

## **ВЫБОР СХЕМЫ ОПТИМАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЫСОТЫ СООРУ- ЖЕНИЯ**

**Н.В.Синякина**

**Строительный факультет, БПИ**

**г.Брест Беларусь**

Выполнены исследования геометрических условий определения высоты сооружения и даются рекомендации по выбору оптимальных схем измерений геодезическими методами.

При высокоточных определениях высоты сооружений башенного типа или передачи на них отметок широко применяется технический теодолит, который имеется во всех строительных организациях. Данные об оптимальных геометрических условиях при решении практической части этой задачи изучен не достаточно. Иногда рекомендуется устанавливать теодолит на расстоянии  $S$  не менее 1.5-2.0 высоты самого сооружения. Теоретически это не обосновывается. Рассмотрим вопрос более детально.

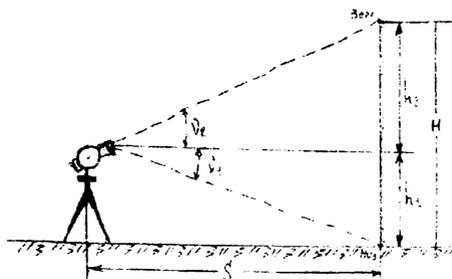


Рис. 2

Для тривиальной схемы измерений, приведенной на рисунке 1, высота сооружения  $H$  вычисляют по следующей формуле:

$$H = S \cdot (\operatorname{tg} V_1 + \operatorname{tg} V_2). \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что

$$m_H^2 = (\operatorname{tg} V_1 + \operatorname{tg} V_2)^2 \cdot m_S^2 + \frac{S^2 \cdot m_V^2}{\rho^2} \cdot \left( \frac{1}{\cos^4 V_1} + \frac{1}{\cos^4 V_2} \right). \quad (2)$$

Выразим значение  $\operatorname{tg} V$  и  $\cos V$ , входящие в правую часть формулы (2), через величины  $H$  и  $S$ . Приняв в качестве независимой переменной расстояние от теодолита до сооружения и проведя исследование на минимум, получим

$$S_0 = \sqrt[4]{\frac{H^2 \cdot \rho^2 \cdot m_S^2 + (h_1^4 + h_2^4) \cdot m_V^2}{2 \cdot m_V^2}}, \quad (3)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  - высота от горизонта теодолита соответственно до нижней и верхней точек сооружения.

Если горизонт теодолита расположен между точками "Верх" и "Низ" сооружения, то  $|h_1 + h_2| = H$ , если ниже точки "Низ" или выше точки "Верх", то  $|h_1 + h_2| > H$ . Это следует иметь в виду при вычислениях по формуле (3).

Исследуя левую часть формулы (3) на предел сначала при  $m \rightarrow 0$ , затем при  $m_V \rightarrow 0$ , можно заметить, что для схемы измерений, приведенной на рис.1, всегда  $0,5 H \leq S_0 \leq D$ .

На строительных и монтажных площадках теодолит приходится устанавливать на разных отметках, т.е. перемещать его по высоте. В такой связи рассмотрим, существует ли в пределах диапазона высоты сооружения такая точка, в которой ошибка  $m_n$  будет минимальной.

Принимая в качестве независимой переменной величину  $h_1$  и исследуя при этом условия правую часть формулы (2) на  $\min$ , находим  $h_1 = 0,5H$ . Таким образом, оптимальная точка располагается на горизонтальной линии, которая делит высоту сооружения пополам, значит, углы  $V_1$  и  $V_2$  должны быть одинаковые. Горизонтальное расстояние  $S_0$  от сооружения до этой точки может быть вычислено по формуле (3), в которой принимается  $h_1 = h_2 = 0,5H$ .

Расчетная точка, в которой должен быть установлен теодолит, не всегда может быть удобной или доступной для измерений. В связи с этим выясним, в какой мере на ошибку  $m_n$  будут влиять случайные или вынужденные отклонения действительных расстояний  $S$  от сооружения до теодолита от их предвычисленных значений  $S_0$ . По результатам геодезической практики студентов строительного факультета проанализирована интенсивность изменения ошибки  $m_n$ . С этой целью проведен сравнительный анализ формулы (2). Приняты следующие исходные данные:

$$\begin{aligned} H &= 1; \\ 0,5S_0 &\leq S_i \leq 2S_0; \\ 0 &\leq h_1 \leq 0,5H; \\ 0,0001H &\leq M_s \leq 0,01H; \\ 1'' &\leq M_V \leq 60''. \end{aligned}$$

Соотношение между  $m_s$  и  $m_V$  выразим коэффициентом

$$K = M_s \rho / (m_V H). \quad (4)$$

Измерения геодезисты проводят так, чтобы между линейными и угловыми измерениями соблюдалось приблизительное точное соответствие т.е.  $K \approx 1$ . Для таких условий  $\Delta m_n \approx 30\%$ . Тогда такой ошибкой можно пренебречь.

Наибольшее влияние на ошибку  $m_n$  оказывает перемещение теодолита по высоте при небольших расстояниях до сооружения. По мере увеличения расстояния влияние рассматриваемого фактора уменьшается, а при  $S_i = D$  стано-

вится равным нулю. Таким образом, в большинстве случаев перемещение теодолита по высоте приводит к небольшому изменению ошибки  $m_n$  и лишь при  $k \leq 1$  оно может достигать  $60 \div 70\%$ .

Следует заметить, что утверждение справедливо при условии  $|h_1 + h_2| = H$ . При расположении горизонта теодолита ниже основания сооружения или выше его вершины влияние данного фактора на  $m_n$  возрастает, а при  $|h_1 + h_2| > H$  оно может стать определяющим. Формула (3) основана на принципе наименьших квадратов. Предложив в основу подобного расчета метод максимальных ошибок [1], аналогичным путем получим формулу для расчета оптимальных расстояний от сооружения до теодолита совсем в простом виде,

$$S'_0 = \sqrt{\frac{H \cdot \rho \cdot m_s + (h_1^2 + h_2^2) \cdot m_v}{2 \cdot m_v}}. \quad (3')$$

Сравнительный анализ формул (3) и (3') показал, что расстояние  $S_0$  и  $S'_0$  почти одинаковые, а относительная разность между ними при реальных значениях ошибок  $m_s$  и  $m_v$ , и любых их соотношениях не более 15%. Выше было показано, что такие отклонения расстояний от оптимальных значений приводят к весьма незначительным дополнительным ошибкам определения высоты сооружения. Поэтому на практике вместо строгой формулы (3) можно пользоваться приближенной формулой (3').

На основании выполненных исследований можно заключить следующее. Оптимальное расстояние от сооружения до теодолита зависит от соотношения между ошибками линейных и угловых измерений, представленными коэффициентом  $K$ . При заданных ошибках  $m_s$  и  $m_v$  оптимальное расстояние  $S_0$  может быть вычислено по строгой формуле (3), а с достаточной для практики точностью по приближенной формуле (3').

При  $1 \leq K \leq 15$  теодолит можно устанавливать от сооружения на расстоянии примерно  $2H$ . При этом высота сооружения будет определена с точностью, близкой к оптимальной.

С целью надежного и независимого контроля измерений их следует выполнять не менее чем с двух точек наблюдения.

#### Литература:

1. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. М., Наука. 1970г., с.41