

ВЫБОР СПОСОБА ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В настоящее время при возведении таких высоких сооружений как телевизионные башни, дымовые трубы и т. д. широко применяется способ оптического вертикального проектирования точек плановой опорной основы на монтажные горизонты. Для этой цели используются приборы вертикального визирования ОЦП-Зенит, ПОВП, PZL, ZNL и другие. Оптическое проектирование можно производить с исходного горизонта непосредственно на каждый монтажный горизонт либо последовательно с горизонта на горизонт. Последовательное проектирование будем называть ступенчатым.

В каждом конкретном случае должен быть обоснованно выбран способ вертикального проектирования, обеспечивающий требуемую точность переноса по вертикали точек плановой опорной основы. В настоящей статье приводится методика выбора способа оптического проектирования прибором типа PZL в зависимости от высоты возводимого сооружения.

Эта методика заключается в следующем. Прибор помещают над пунктом плановой опорной основы и приводят в рабочее положение. На соответствующем монтажном горизонте устанавливается координатная палетка, изготовленная из прозрачного органического стекла. Путем двух- или четырехкратного визирования на палетке отмечается проекция пункта плановой опорной основы.

Средняя квадратическая ошибка вертикального проектирования точки на высоту h (без учета влияния рефракции и атмосферных факторов), как известно, зависит от средних квадратических ошибок: центрирования зенит-прибора ($m_{\text{ц}}$), фиксации проектируемой точки ($m_{\text{ф}}$), приведения оси зенит-прибора в вертикальное положение ($m_{\text{Н}}$) и визирования ($m_{\text{в}}$)

$$m = \sqrt{m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{ф}}^2} = \left(\frac{m_{\text{Н}} h}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{m_{\text{в}} h}{\rho} \right)^2. \quad (1)$$

Предположим (рис. 1), что высота возводимого сооружения H , количество монтажных горизонтов n , расстояние между которыми h_0 . Требуется установить, при каком способе (непосредственном или ступенчатом) проектирование точки O на n -й горизонт будет выполнено точнее.

При непосредственном способе средняя квадратическая ошибка проектирования точки на высоту H определится из выражения

$$m_1 = \sqrt{(m_u^2 + m_\phi^2) + H^2 \left(\frac{m_H^2 + m_v^2}{\rho^2} \right)}. \quad (2)$$

При ступенчатом проектировании с горизонта на горизонт необходимо n раз центрировать зенит-прибор и столько же раз фиксировать

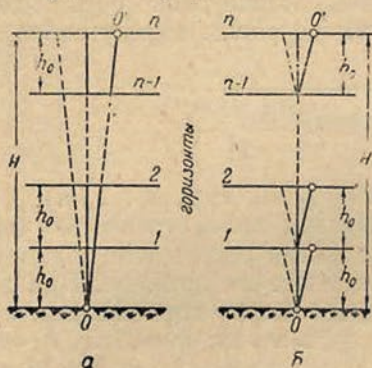


Рис. 1. Схема вертикального проектирования:

а — непосредственного, б — ступенчатого.

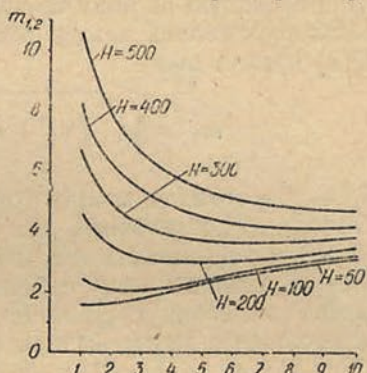


Рис. 2. Зависимость ошибки проектирования от количества ступеней и высоты сооружения (по вертикали — ошибка проектирования, мм; по горизонтали — количество ступеней, n).

проектируемые точки. Поэтому среднюю квадратическую ошибку такого проектирования найдем из равенства

$$m_2 = \sqrt{(m_u^2 + m_\phi^2) n + \frac{H^2}{n} \left(\frac{m_H^2 + m_v^2}{\rho^2} \right)}. \quad (3)$$

Сравнивая полученные выражения для m_1 и m_2 , отметим, что при ступенчатом способе ошибка проектирования увеличивается в $\sqrt{n}$ раз за счет ошибок m_u и m_ϕ и уменьшается в $\sqrt{n}$ раз за счет ошибок m_H и m_v .

Точность способов вертикального проектирования исследовалась рядом авторов [1, 3]. На основании этих исследований для прибора типа PZL можно принять $(m_u^2 + m_\phi^2) = 1 \text{ мм}^2$, $m_H = 4''$, $m_v = 2''$. Подставив эти данные в формулу (3), подсчитаем m_2 при различной высоте сооружения. Результаты подсчетов представлены на рис. 2.

Из графиков на рис. 2 следует, что, когда высота сооружения превышает 100 м, ступенчатый способ дает в 1,5—2 раза более точные результаты по сравнению с непосредственным.

Необходимо отметить, что точность ступенчатого способа проектирования существенно зависит от соотношения $(m_u^2 + m_\phi^2)$ и $(m_H^2 + m_v^2)$. Исследования формулы (3) на экстремум показывают, что ошибка m_2 будет минимальной в случае, когда количество ступеней

$$n = \frac{H}{\rho} \sqrt{\frac{m_H^2 + m_v^2}{m_u^2 + m_\phi^2}}. \quad (4)$$

Если при расчетах по формуле (4) получим $n \leq 1$, то проектирование следует производить непосредственно с исходного горизонта на каждый монтажный горизонт. При $1 < n < 2$ проектирование можно осуществлять непосредственным или ступенчатым способом. При $n \geq 2$ необходимо применять только ступенчатый способ вертикального проектирования.

Практическим подтверждением наших выводов могут служить геодезические работы при возведении Останкинской телевизионной башни в Москве [2]. Здесь для обеспечения вертикальности ствола башни был применен ступенчатый способ проектирования центра ствола. Причем проектирование центра на высоту около 360 м было осуществлено с помощью девяти ступеней. Как видно из рис. 2, количество ступеней, дающее минимальную ошибку проектирования, также равно восьми-девяти.

Если расстояния между горизонтами не равны между собой, формула (3) примет вид

$$m_2 = \sqrt{(m_u^2 + m_\phi^2) n + \sum h_i^2 \left(\frac{m_H^2 + m_V^2}{\rho^2} \right)}, \quad (5)$$

где h_i — расстояния между горизонтами ($i=0, 1, 2, 3, \dots, n$).

Однако с достаточной для практических целей точностью формулу (3) можно применять и в том случае, когда расстояния между горизонтами не равны между собой. Покажем это на примере. При возведении Останкинской телебашни расстояния между горизонтами, на которые выносился центр ствола башни, составляли: $h_1=67$ м, $h_2=90$ м, $h_3=42$ м, $h_4=42$ м, $h_5=21$ м, $h_6=21$ м, $h_7=21$ м, $h_8=21$ м, $h_9=36$ м.

Подставив принятые выше числовые значения в формулы (3) и (5), получим средние квадратические ошибки ступенчатого проектирования: по формуле (3) — $m_2 = \pm 4$ мм, по формуле (5) — $m_2 = \pm 4,3$ мм.

Подсчитанная для сравнения по формуле (2) средняя квадратическая ошибка непосредственного проектирования для тех же условий составила $\pm 8,1$ мм, то есть в два раза больше, чем при ступенчатом способе.

В заключение отметим, что при возведении сооружений высотой более 100—150 м из-за влияния атмосферных факторов невозможно осуществлять вертикальное проектирование непосредственно с исходного горизонта. Здесь единственным способом является ступенчатое проектирование. Оптимальное число ступеней для каждого конкретного случая можно установить, используя формулу (4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Нагнибеда П. М. Исследование и разработка геодезических методов контрольно-монтажных измерений при возведении многоэтажных зданий. — Автореф. канд. дисс. Киев, 1972.
2. Останкинская телевизионная башня. М., Издательство литературы по строительству, 1972.
3. Таск Э. А., Шаповал И. К. Геодезические погрешности выверки колонн по вертикали. — «Промышленное строительство», 1967, № 3.

Работа поступила в редколлегию 24 декабря 1973 года. Рекомендована кафедрой городского строительства Горьковского инженерно-строительного института.