

В. Ф. СУШКОВ, О. О. МАТВИЕНКО, В. Г. МАНУЙЛЕНКО,
П. И. ЛОЦМАН, В. Н. ОПАРА (УкрДАЗТ)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАВЕРСНОЙ ПОЛИГОНОМЕТРИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ МАГИСТРАЛИ

Створення геодезичної мережі у смугі відведення залізничної колії можливо з використанням метода траверсної полігонометрії. Доведено ефективність створених опорних пунктів для контролю геометрії колії.

Создание геодезической сети в полосе отвода железной дороги возможно с использования метода траверсной полигонометрии. Доказана эффективность создания опорных пунктов для контроля геометрии пути.

Creation of a geodetic network in a permanent way of a railroad is possible with the use of method of traverse measurements. Efficiency of establishment of sectional control points for the track geometry control has been substantiated.

В связи с нестабильностью геометрических характеристик железнодорожного пути, вопросы контроля планово-высотных показателей имеют большое научно-техническое значение для дальнейшей эксплуатации и развития исследуемой системы. Известно также, что результаты наблюдений за смещением рельсовой нити имеют актуальное значение для разработки исходных параметров скоростного и высокоскоростного движения.

Наиболее эффективно поставленная задача решается с использованием метода фиксированных точек, созданных на основе специальной планово-высотной геодезической сети в непосредственной близости от магистрали (в полосе отвода) [3]. Наличие сети позволяет определить деформации рельсовой нити, проводить систематический мониторинг состояния искусственных сооружений земляного полотна при эксплуатации, а также создавать и систематически обновлять базу данных по линии. Концентрация геодезических работ в непосредственной близости к линии обусловлена: а) вытянутой линейной формой объекта съемки; б) относительной отдаленностью от районов, обеспеченных триангуляционными пунктами; в) необходимостью построения продольного профиля, нивелировкой рельсовых нитей; г) производством геологических и гидрогеологических работ одновременно с геодезическими.

Основным методом построения геодезической основы являются светодальномерная и траверсная полигонометрии с использованием триангуляционных звеньев и построений [4]. Применение триангуляционного метода, основанного на построении цепи треугольников, вершины которых располагаются вдали от железнодорожной линии нецелесообразно. С це-

лю усовершенствования существующей методики по прокладке траверса и других вопросов, связанных с построением геодезической сети, на Роганском полигоне в конкретных производственных условиях, были произведены экспедиционные исследования.

В процессе полевых работ прокладывался ряд линий с углами близкими к 180° , измерялись стороны и углы траверса. Траверс был проложен между триангуляционными пунктами п. Рогань и Зеленый Колодезь. Общая длина 15,8 км. В средней части траверс был привязан к пункту Рассвет, определенному с применением GPS технологий. В связи с влиянием боковой рефракции пункты траверса располагались по обе стороны железнодорожного полотна.

При прохождении траверса по кривой опорный пункт выбирался в точке пересечения двух касательных. На длинных прямых участках дороги в качестве узловых точек использовались головки анкерных болтов, металлических ферм, километровые точки. Привязкой к п. Рассвет траверс разбился на 2 части: 1) Рогань–Рассвет, длина 9,2 км; 2) Рассвет–Зеленый Колодезь, длина 6,6 км.

Поворотные пункты траверса закреплялись на местности при помощи колец диаметром 10...12 см, диаметр длиной 50...60 см, забиваемых в уровень земли (табл. 1). Привязка начальной точки траверса состояла в снятии координат с вершины на землю. Окопка и установка сторожка были обязательны. Вся полевая работа была выполнена с 17.06. по 15.08.2004 г.

Последняя привязка траверса была в самом конце на расстоянии 2,1 км от предыдущей привязки в Рассвете. Уравнивание траверса приведено отдельно по каждому ходу традиционным способом.

Параметры траверсного хода

| Показатели | Траверс | | |
|------------------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| | Рогань–Рассвет | Рассвет–Зеленый Колодезь | Рогань–Зеленый Колодезь |
| Периметр | 9,2 | 6,6 | 15,8 |
| Замыкающая L , км | 7,1 | 7,3 | 11,4 |
| Прямолинейность хода [1] L | 1,3 | 1,1 | 1,2 |
| Число сторон | 28,0 | 14,0 | 42,0 |
| Средняя длина: | | | |
| L_0 , м | 176,5 | 172,0 | 168,5 |
| L_{\min} , м | 103,0 | 108,0 | 99,0 |
| L_{\max} , м | 250,0 | 225,0 | 218,0 |

В процессе экспедиционных работ измерялись вертикальные и горизонтальные углы поворота траверса, углы при привязке к триангуляции. Измерение горизонтальных углов выполнялось с двумя полными приёмами, каждый из которых состоял из трех повторений. Для уточнения передачи дирекционного угла, где позволяли условия местности, углы измерялись между замыкающими линиями пунктов траверса. Число приёмов в этом случае было три, по три повторения в каждом. Значения углов в отдельных приемах находились обычно в пределах $\pm 10''$. В единичных случаях этот предел доходил до $\pm 15''$, но не больше. Средняя квадратичная ошибка угла, измеренного одним приемом с тремя повторениями, была определена двумя путями – один раз она была подсчитана по 38 разностям двойных измерений углов по двум приемам

$$m_{\beta}^1 = \pm \sqrt{\frac{[dp^2]}{2n}} = \pm 4'', 4.$$

Во второй раз они были вычислены как средняя квадратичная ошибка ряда ошибок, полученных отклонением отдельных измерений от средних значений углов

$$m_{\beta}^2 = \pm \sqrt{\frac{[m\beta^2]}{n}} = \pm 4'', 1.$$

Расчет допустимой длины L для хорошо вытянутого хода по заданной ошибке M , произведенный по формуле

$$M = \sqrt{\mu^2 L + \lambda^2 L^2 + \frac{m_{\beta}^2}{12lp^2} L^3}$$

определяет величину допустимой длины хода $L = 208$ км для случая предварительно уравненных углов хода с примерно равными сторонами. Для подсчета длины хода L здесь взяты показатели точности, выявленные нами в процессе исследования:

$$\mu = \pm 0,003; \quad \lambda = 0,00013; \quad m_{\beta} = \pm 10'',$$

где μ – коэффициент случайного влияния; λ – коэффициент систематического влияния. В результате вычислений был составлен каталог координат пунктов траверса.

Отработанная в полевых условиях траверсная полигонометрия по точности даваемых результатов может быть отнесена к двум классам. Согласно стандарту классификации государственной полигонометрии траверс с применением электромагнитного дальномера ДК-001 для линейных измерений и теодолита Т-5 для угловых измерений по точности может быть отнесенным к I разряду IV класса полигонометрии. Показатели для полигонометрии IV класса по стандарту классификации следующие: длина хода 4...6 км, средняя ошибка главного поворотного угла 8...15''; общая предельная ошибка хода 1:4 000...1:5 000, общая средняя ошибка хода $M = \pm 0,56$ м.

Данный траверс является узловым звеном в обосновании геодезической сети железнодорожной линии, все расчеты исходили из предельной точности масштаба съемки. Показатели точности угловых и линейных измерений позволяют данную методику взять за основу при работах по проектированию плано-высотной сети железных дорог.

С целью оценки точности построенного полигонометрического хода был произведен расчет в

соответствии с алгоритмом [1]. Алгоритм позволил вычислить элементы матрицы нормальных уравнений. Моделирование осуществлялось путем замены реальных ходов эквивалентными, имеющими направление вдоль оси u . За длину принималось среднее значение стороны измеренного хода. Полигонометрическая сеть была приведена к графической модели. Оценка точности выполнена по специальной программе, позволяющий конструировать схему модели. Были вычислены элементы матрицы R , коэффициенты нормальных уравнений, обращение матрицы R , средние квадратичные отклонения уровневых величин дирекционных углов узловых направлений.

Данные оценки точности для разработанной сети (в числителе для модели, в знаменателе для реальной сети), расхождения σ_a и σ_p приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расхождения показателей смоделированной и реальной полигонометрической сети

| № узлов | Средние квадратические отклонения | | Расхождения, % | |
|---------|-----------------------------------|------------|----------------|------------|
| | σ_a | σ_p | σ_a | σ_p |
| 1 | 7,7/7,6 | 5,4/5,6 | 2 | 6 |
| 2 | 8,4/8,0 | 8,11/8,72 | 2 | 4 |
| 3 | 9,3/9,3 | 8,18/7,82 | 8 | 4 |
| 4 | 9,4/9,1 | 8,77/9,10 | 1 | 3 |
| 5 | 9,4/9,8 | 7,4/7,7 | 5 | 3 |

На основании анализа результатов исследования можно сделать вывод: наилучшую сходимость в показателях точности дают участки сети с направлением ходов близким к направлениям осей координат, колебания значения длины стороны в пределах 1/5–1/4 практически не сказываются на величинах, характеризующих точность. Применение модели показало, что при оценке точности проектируемых полигонометрических сетей возможно эффективное использование алгоритма оценки точности стандартных моделей полигонометрических сетей, разработанных ранее для разнообразных ландшафтных условий. Данный алгоритм оценки точности стандартных моделей полигонометрических сетей позволяет по простым формулам вычислить все элементы сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Большаков В. Д. Городская полигонометрия / В. Д. Большаков, Ю. И. Маркузе. – М.: Недра, 1979. – 303 с.
2. Инструкция по полигонометрии и трилатерации. – М.: Недра 1976.
3. Орлов Г. Г. Обоснование требований точности специальной реперной сети для контроля положения пути в плане и профиле /Труды ЦНИИС. М. – 2001. – № 205. – С. 62–75.
4. В. Д. Большаков. Справочное пособие по прикладной геодезии / В. Д. Большаков, Г. П. Левчук, Е. Б. Ключин и др. – М.: Недра, 1982.

Поступила в редколлегию 15.06.2005.