

УДК 528.48

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕВЫШЕНИЙ

Соколов Ю. Г., – к.т.н., профессор

Гаврюхов А. Т., – к.т.н., профессор

*Кубанский государственный аграрный университет*

В статье излагается предложение по измерению превышений с использованием гибкой нити, подвешенной между нивелируемыми точками. Превышение определяется путем измерения длины отрезка нити между заранее замаркированной её серединой и точкой максимального провеса нити, определяемой положением отвеса (с встроенным вибратором), свободно подвешенным на этой же нити на роликовом катке.

Ключевые слова: НИВЕЛИРУЕМЫЕ ТОЧКИ, ПРЕВЫШЕНИЯ, ОТВЕС, ГЕОДЕЗИЯ

Предложение относится к области геодезии и предназначено для измерения превышений нивелируемых точек, особенно при измерениях в неблагоприятных условиях (вибрация, затемненность, потоки неравномерно нагретого воздуха и прочее).

Известны способы измерения превышений гидростатическими нивелирами, позволяющие определить превышение с точностью до  $\pm 1$  мм [1, с. 68-71].

Наиболее близким является способ определения превышений путем измерения длин дуг нити  $l_1$  и  $l_2$  от нивелируемых точек до максимального её провисания и вычисления превышения по формулам [2]:

$$h = g(x_2^2 - x_1^2); \quad g = \frac{P}{2H}; \quad x_1 = \frac{2}{3}g^2l_1^3 - l_1; \quad x_2 = l_2 - \frac{2}{3}g^2l_2^3,$$

где  $P$  – вес погонного метра нити;

$H$  – горизонтальная составляющая силы натяжения;

$x_1$  и  $x_2$  – горизонтальные проекции длин дуг  $l_1$  и  $l_2$  до точки максимального провисания нити.

Недостатком этого способа является сложность определения с достаточной точностью положения точки максимального провисания нити (что

отрицательно скажется на точности определения превышения) и громоздкость вычисления превышений.

Техническим решением задачи является повышение точности определения положения точки максимального провеса, (а, следовательно, и точности определения превышения) и упрощение вычислений превышений.

Поставленная задача достигается тем, что в способе определения превышений, путем измерения длин дуг гибкой нити между нивелируемыми точками и точкой максимального её провеса нить натягивают грузом с встроенным вибратором и свободно подвешенным на роликовом катке, измеряют отрезок между точкой подвеса груза и серединой нити и вычисляют превышение по формуле:

$$h = 2 \cdot \Delta l \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{L}{l}\right)^2}, \quad (1)$$

где  $L$  – проекция длины нити  $l$  на горизонтальную плоскость;

$\Delta l$  – отрезок между точкой максимального провеса и серединой нити.

Сущность способа поясняется рисунком 1.

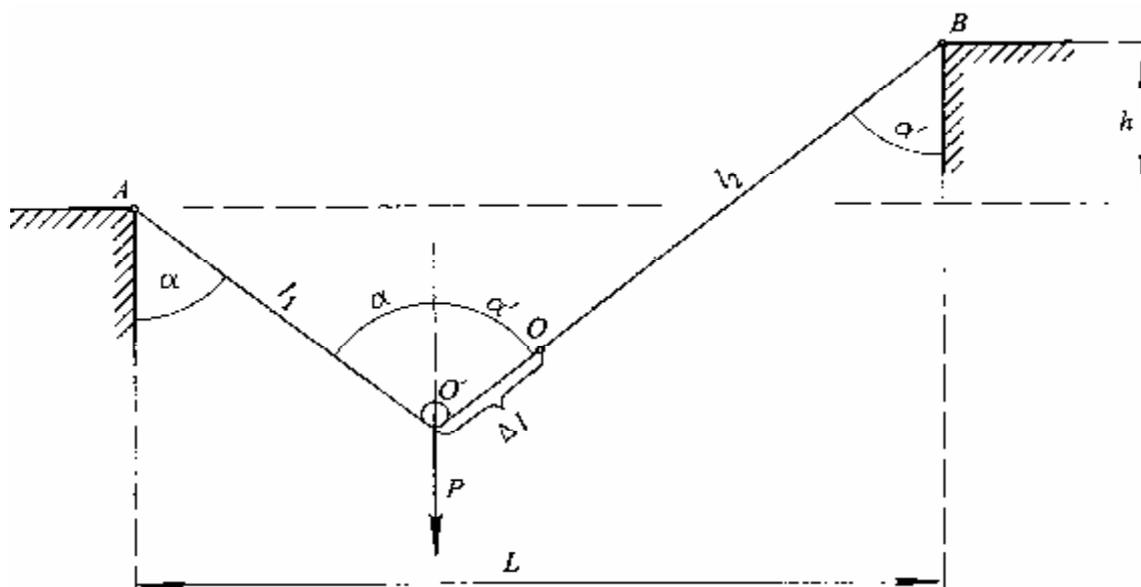


Рисунок 1 – Схема нивелирования.

Измерение превышений предлагаемым способом осуществляется следующим образом.

Между нивелируемыми точками  $A$  и  $B$  (рисунок 1) подвешивают нить длиной  $l = l_1 + l_2$  с грузом  $P$ . Груз  $P$ , свободно подвешенный на роликовом катке, всегда займет самое нижнее положение, фиксируя точку максимального провеса. Измеряют отрезок  $\Delta l = l_2 - l_1$  между точкой максимального провеса (точка  $O'$ ) и помеченной серединой нити (точка  $O$ ). Тогда измеряемое превышение найдется по формуле (1).

Формула (1) получена из следующих соображений.

Из статической схемы распределения сил (рисунок 2) следует, что углы  $a$  и  $a'$  равны между собой.

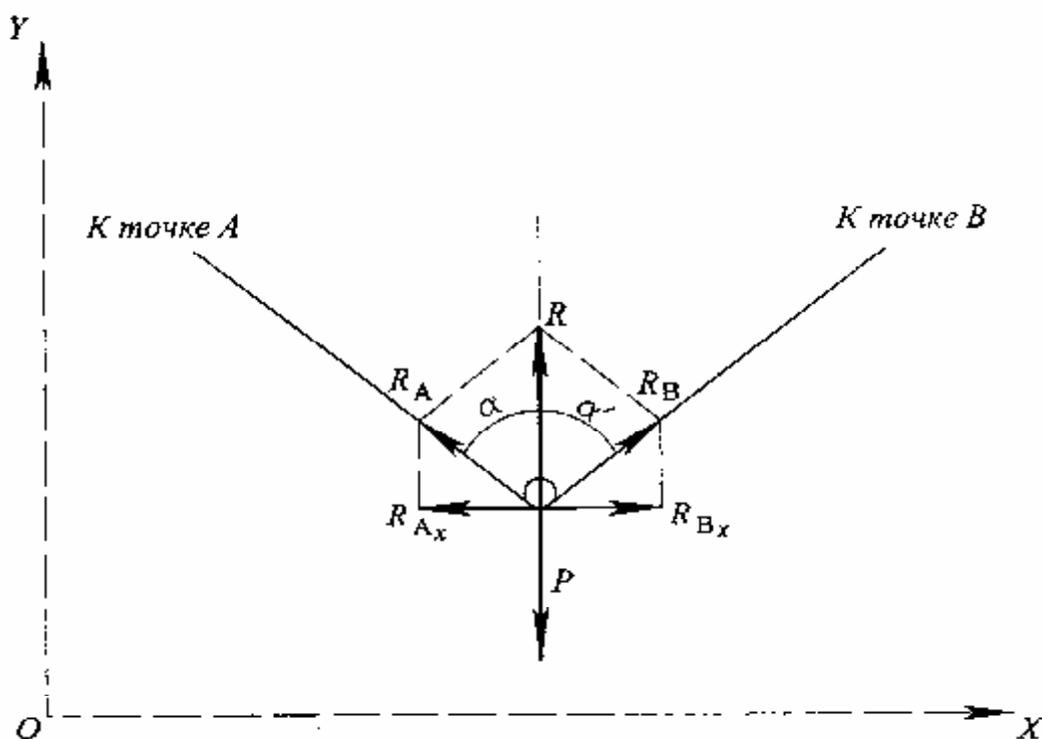


Рисунок 2 – Статическая схема распределения сил в точке свободного подвешивания блока.

Статическое уравнение равновесия системы в проекции на ось  $OX$  для данной схемы имеет вид:

$$\sum X = 0: \quad R_B \sin a' - R_A \sin a = 0, \text{ откуда } R_B \sin a' = R_A \sin a ,$$

но  $R_B = R_A$ , как сила натяжения нити, перекинутой через блок.

Поэтому  $\sin a' = \sin a$  или  $a' = a$ .

Учитывая, что углы  $a$  и  $a'$  всегда равны между собой, запишем:

$$\left. \begin{aligned} h &= l_2 \cos a - l_1 \cos a = (l_2 - l_1) \cdot \cos a \\ L &= l_1 \sin a + l_2 \sin a = (l_2 + l_1) \cdot \sin a \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Решая эти уравнения, получим формулу (1).

На точность определения превышения предлагаемым способом будут влиять, так называемые ошибки, вызванные «конструкцией» (растяжение гибкой нити в зависимости от её параметров и веса скользящего отвеса, изменение длины нити с изменением температуры, трение качения и вибрация отвеса, что в конечном итоге будет влиять на точность установки отвеса в точке максимального провеса нити) и ошибок измерений  $\Delta l$  и  $L$ .

Без учета «конструктивных» ошибок определим влияние ошибок измерения  $\Delta l$  и  $L$ . Перепишем рабочую формулу (1) в виде:

$$h = 2 \cdot \Delta l \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{L}{l}\right)^2} = 2 \cdot \Delta l \cdot \cos a. \quad (3)$$

Найдем частные производные:

$$\frac{\partial h}{\partial \Delta l} = 2 \cos a = \frac{h}{\Delta l}; \quad \frac{\partial h}{\partial L} = -\frac{h \cdot L}{l^2 \cos a}. \quad (4)$$

Применяя принцип равных влияний ошибок измерений, получим:

$$\frac{m_h}{\sqrt{2}} = \frac{h}{\Delta l} \cdot m_{\Delta l}, \text{ откуда } m_{\Delta l} = \frac{m_h \cdot \Delta l}{h \sqrt{2}}; \quad (5)$$

$$\frac{m_h}{\sqrt{2}} = \frac{h \cdot L}{l^2 \cdot \cos^2 a} \cdot m_L, \text{ откуда } m_L = \frac{m_h \cdot l^2 \cdot \cos^2 a}{h \cdot L \sqrt{2}}; \quad (6)$$

Пусть  $a = 80^\circ$ ;  $l = 5000$  мм;  $h = 10$  мм;  $\Delta l = \frac{h}{2 \cos a} = 28,8$  мм;

$m_h = \pm 0,5$  мм;  $L = l \cdot \sin a = 4924$  мм. Тогда по формулам (5) и (6) получим:

$$m_{\Delta l} = \pm 1 \text{ мм}; \quad m_L = \pm 5,5 \text{ мм}.$$

Таким образом, ошибка определения длины отрезка  $\Delta l$  будет вдвое ниже ошибки определения превышения  $h$ , и в 11 раз меньше ошибки определения  $L$ .

Коэффициент понижения точности определения  $L$  и  $\Delta l$  можно подсчитать по формуле:

$$K = \frac{m_L}{m_{\Delta l}} = \frac{l^2 \cos^2 a}{L \cdot \Delta l}. \quad (7)$$

Для приведенного примера будем иметь  $K = 5,3$ .

Заметим, что от точности определения превышения  $m_h$  этот коэффициент не зависит.

Способ может быть использован при нивелировании в неблагоприятных условиях, например, при измерении осадок промышленных сооружений. При этом измерение расстояния  $L$  между осадочными марками потребуется выполнить только в первом цикле.

### Литература

1. Васютинский И. Ю. Гидростатическое нивелирование. – М., Недра, 1976.
2. . Соколов Ю. Г. Способ определения превышений. Авт. свидетельство № 672482 G01 с S/04, 1979.