

Б. М. ДЖУМАН, В. И. ВАЩЕНКО

О ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ В СЕТЯХ ТРИАНГУЛЯЦИИ III—IV КЛАССА

Для определения точности геодезического нивелирования были проведены специальные наблюдения на 10 пунктах триангуляции геодезического полигона Львовского политехнического института. Сеть состояла из 20 линий нивелирования длиной от 2 до 6 км. Средняя высота визирного луча составляла 6—60 м. Лучи визирования проходили над разными подстилающими поверхностями: пашней, посевами, озером, населенными пунктами и др. Измерения выполнялись двумя наблюдателями в сентябре 1974 г. Этот период характеризуется теплой, ясной погодой с преобладанием слабого и умеренного ветра. Зенитные расстояния на каждом пункте измеряли 4 приемами в 12—14 ч по местному времени и в периоды спокойных изображений, то есть при неустойчивой стратификации в приземном слое воздуха и при нейтральной стратификации. Наблюдения производились теодолитами ОТ-02 и ОТ-02М с переносных или стационарных штативов. Визирными целями служили визирные цилиндры геодезических знаков и (в отдельных случаях) самодельные марки. Высоты инструментов и визирных целей определяли стальной рулеткой с точностью ± 1 см. Кроме того, выполнялось нивелирование II класса для нахождения отметок наблюдаемых пунктов. Полевые журналы измерений обрабатывали, как обычно, в две руки. Колебания значений зенитных расстояний из смежных приемов и места зенита не превышали 6".

Сводки измеренных зенитных расстояний были составлены для двух серий. Каждая состояла из 4 приемов наблюдений в период спокойных изображений и в близполуденное время. По данным результатов полевых наблюдений были вычислены превышения по формуле двустороннего геодезического нивелирования. Для характеристики высот прохождения визирных лучей над подстилающей поверхностью определили эквивалентные высоты визирных лучей по формуле [1]

$$h_0 = \frac{S^2}{2 \int_0^S \frac{1}{h} dl}, \quad (1)$$

где l — расстояние от текущей точки линии нивелирования до визирной цели; h — высота визирного луча над подстилающей поверхностью в текущей точке.

Значения l и h получены из профилей, составленных для всех линий по материалам технического нивелирования, и частично по соответствующим картам. Интеграл находили численным суммированием. Точность определения эквивалентных высот с использованием топографических карт зависит от ошибок изображения рельефа, поэтому погрешность равна 2—3 м. При вычислении эквивалентных высот с использованием профилей по результатам технического нивелирования точность значительно выше. Средняя эквивалентная высота для всей сети составляет 20 м.

Таблица 1

Значения m''_z и m_h

Периоды наблюдений	m	$h_0, \text{ м}$		
		4	21	30
Периоды спокойных изображений	$\pm m''_{z_3}$	1,8	1,5	1,4
	$\pm m''_{z_4}$	1,9	1,5	1,5
	$\pm m_{h_3}(\text{м})$	0,022	0,019	0,018
	$\pm m_{h_4}(\text{м})$	0,029	0,024	0,024
Дневной период	$\pm m''_{z_3}$	8,8	3,5	2,3
	$\pm m''_{z_4}$	11,6	4,4	2,8
	$\pm m_{h_3}(\text{м})$	0,091	0,038	0,027
	$\pm m_{h_4}(\text{м})$	0,163	0,063	0,041

Для предварительного расчета точности геодезического нивелирования воспользуемся данными работы [1].

По формуле

$$m''_z = \pm \sqrt{\frac{S^2}{100} m_{p_{10}}^2 + \mu^2 + m_u^2 + m_b^2} \quad (2)$$

найдем средние квадратические ошибки измеренных зенитных расстояний. Принимая среднюю квадратическую ошибку измерения высоты инструмента и визирной цели $m_i = \pm 1,5$ см, получаем среднюю квадратическую ошибку превышения по формуле

$$m_h = \pm \sqrt{\left(\frac{S}{\rho''}\right)^2 \cdot \frac{m_z^2}{2} + \frac{m_i^2}{2}} \quad (3)$$

Как видим из табл. 1, точность двустороннего геодезического нивелирования для периода спокойных изображений значительно выше, чем в дневные периоды. При этом средние квадратические ошибки превышений, полученные из двусторонних зенитных расстояний, измеренных 4 приемами в периоды спокойных изображений, составляют $\pm 0,02$ — $\pm 0,03$ м при длине линий 3 и 4 км. Для дневного периода (при неустойчивой стратификации в приземном слое воздуха) максимальное значение средней квадратической ошибки превышения — $\pm 0,163$ м.

Для определения точности геодезического нивелирования для периодов спокойных изображений и близполуденного времени по результатам наблюдений сети триангуляции были составлены разности превышений, полученные методом геометрического и геодезического нивелирования (табл. 2). Используя разности превышений, вычислили средние квадратические отклонения по известной формуле

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (4)$$

Значения m_h для периодов спокойных изображений и близполуденного времени соответственно равны $\pm 0,03$ м и $\pm 0,06$ м при средней длине линии нивелирования 3,5 км и средней эквивалентной высоте 20 м.

Таблица 2
Величины разностей превышений
и их количество для разных
периодов наблюдений

Разности превышений, м	Количество разностей превышений для разных периодов	
	спокойные изображения	дневной период 12—14 ч
0—0,04	13	7
0,04—0,08	5	7
0,08—0,12	1	5
0,12—0,15	—	1

Аналогичные исследования были проведены по материалам наблюдений зенитных расстояний на пунктах триангуляции в Донбассе. Наблюдения выполняли 6 приемами на 20 пунктах теодолитом ОТ-02 в периоды спокойных изображений и близполуденное время. Длина сторон между пунктами сети составляла 2—4 км ($S_{\text{ср}}=2,7$ км), а величина превышения, полученная из геометрического нивелирования III и IV класса, составляла 3—40 м. Средняя эквивалентная высота прохождения визирных лучей $h_{\text{э ср}}=12,5$ м. В результате получены следующие значения средних квадратических ошибок определения превышений: $\pm 0,025$ м для периодов спокойных изображений; $\pm 0,07$ м для близполуденного времени. Как видим, они близки к приведенным в табл. 1.

Таким образом, точность геодезического нивелирования, выполненного в периоды спокойных изображений во всхолмленном районе, близка к точности геометрического нивелирования IV класса. Исходя из всего сказанного, можно сделать вывод, что при сгущении высотного обоснования для крупномасштабных съемок, строительстве различных сооружений геометрическое нивелирование IV класса может быть заменено геодезическим нивелированием. При этом измерения зенитных расстояний для определения превышений между пунктами необходимо выполнять 4—6 приемами в периоды спокойных изображений.

ЛИТЕРАТУРА

Джуман Б. М. Расчет точности измерения зенитных расстояний в периоды спокойных изображений. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1974, вып. 20.

Работа поступила 26 декабря 1975 года.
Рекомендована кафедрой прикладной геодезии Львовского политехнического института.