

ВЫСОКОТОЧНОЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ НА КОРОТКИЕ РАССТОЯНИЯ

В. М. ЕЛИЗАРОВ, Р. В. БУЗУК

С ростом техники все чаще приходится производить установку фундаментов под различные агрегаты с весьма большой точностью по высоте, порядка $\pm 0,1-0,2$ мм.

Для выполнения таких работ пользуются гидростатическим нивелированием, основанным на принципе сообщающихся сосудов. Этот вид нивелирования имеет высокую точность, но очень громоздок и отнимает много времени. Гидростатическое нивелирование невозможно применить для точек с большим превышением. Возник вопрос: нельзя ли для этой цели использовать обычное геометрическое нивелирование при длине визирного луча, скажем, до 10 м. Для этого нужно иметь прецизионный нивелир с плоско-параллельной пластиной и контактным уровнем, типа НБ или НА-1, и специальную рейку. Обычная рейка с полусантиметровыми делениями для такого нивелирования не пригодна, так как точность разбивки делений недостаточна и штрихи у делений слишком толсты (1 мм).

Произведем расчет толщины штриха t на рейке при длине визирного луча $d = 10$ м, используя формулу Рейнгерца ([1], стр. 353)

$$t = \frac{I \cdot d}{0,25 \cdot v}, \quad (1)$$

где I — видимая в трубу толщина штриха на рейке,
 $0,25$ м — расстояние наилучшего зрения,
 v — угловое увеличение трубы.

Полагая в (1) $I = 0,1$ мм и $v = 40$, найдем, что $t = 0,1$ мм.

При коротких расстояниях от инструмента до рейки целесообразно иметь интервалы между штрихами на рейке равными 1 мм. Это позволит производить наводку при одной установке нивелира не на два ближайших штриха, как это имеет место при обычной рейке, а на несколько соседних штрихов. Это безусловно повысит точность нивелирования.

Произведем оценку точности геометрического нивелирования для нашего случая. При нивелировании на короткие расстояния имеет смысл учитывать лишь следующие ошибки: ошибку наведения m_n , ошибку отсчета по барабану микрометра m_δ , ошибку установки пузырька уровня инструмента m_y , ошибку за наклон рейки m_p , ошиб-

ку делений рейки m_d . Ошибка за непараллельность визирной оси к оси уровня не будет иметь существенного значения, если нивелир ставить точно посередине между нивелируемыми точками. Однако эту ошибку нужно сводить к минимуму.

Ошибку наведения m_n (введения штриха рейки в биссектор сетки нитей) вычислим по формуле Рейнгерца ([1], стр. 353)

$$m_n = \pm \frac{0,04 \sqrt{t \cdot \sqrt{d}}}{\sqrt{v}}, \quad (2)$$

где обозначения те же, что и в (1). Полагая здесь $t = 0,1$ мм, $d = 10$ м, $v = 40$, найдем, что $m_n = \pm 0,006$ мм.

Ошибку отсчитывания по барабану плоско-параллельной пластины m_6 можно принять равной $\pm 0,05$ мм.

Ошибку совмещения концов пузырька контактного уровня m_y подсчитаем по формуле Чеботарева ([2], стр. 70)

$$m_y = \pm (0,14 + 0,012 \tau) \frac{d}{206265}, \quad (3)$$

где τ — цена деления уровня. Принимая для нивелира НА-1 величину $\tau = 10''$, найдем, что $m_y = \pm 0,013$ мм.

Ошибка за наклон рейки будет зависеть от длины рейки и цены деления круглого уровня. Если принять длину рейки $S = 1$ м, а цену деления уровня $\tau_0 = 25'$, то ошибка за наклон рейки m_p будет равна:

$$m_p = -2 \cdot S \cdot \sin^2 \frac{\tau_0}{2} = -2 \cdot 1 \cdot \sin^2 \frac{25'}{2} = -0,026 \text{ мм.}$$

Ошибку нанесения делений рейки m_d примем равную $\pm 0,02$ мм.

Подсчитаем теперь среднюю квадратическую ошибку взятия отсчета по рейке m_o , которая будет равна

$$m_o = \pm \sqrt{m_n^2 + m_6^2 + m_y^2 + m_p^2 + m_d^2} = \\ = \pm \sqrt{(0,006)^2 + (0,05)^2 + (0,013)^2 + (0,026)^2 + (0,02)^2} = \pm 0,06 \text{ мм.}$$

Отсчеты по рейке будут производиться по трем соседним штрихам и из взятых отсчетов выводиться среднее значение; следовательно, для среднего из трех отсчетов \bar{m}_o найдем:

$$\bar{m}_o = \pm \frac{0,06}{\sqrt{3}}. \quad (4)$$

Средняя квадратическая ошибка превышения m_h , полученная как разность двух отсчетов, будет

$$m_h = \pm \frac{0,06}{\sqrt{3}} \sqrt{2}. \quad (5)$$

Так как превышение будет определяться дважды с изменением высоты инструмента, то окончательная ошибка превышения \bar{m}_h составит

$$\bar{m}_h = \pm \frac{0,06 \sqrt{2}}{\sqrt{3} \sqrt{2}} = \pm 0,035 \text{ мм.} \quad (6)$$

Следовательно, предельная ошибка $(\bar{m}_h)_{\text{пред}}$ превышения h будет равна:

$$(\bar{m}_h)_{\text{пред}} = 3 \cdot \bar{m}_h = \pm 0,1 \text{ мм.} \quad (7)$$

Из вышеприведенных расчетов видно, что геометрическое нивелирование при длине визирного луча до 10 м вполне можно производить с ошибкой, не превышающей $\pm 0,1$ мм.

Нами выполнялось производственное задание по установке чугунной плиты фундамента в горизонтальное положение, причем требовалась точность установки $\pm 0,2$ мм. Установку производили с помощью нивелира НА-1, № 00078, который перед работой был тщательно исследован. Рейкой служила нормальная латунная линейка длиной 1,2 м с миллиметровыми интервалами между штрихами. Эта линейка была прикреплена к базисной рейке, имеющей круглый уровень и металлическую оковку (рис. 1). Для нивелирования плиты фундамента был

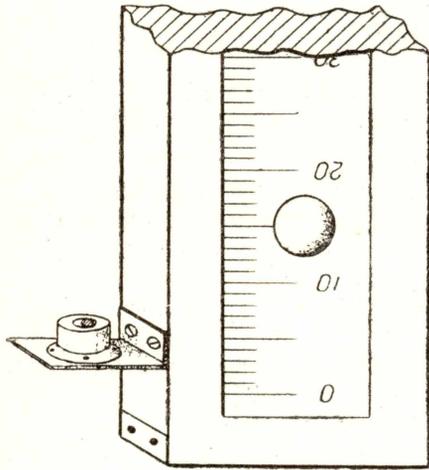


Рис. 1.

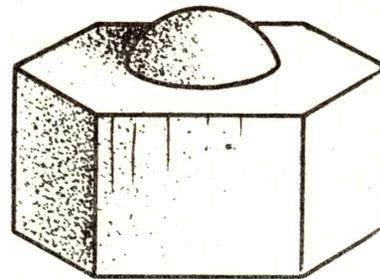


Рис. 2.

изготовлен специальный нивелирный башмак в виде шестигранной призмы с впрессованным в верхнее основание призмы стальным шариком (рис. 2). Башмак устанавливался на заранее выбранные и отмеченные точки на плите. Установка производилась в цехе, где поддерживалась постоянная температура. Для лучшей видимости рейка освещалась переносной лампой. Перед производством работ были проведены специальные исследования для определения суммарной ошибки $m_{\text{сум}}$ за счет ошибок наведения, совмещения концов пузырька уровня и отсчитывания по рейке. Эта суммарная ошибка оказалась равной

$$m_{\text{сум}} = \pm 0,04 \text{ мм.}$$

Для определения ошибки делений линейки, последняя была прокомпарирована по дециметровым, сантиметровым и миллиметровым делениям, в итоге чего были найдены следующие значения соответствующих ошибок:

$$m_{\text{дец}} = \pm 0,05 \text{ мм; } m_{\text{см}} = \pm 0,04 \text{ мм; } m_{\text{мм}} = \pm 0,01 \text{ мм.}$$

Тогда средняя квадратическая ошибка деления рейки m_d определится так:

$$m_d = \pm \sqrt{m_{\text{дец}}^2 + m_{\text{см}}^2 + m_{\text{мм}}^2} = \pm \sqrt{0,05^2 + 0,04^2 + 0,01^2} = \pm 0,07 \text{ мм.}$$

Принимая во внимание найденную суммарную ошибку $m_{\text{сум}} = \pm 0,04 \text{ мм}$ и ошибку за наклон рейки $m_p = \pm 0,02 \text{ мм}$, получим среднюю квадратическую ошибку взятия отсчета по рейке m_0 :

$$m_0 = \pm \sqrt{m_{\text{сум}}^2 + m_d^2 + m_p^2} = \pm \sqrt{0,04^2 + 0,07^2 + 0,02^2} = \pm 0,08 \text{ мм.}$$

Ошибка превышения, вычисленная согласно (6), оказалась равной

$$\bar{m}_h = \pm \frac{0,08 \sqrt{2}}{\sqrt{3} \sqrt{2}} = \pm 0,05 \text{ мм,}$$

и тогда предельная ошибка будет равна

$$(\bar{m}_h)_{\text{пред}} = \pm 0,15 \text{ мм.}$$

Вычисленная предельная ошибка получилась несколько больше пред-
расчетной потому, что точность нанесения штрихов у используемой
линейки не соответствует расчетному значению.

Как показали контрольные измерения с помощью гидростатичес-
кого нивелирования, все точки плиты фундамента были установлены
в пределах заданной точности $\pm 0,2 \text{ мм}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красовский Ф. Н. Руководство по высшей геодезии, часть I, вып. 2, Редбюро, ГУГК, 1939.
2. Чеботарев А. С. Геодезия, часть II, Геодезиздат, 1949.