

МЕТОДИКА НИВЕЛИРОВАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ МОНОТОННЫХ СКЛОНОВ

Известно, что нивелирование протяженных монотонных склонов методом геометрического нивелирования довольно трудоемко и его результаты подвержены влиянию значительных систематических ошибок вследствие рефракции, неправильной установки реек и т. д. [3]. Предлагаемое в ряде разработок [1, 2] тригонометрическое нивелирование также не лишено недостатков, обусловленных трудностью определения с высокой точностью вертикального угла, так как строгий учет влияния рефракции на проводимые измерения невозможен.

Указанных недостатков позволит избежать методика нивелирования протяженных монотонных склонов. Для уяснения ее сущности рассмотрим рис. 1. Допустим, что необходимо опреде-

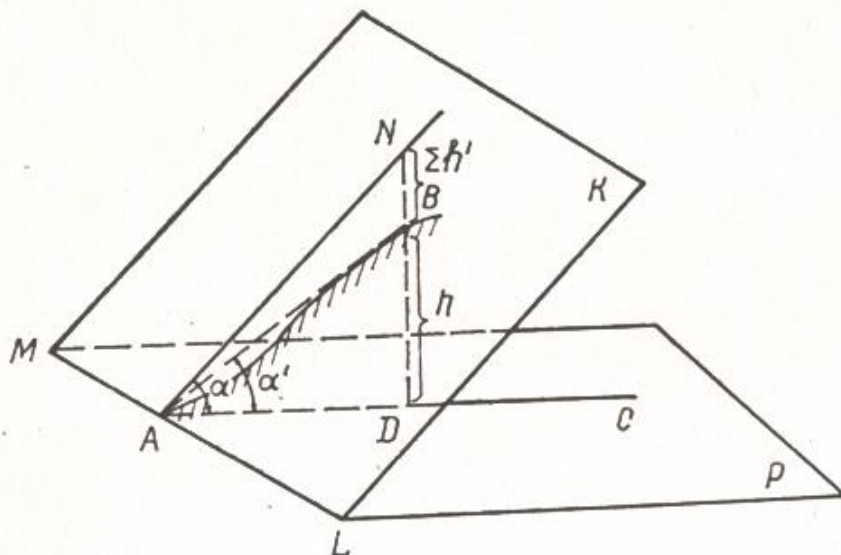


Рис. 1. Сущность метода нивелирования протяженных монотонных склонов.

лить превышение $h = (BD)$ между точками A и B . Зададим наклонную плоскость (ANK) , которая образует с горизонтальной плоскостью (AMP) угол α . Угол α приблизительно ($\pm 1^\circ$)

равен углу $\alpha' = BAD$. Обозначим отрезок $|BN|$ через $\sum_{i=1}^n h_i'$.

Примем, что по результатам измерений при заданном α известна величина $\sum_{i=1}^n h_i'$ и расстояние между точками A и B

равно S . Исходя из этого, определим превышение h . Из рис. 1 следует:

$$h = S \sin \alpha'. \quad (1)$$

Запишем (1) в виде

$$h = S \sin(\alpha - (\alpha - \alpha')). \quad (2)$$

Из треугольника ANB имеем

$$\sin(\alpha - \alpha') = \frac{\sum h' \cos \alpha}{S}. \quad (3)$$

Окончательно для вычисления превышения h запишем выражение (2) с учетом (3)

$$h = S \sin\left(\alpha - \arcsin\left(\frac{\sum_{i=1}^n h' \cos \alpha}{S}\right)\right). \quad (4)$$

Продифференцируем равенство (4) по $\sum_{i=1}^n h'_i$, S и перейдем к средним квадратическим ошибкам

$$\begin{aligned} m_h^2 = & \left[\sin\left(\alpha - \arcsin\frac{\sum h'_i \cos \alpha}{S}\right) + \frac{1}{S} \cos\left(\alpha - \arcsin\frac{\sum_{i=1}^n h'_i \cos \alpha}{S}\right) \right] \times \\ & \times \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n h'_i \cos \alpha}{S}\right)^2}} \Big]^2 m_s^2 + \left[\cos\left(\alpha - \arcsin\frac{\sum_{i=1}^n h'_i \cos \alpha}{S}\right) \times \right. \\ & \left. \times \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n h'_i \cos \alpha}{S}\right)^2}} \right]^2 m_{\sum_{i=1}^n h'_i}^2, \quad (5) \end{aligned}$$

где m_h , m_s , $m_{\sum_{i=1}^n h'_i}$ — средние квадратические ошибки определения величин h , S , $\sum_{i=1}^n h'_i$ соответственно.

Учитывая малое значение $\left| \arcsin\frac{\sum_{i=1}^n h' \cos \alpha}{S} \right| \approx |\alpha - \alpha'| < 1^\circ$

и что $1/\sqrt{1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n h'_i \cos \alpha}{S}\right)^2} = 1$ (см. рис. 1), окончательно получаем

$$m_h^2 = \sin^2 \alpha m_s^2 + \cos^2 \alpha m_{\sum_{i=1}^n h'_i}^2 \quad (6)$$

Величину $\sum_{i=1}^n h'_i$ можно определить, последовательно устанавливая теодолит и рейки в створе начальной и конечной точек. При этом теодолит устанавливают на примерно равном уда-

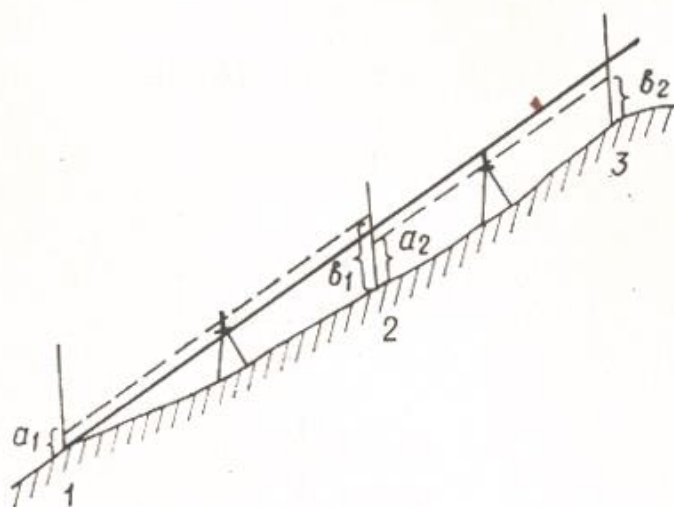


Рис. 2. Определение величины $\sum_{i=1}^n h'_i$.

лении от реек, на заднюю рейку визируют при отсчете по вертикальному кругу $-\alpha$, а при том же круге на переднюю $+\alpha$.

Рассмотрим порядок определения величины $\sum_{i=1}^n h'_i$ относительно прямой KL (рис. 2).

Превышение h'_{12} между точками 1 и 2 согласно рис. 2 составляет

$$h'_{12} = a_1 - b_1, \quad (7)$$

где a_1 и b_1 — отсчеты по рейкам, установленным на точках 1 и 2.

Аналогично для точек 2 и 3 имеем

$$h'_{23} = a_2 - b_2, \quad (8)$$

где a_2 , b_2 — отсчеты по рейкам, установленным на точках 2 и 3.

Из рис. 2 следует, что искомая величина

$$h'_{13} = h'_{12} + h'_{23}. \quad (9)$$

Исходя из (9), делаем вывод об аддитивности независимо от расстояния величин h'_{ij} , определенных на каждой станции, и, обобщая, запишем

$$h'_{1n} = \sum_{i=1}^{n-1} h'_{i,i+1}, \quad (10)$$

где h'_{1n} , $h'_{i,i+1}$ — соответственно, превышение относительно наклонной прямой между 1-й и n -й, i -й и $(i+1)$ -й точками; n — порядковый номер последней точки.

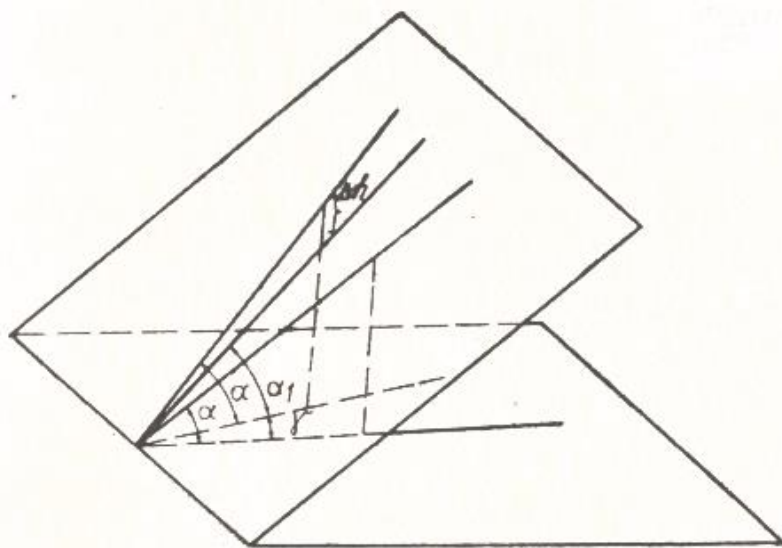


Рис. 3. Влияние нестворности установок прибора и реек на точность нивелирования.

Используя работы [3—5], можно рассчитать значения ошибок при определении $h'_{i,i+1}$ на станции, приняв, что расстояние от теодолита до реек 50 м, увеличение зрительной трубы $25\times$. Так, ошибка, обусловленная несоблюдением условия $MO=0^\circ$ или $MZ=90^\circ$, при $MO=20''$ и неравенстве плеч 1 м составляет $\Delta h_{MO}=0,1$ мм. Ошибки, вызванные неточностью шкалы лимба, приведут к ошибке в отсчете по рейке $m_{л}=0,08$ мм.

Неточность совмещения штрихов для вертикального круга приведет к искажению отсчета по рейке на значение $m_{с}=0,14$ мм. Ошибка в отсчете по рейке за счет недостаточной разрешающей способности зрительной трубы $m_{тр}=0,40$ мм.

Остановимся более детально на ошибках, вызванных нестворной установкой теодолита и реек. Рассмотрим, с какой точностью необходимо устанавливать рейку в створе, чтобы возникающая ошибка в отсчете не превышала 0,05 мм. Для этого используем рис. 3.

метрическом нивелировании при $m_{\alpha'} = 1''$, $m_h = 5$ мм. При геометрическом нивелировании II класса, мм

$$m_h = m_{\text{ст}} \sqrt{n} \approx m_{\text{ст}} \sqrt{\frac{S \operatorname{tg} \alpha}{2}} \approx 1,4. \quad (17)$$

Однако здесь не учтено влияние вертикальной рефракции, которое приводит к систематическим ошибкам. Приняв величину этой ошибки на станции 0,03 мм при $n = 50$, получим 1,5 мм.

Для исследования предлагаемой методики проведено нивелирование склона с уклоном около 6° . Расстояние между определяемыми точками составило 227, 788 м. Для задания наклонного луча использовали теодолит 2Т2 и рейки Р-3. Опре-

деление $\sum_{i=1}^n h'_i$ на станции проводили при двух установках теодолита по основной и дополнительной шкалам реек. Превышение между точками по предлагаемой методике измерялось пять раз. Оценка точности полученных результатов по внутренней сходимости показала, что средняя квадратическая ошибка определения превышения равна 2,4 мм. Превышение между исследуемыми точками определяли и путем геометрического нивелирования II класса в прямом и обратном направлениях, для чего понадобилось 16 установок нивелира НА-1. Расхождение в превышениях, определенных по предлагаемому методу и из геометрического нивелирования, составило 0,7 мм. А затраты времени на нивелирование по предлагаемому методу на 20... 25% меньше, чем при геометрическом нивелировании.

С целью повышения точности нивелирования целесообразно применить теодолит с большим увеличением зрительной трубы, а также снабдить его механизмом наведения с помощью плоскопараллельной пластины. Однако, несмотря на это, применение предлагаемой методики уже сейчас представляется целесообразным, в частности, при высокоточном нивелировании в горных условиях, например при наблюдениях за деформациями трубопроводов, инженерных сооружений газокomppressorных станций.

1. *Замараев Н. Н., Богданов Б. Г.* Из опыта создания высотного обоснования методом тригонометрического нивелирования // *Геодезия и картография*. 1981. № 10. С. 19—21. 2. *Медовиков А. С., Медовикова Н. И.* Двухстороннее тригонометрическое нивелирование в моменты изотермии атмосферы // *Геодезия и картография*. 1986. № 9. С. 17—19. 3. *Павлив П. В.* Проблемы высокоточного нивелирования. Львов, 1980. 4. *Селиханович В. Г.* Геодезия. М., 1981. 5. *Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам* / Под ред. В. Д. Большакова, Г. П. Левчука, В. Е. Новак и др. М., 1980.

Статья поступила в редколлегию 16.02.87