

В. И. ПОЛИЩУК
Львовский политехнический институт

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРЕНА ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Простейший способ определения крена сооружений — измерение составляющих крена в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. В этом случае полную величину крена вычисляют по формуле

$$Q = \pm \sqrt{q_1^2 + q_2^2}, \quad (1)$$

где q_1 и q_2 — составляющие крена сооружения.

Однако в стесненных условиях, когда невозможно построить такие направления на местности, крен определяют другими способами [1—7], которые, как правило, требуют дополнительных затрат времени и часто уступают по точности упомянутому выше способу.

Рассмотрим способ измерения крена сооружений из двух точек, при котором угол между направлениями на сооружения меньше 90° (рис. 1). На рисунке O — центр основания сооружения; IO , PO , PIO — направления на основание сооружения; q_1 и q_2 — составляющие крена на направления, образующие между собой острый угол α . Из прямоугольных треугольников OAB и BCO' находим

$$OB = \frac{q_1}{\sin \alpha}, \quad BC = \frac{q_2}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (2)$$

Тогда

$$OC = \frac{q_1 + q_2 \cos \alpha}{\sin \alpha}. \quad (3)$$

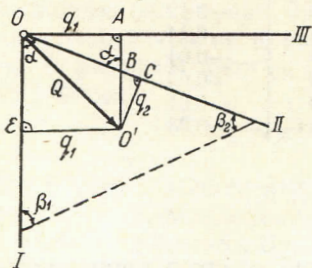


Рис. 1. Схема для определения зависимости $Q=f(\alpha)$.

Из треугольника OCO' имеем

$$Q = \sqrt{q_2^2 + \left(\frac{q_1 + q_2 \cos \alpha}{\sin \alpha}\right)^2} = \frac{\sqrt{q_1^2 + q_2^2 + 2q_1 q_2 \cos \alpha}}{\sin \alpha}. \quad (4)$$

Мы получили формулу для вычисления полной величины крена по измеренным составляющим, когда угол засечки (α) меньше 90° . Из этой формулы видно, что в случае, когда $\alpha = 90^\circ$, получаем формулу (1).

Составляющие крена q_1 и q_2 вычисляются по формуле

$$q_{1,2} = S_{1,2} \cdot \operatorname{tg} \gamma_{1,2}, \quad (5)$$

где $S_{1,2}$ — расстояние от теодолита до основания сооружения; $\gamma_{1,2}$ — горизонтальный угол между направлениями на центр основания (O) и центр верха сооружения (O'). Индексы 1, 2 в формуле (5) — соответственно первая и вторая точки установки теодолита. Причем направления на центры основания и верха сооружения определяют визированием на его боковые грани. В свою очередь угол α находят из треугольника $IOII$ по формуле

$$\alpha = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2). \quad (6)$$

Углы β_1 и β_2 измеряют в точках установки теодолита. Для оценки точности определения q_1 и q_2 продифференцируем формулу (5) и, перейдя к средним квадратическим погрешностям, получим

$$m_{q_{1,2}} = \pm \sqrt{m_{s_{1,2}}^2 \operatorname{tg}^2 \gamma_{1,2} + \frac{S_{1,2}^2}{\cos^2 \gamma_{1,2}} \cdot \frac{m_{\gamma_{1,2}}^2}{\rho^2}}. \quad (7)$$

Средняя квадратическая погрешность вычисления полного крена сооружения

$$m_Q = \pm \sqrt{m_{q_1}^2 + m_{q_2}^2}. \quad (8)$$

Согласно работе [6], предельные погрешности измерения крена высотных сооружений не должны превышать $0,0005 H$ (H — высота сооружения). При $H = 250$ м эта погрешность составляет $\pm 0,125$ м, а допустимая средняя квадратическая погрешность $m_Q = \pm 0,042$ м. Применяя принцип равных влияний и полагая $m_{q_1} = m_{q_2} = m_q$, из формулы (8) получаем погрешность определения составляющей крена $m_q = \pm 0,030$ м.

На точность определения составляющей крена влияют погрешности измерения горизонтальных углов (γ) и расстояний (S). Рассчитаем необходимую точность измерения γ и S .

Для расчетов принимаем $H = 250$ м. Из соотношения $\frac{m_\gamma}{\rho''} = \frac{m_q}{S}$ имеем

$$m_\gamma = \frac{m_q \cdot \rho''}{S} = \frac{30 \cdot 206265}{250000} = 24''.$$

Допустимое отклонение геометрической оси высотных сооружений от вертикали равно $0,001 H$ [6]. При $H=250$ м оно составит ± 250 мм, или в угловой мере $\gamma_{\max} = \pm 3'30''$. Для нахождения m_s подставим значения величин в формулу (7). Второй член в правой части формулы равен 0,0009. Найдем, при каком значении m_s первый член этой формулы дает величину на порядок ниже при $\gamma_{\max} = 3'30''$. Легко заметить, что при

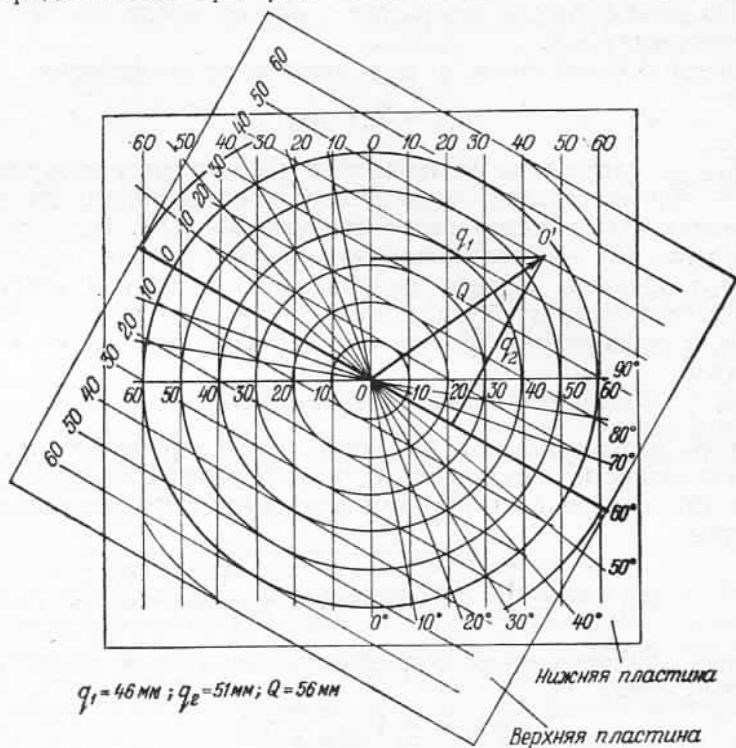


Рис. 2. Палетка для определения полного крена сооружения.

$m_s = 10$ м первый член равен 0,0001. Следовательно, для определения описанным выше способом крена расстояния до сооружения достаточно измерять с относительной погрешностью 1:25, а горизонтальные углы с погрешностью не более $\pm 24''$.

Для получения небольших приращений крена точность измерения расстояний и углов должна быть повышена. Так, при $\Delta q = 5$ мм:

$$m_T = \frac{5 \cdot 206265}{250000} = 4''; m_s = 0,5 \text{ м, или } \frac{m_s}{S} = 1:500.$$

Такую точность измерений можно обеспечить, применяя точные оптические теодолиты (Т2, ТБ-1, Т5). Расстояния до сооружения можно измерять рулеткой.

По измеренным составляющим q_1 и q_2 полную величину крена можно получать графически или по палетке (рис. 2), в основу построения которой положена формула (4). Палетка представляет две пластины, наложенные друг на друга и скрепленные в центральной точке O , причем верхняя из них выполнена из прозрачного материала и может вращаться вокруг точки O . Оптимальный размер пластин 400×400 мм. На неподвижной пластине вычерчивают концентрические окружности и прямые линии через 10 мм, а также линии из центра через 1° (на рисунке они проведены через 10°). На верхней пластине наносят прямые линии через 10 мм в обе стороны от нулевой линии.

Для определения полного крена нулевую линию верхней пластины совмещают с той линией нижней, которая соответствует углу засечки (на рис. 2 угол засечки равен 60°), и, откладывая измерителем значения q_1 (на нижней пластине) и q_2 (на верхней пластине), в точке пересечения получают точку O' (центр верха сооружения). Отрезок OO' и есть полное значение крена. Для ориентирования крена относительно стран света необходимо на местности измерить магнитный азимут одного из двух направлений и затем по палетке определить направление крена.

Описанным способом выполнены измерения крена двух железобетонных дымовых труб № 5 и № 6 Кураховской ГРЭС высотой 250 м. Получены следующие значения кренов (по палетке): для трубы № 5 $Q_5 = 123$ мм; для трубы № 6 $Q_6 = 84$ мм.

Значения кренов, вычисленные по формуле (4), следующие:

$$Q_5 = 122 \text{ мм}, \quad Q_6 = 83 \text{ мм}.$$

Для сравнения были определены крены тех же труб методом координат. При этом значения кренов

$$Q_5 = 119 \text{ мм}, \quad Q_6 = 82 \text{ мм}.$$

Как видно, сходимость результатов хорошая.

Выполним оценку точности произведенных измерений. Подставляя значения величин в формулу (7), получаем: для трубы № 5 $m_{q_1} = \pm 5$ мм, $m_{q_2} = \pm 4$ мм; для трубы № 6 $m_{q_1} = \pm 4$ мм, $m_{q_2} = \pm 4$ мм;

Среднюю квадратическую погрешность определения полного крена найдем по формуле (8) $m_{Q_5} = \pm 6$ мм; $m_{Q_6} = \pm 6$ мм.

При измерениях применяли оптический теодолит ТБ-1. Горизонтальные углы (γ) измеряли одним приемом. Расстояния (S) определяли по дальномеру. Для контроля крен определяли из третьей точки. Таким образом, предложенный способ дает высокую точность измерения крена высотных сооружений и его можно применять в стесненных условиях, применение палетки позволяет определять полный крен сооружения без вычислений.

Список литературы: 1. Баран П. И. К определению крена сооружения способом прямой угловой засечки. — «Промышленное строительство», 1975, № 3. 2. Брюханов Д. А., Куцериб Н. А., Завадский Н. Ф. Об определении крена высоких сооружений башенного типа. — «Инженерная геодезия», 1975, вып. 17. 3. Жуков Б. Н. Определение крена высоких труб методом измерения горизонтальных направлений. — «Промышленное строительство», 1972, № 4. 4. Зеленский А. М. Об определении крена высоких сооружений башенного типа. — «Геодезия и картография», 1974, № 12. 5. Литвин Г. М. Определение крена инженерных сооружений, имеющих в плане форму круга. — «Инженерная геодезия», 1975, вып. 17. 6. Руководство по наблюдениям за деформациями фундаментов зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1967. 7. Шевердин П. Г., Коцевольский А. К. Опыт наблюдения за креном и осадкой заводской трубы. — «Инженерная геодезия», 1966, вып. 3.

Работа поступила 27 апреля 1977 года.
Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.