫ СЪЕМКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КРИВЫХ

Розглянуті недоліки існуючих методів зйомки залізничних кривих і запропоновані нові, що забезпечують більшу точність вимірювань.

Рассмотрены недостатки существующих методов съемки железнодорожных кривых и предложены новые, обеспечивающие большую точность измерений.

The article examines drawbacks of existing methods of rail curves survey and proposes new ones, providing greater accuracy of the measurements.

Состояние криволинейных участков железнодорожного пути во многом определяет допускаемые скорости и комфортность езды поездов. При возрастании скоростей проблема обеспечения геометрически правильного положения железнодорожного пути приобретает особую актуальность.

Длительное время внимание разработчиков было направлено на процессы, связанные с расчетами и рихтовкой кривых. Следует заметить, что работы по рихтовке кривых требуют достаточно больших денежных вложений. В то же время вопросы съемки кривых отодвигались на второй план. В результате зачастую большие затраты, направленные на рихтовку, оказывались бросовыми, так как съемка кривых была выполнена недостаточно точно. Как показали расчеты [1], из-за неточной съемки кривая после рихтовки может стать даже хуже, чем была до выполнения работ.

Как известно, в практике содержания пути основным методом съемки является метод стрел. Основная проблема этого метода – накопление ошибки. Эта проблема за счет более точных угловых измерений несколько уменьшается в методе Ленгипротранса (другие его названия – Гоникберга или инструментальный).

Этот метод применяется в основном в проектных организациях, да еще и с несоблюдением технологии, что также не обеспечивает точность информации о состоянии кривой.

Следует отметить, что ряд ограничений существующих методов съемки связан с методами расчетов. Методы расчетов основаны, как правило, на замене интегрирования суммированием, а это приводит к необходимости выполнять измерения на постоянном расстоянии.

Модифицированный метод стрел

В текущем содержании пути измерения кривизны производят замером стрел прогиба с шагом 10 м. Попытка уменьшить это расстояние до 5 м приводит к уменьшению абсолютного значения стрелы в 4 раза и соответственно к увеличению относительной погрешности. Кроме того, традиционный метод стрел не имеет избыточной информации, что не позволяет отследить ошибки и урвать результаты измерений.

Для ликвидации указанных недостатков автором предложен модифицированный метод стрел, в котором уменьшение шага не приводит к уменьшению стрел, а также вводится избыточность измерений. Схема измерений имеет следующий вид (рис. 1).

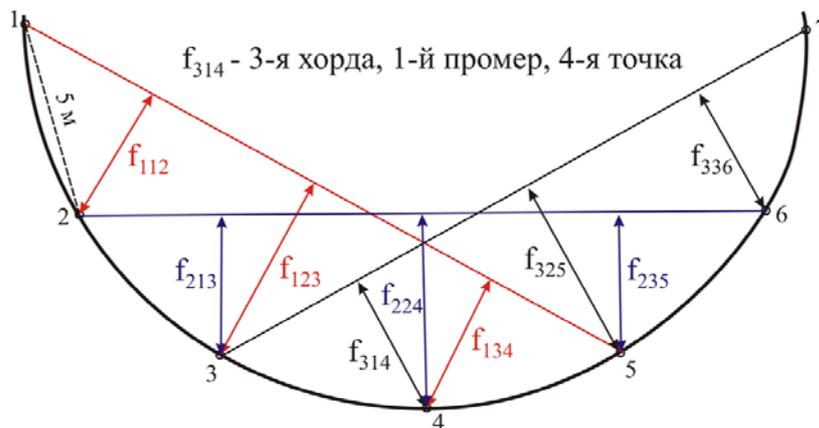


Рис. 1. Модифицированный метод стрел

Измерения выполняются следующим образом. Участок разбивается с шагом 5 м, но хорда, как и в традиционном методе стрел, натягивается на расстоянии около 20 м. После натягивания хорды измерения делаются в трех промежуточных точках. После этого хорда переносится на очередные точки через 5 м и измерения повторяются. В результате каждая точка (кроме начальных и конечных) измеряется по три раза, что позволяет повысить и оценить точность измерений.

При обработке результатов измерений вначале рассчитываются ориентировочные значения координат каждой точки, а затем вычисляется корреляционная матрица координат:

$$K_{xx} = AK_{\ell\ell}A^Tl, \quad (1)$$

где ℓ – вектор измеренных величин; x – вектор определяемых координат; A – матрица производных $\partial x/\partial \ell$ (координат по измеренным величинам); $K_{\ell\ell}$ – дисперсионная матрица измеренных величин; A^T – транспонированная матрица производных.

Вектор измеренных величин в этом случае состоит из всех стрел и расстояний между точками, а вектор определяемых координат – из координат X и Y каждой точки. Возможно также уравнивание координат при известном угле поворота.

В результате уравнивания получаем уравненные координаты и ошибки определения положения снимаемых точек в виде эллипса ошибок

$$\sigma_{xy}^2 = \frac{1}{2} \left(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 \pm \sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)^2 + 4K_{xy}^2} \right) \quad (2)$$

с углом поворота его большего диаметра относительно оси X

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctg \left[\frac{2K_{xy}}{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)} \right]. \quad (3)$$

Экспериментальные измерения показали, что при модифицированном методе ошибки определения положения отдельных точек пути могут достигать 30 и более мм. Понятно, что обычный метод стрел дает существенно большую погрешность [2].

Полярный метод

Появление электронных тахеометров позволило существенно повысить точность и скорость геодезических измерений.

Съемку плана железнодорожного пути полярным способом с применением электронных тахеометров рекомендуется выполнять следующим образом (рис. 2).

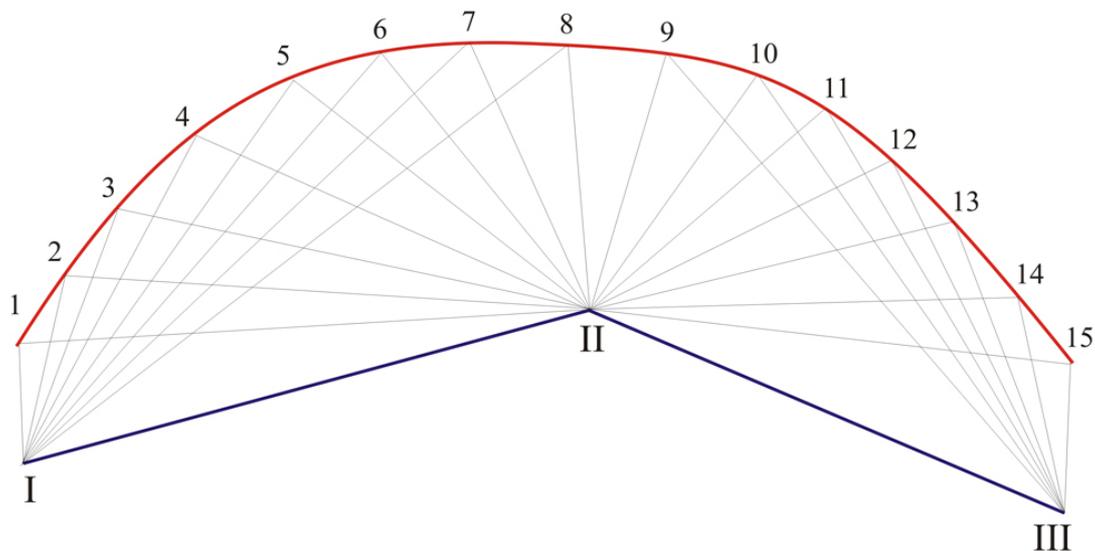


Рис. 2. Съемка плана пути полярным способом

В стороне от пути создается (или используется имеющийся) базисный теодолитный ход. Стоянки тахеометра находятся на вершинах этого хода, а координаты отдельных точек пути снимаются полярным способом от базисного

теодолитного хода. Для съемки координат по оси пути может использоваться прибор, разработанный автором совместно с Киевгипротрансом и ООО «Транспроект» (рис. 3).



Рис. 3. Прибор для съемки плана по оси пути

Как показал анализ [3], расстояния между съемочными точками могут не измеряться и располагаться произвольно на усмотрение проектировщика. Уравнивание выполненных измерений может производиться либо в специальных компьютерных геодезических системах, либо по методике [3].

Для достижения максимальной точности целесообразно съемку вести одновременно двумя тахеометрами (естественно при их наличии) с двух стоянок.

Полярная съемка дает наиболее точную информацию о положении пути в плане и рекомендуется в первую очередь для решения задач по реконструкции плана линии, а также при

проектировании плана двух путей для обеспечения габаритного уширения.

Обработку полученных координат и расчеты параметров плана наилучшим образом можно выполнить в программе автора RWPlan 1.2.

Метод прямоугольных координат

При съемке коротких кривых малого радиуса (например, закрестовинных) традиционный метод стрел не позволяет получить достаточно полную информацию о состоянии плана. Выходом в данной ситуации может быть использование модифицированного метода стрел. Второй подход в таких ситуациях – метод прямоугольных координат (рис. 4).

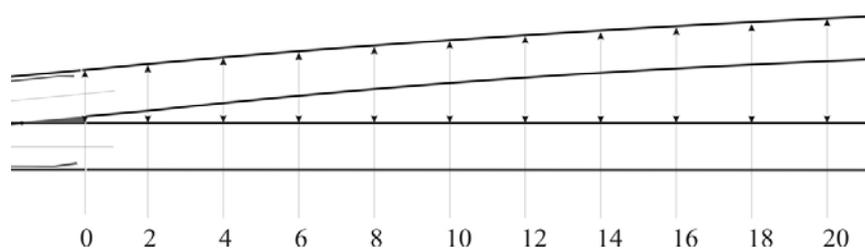


Рис. 4. Метод прямоугольных координат

Базисной линией для измерений в этом случае может быть либо какой-нибудь рельс (при его прямолинейном положении), либо растянутая вблизи пути рулетка. От базиса по перпендикуляру с шагом 2...5 метров производится измерение расстояний до точек снимаемого пути. Полученные координаты вводятся в программу RWPlan и выполняются все необходимые расчеты.

Перспективные методы измерений плана

Появление современных электронно-механических систем типа голографических преобразователей и гироскопов позволяет подойти к разработке принципиально новых методов съемки. На наш взгляд, наиболее эффективным может быть измерение угла поворота кривой в каждой точке. Измерение угла сегодня может выполняться с существенно большей точно-

стью по сравнению с линейными измерениями и позволяет отказаться от интегрирования кривизны для получения угла. Автором совместно с доцентами Н. А. Лошкаревым и Н. Г. Ренгачем разработан макет прибора (рис. 5), позво-

ляющего измерять угол поворота при движении вдоль пути. Промышленная реализация такого прибора позволила бы существенно повысить точность съемки плана как в дистанциях пути, так и в путерихтовочных машинах.



Рис. 5. Макет прибора для измерения угла поворота вдоль пути

Выводы

Появление новых измерительных инструментов и методов расчета выправки кривых позволяет использовать методы съемки, обеспечивающие более высокую точность информации о положении пути в плане.

Традиционные методы съемки пути без специальных приемов (многократные измерения и уравнивание результатов) не обеспечивают требуемой точности информации. В результате очень небольшая экономия затрат на съемке оборачивается огромными бросовыми затратами при рихтовке пути.

В текущем содержании рекомендуется при съемке пути для последующих расчетов использовать либо модифицированный метод стрел, либо метод прямоугольных координат.

При съемке пути для проектных целей рекомендуется использовать полярный метод съемки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корженевич И. П. Влияние точности съемки методом стрел на результаты рихтовки. Материалы науч.-техн. конф., посвященной 125-летию Свердловской железной дороги «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» / Сб. науч. тр. – Т.1.– Екатеринбург: Изд-во УрГУПС. –2003. С. 440-444.
2. Корженевич И. П. Оценка точности и оптимизация процедур съемки железнодорожных кривых / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач, Н. А. Лошкарев // Вісник Днепропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Днепропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, – 2005. – № 11. – С. 50–60.
3. Корженевич И. П. Исследование точности полярного способа съемки железнодорожных кривых / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач, Н. А. Лошкарев // Вісник Днепропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Днепропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, – 2005. – № 13. – С. 53–57.

Поступила в редколлегию 02.02.2006.