

О ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ОБОСНОВАНИЯ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ

При высотном обосновании на строительной площадке стремятся к тому, чтобы расположение реперов и точность определения их отметок гарантировали постановку и правильное решение всех вопросов, связанных с проектированием и строительством данного промышленного объекта.

В учебных пособиях и технической литературе по инженерной геодезии указывается, что высотным геодезическим обоснованием площадки являются нивелирные сети III и IV классов. При этом расчеты, подтверждающие это положение, обычно не приводятся. В настоящей статье делается попытка показать на отдельных примерах методику решения вопроса о необходимой и достаточной точности высотного обоснования на строительной площадке. В качестве исходных величин, оказывающих наиболее существенное влияние на точность высотной основы, приняты требуемые допуски в высотах при: 1) изображении рельефа на крупномасштабных планах, 2) укладке трубопроводов самотечной канализации, 3) детальной разбивке (по высоте) инженерных сооружений и 4) наблюдении за осадками сооружений.

1. Средняя квадратическая ошибка изображения на плане рельефа горизонталями может быть вычислена по формуле [1]:

$$M_{h\Gamma}^2 = m_{h\Gamma}^2 + \mu^2 l + (m_p^2 + m_r^2) \operatorname{tg}^2 \nu, \quad (1)$$

где $m_{h\Gamma}$ — средняя квадратическая ошибка определения превышений точек местности над пунктами съемочного обоснования;

m_p — ошибка положения высотной точки на плане;

m_r — ошибка интерполирования и рисовки горизонталей;

$\mu = 0,012$ — коэффициент влияния случайных ошибок обобщения рельефа при нивелировании;

l — расстояние между нивелируемыми точками;

ν — угол наклона линии местности (для промплощадок ν не превышает 3°).

По исследованиям В. И. Гержулы [1] $m_p = 0,4$ мм (на плане) и $m_r = 0,2$ мм (на плане). Для масштаба $1 : 1000$ $l = 20$ м, $m_p = 0,40$ м, $m_r = 0,20$ м, $\text{tg } \nu = 0,004$ (для $\nu = 3^\circ$). После подстановки числовых значений l , m_p , m_r и $\text{tg } \nu$ в формулу (1) получим

$$M_{h_r}^2 = m_{h_{\Pi}}^2 + 6 \text{ мм}, \quad (1)$$

откуда

$$m_{h_{\Pi}} = \pm \sqrt{M_{h_r}^2 - 6 \text{ мм}}. \quad (2)$$

Среднюю квадратическую ошибку M_{h_r} изображения рельефа на планах можно принять (с некоторым запасом точности) равной $1 : 10$ высоты сечения. При съемке промышленных площадок в масштабах $1 : 1000$ — $1 : 500$ сечение рельефа обычно принимают через $0,25$ м. В этом случае $M_{h_r} = \pm 25$ мм. Из формулы (2) при $M_{h_r} = \pm 25$ мм получаем $m_{h_{\Pi}} = \pm 24,9$ мм.

Таким образом, средняя ошибка $m_{h_{\Pi}}$ определения превышений точек местности над пунктами съемочного обоснования не должна превышать $\pm 24,9$ мм.

При создании высотного обоснования стремятся к тому, чтобы ошибка m_h определения высот пунктов съемочного обоснования не превышала величины ошибки $m_{h_{\Pi}}$. Обычно

принимают $m_h = \frac{m_{h_{\Pi}}}{\sqrt{2}}$. В нашем случае будем иметь $m_h = 17,8$ мм.

Ошибка в отметке наиболее слабо определяемого пункта съемочного обоснования, очевидно, не должна превышать величины $\pm 17,8$ мм. Для нивелирного хода, проложенного между двумя реперами, наиболее слабым местом в отношении точности определения высот будет его середина. Ошибка в определении высоты пункта, расположенного в середине нивелирного хода, может быть вычислена по формуле

$$m_h = \frac{1}{2} \eta \sqrt{L}, \quad (3)$$

где η — коэффициент случайного влияния при нивелировании;

L — длина всего нивелирного хода.

Для строительной площадки длина L нивелирного хода обычно не превышает 2 км. Решая выражение (3) относительно η и принимая во внимание, что $m_h = 17,8$ мм, а $L = 2$ км, найдем

$$\eta = \frac{2m_h}{\sqrt{L}} = \frac{2 \cdot 17,8}{\sqrt{2}} = 25 \text{ мм.}$$

Следовательно, для обеспечения требуемой точности изображения рельефа на топографических планах промышленных площадок отметки пунктов высотной основы можно определять техническим нивелированием.

2. Наибольшая точность высотной основы при сооружении линий подземных коммуникаций требуется при укладке трубопроводов самотечной канализации.

В соответствии с существующими допусками трубопроводы самотечной канализации должны укладываться с соблюдением следующих минимальных уклонов [2]:

при диаметре 300—500 мм	— 0,002—0,003,
при диаметре 600—1000 мм	— 0,001—0,0008,
при диаметре 1500 мм и более	— 0,0005—0,0004.

Так как на строительной площадке могут укладываться трубопроводы самых различных диаметров, расчет требуемой точности высотной основы будем вести для наименьшего уклона, равного 0,0004. Как известно, уклон выражается формулой

$$i = \frac{h}{l};$$

откуда

$$h = i \cdot l. \quad (4)$$

Дифференцируя формулу (4) и переходя от дифференциалов к средним квадратическим ошибкам, получим следующее выражение для вычисления средней квадратической ошибки m_h определения превышения h в зависимости от ошибок m_i и m_l определения уклона i и расстояния l :

$$m_h = \pm \sqrt{l^2 \cdot m_i^2 + i^2 \cdot m_l^2}. \quad (5)$$

Влияние члена $i^2 m_l^2$ на величину m_h будет ничтожно малым по сравнению с влиянием первого члена $l^2 m_i^2$.

Поэтому практически для вычисления m_h пользуются формулой

$$m_h = l \cdot m_i. \quad (6)$$

Ошибка m_i принимают равной $\frac{1}{10} i$, поэтому

$$m_h = \frac{l \cdot i}{10}. \quad (7)$$

Подставляя в формулу (7) значение $i = 0,0004$, получим

$$m_h = \frac{l}{25\,000}. \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что чем меньше расстояние l между смежными точками лотка, тем точнее нужно выполнять нивелирование. Если точки по лотку устанавливаются через 20 м, то $m_h = 0,8$ мм. Пользуясь формулой

$$\eta = \frac{m_h}{\sqrt{L}}$$

при $m_h = 0,8$ мм и $L = 0,02$ км, найдем

$$\eta = \frac{0,8}{\sqrt{0,02}} = 6 \text{ мм.}$$

Таким образом, для укладки трубопровода самотечной канализации с минимальным уклоном $i = 0,0004$ при расстояниях между смежными точками по лотку в 20 м потребуются нивелирование III класса. В других случаях, при больших величинах минимальных допустимых уклонов, можно ограничиться нивелированием IV класса.

3. При детальной разбивке сооружений по высоте должны быть выдержаны следующие предельные ошибки [2]:

1) Ошибка передачи проектных отметок на отдельные горизонты фундаментов — $\pm 3-4$ мм.

2) Ошибка передачи проектных отметок на опорные плоскости оборудования — $\pm 1-2$ мм.

Однако такая точность передачи в натуру проектных отметок требуется только при разбивке самого сооружения относительно ближайшего репера. Важным здесь будет соблюдение требования взаимной увязки по высоте выносимых в натуру смежных элементов конструкций.

При производстве разбивок стремятся к тому, чтобы передачу проектных отметок на опорные поверхности осуществлять от одного репера и при одной установке нивелира (по другому реперу проверяют лишь правильность определения на данной станции горизонта инструмента). При наличии строительной сетки, пункты которой обычно служат и высотными знаками, расстояния между смежными рабочими реперами не будут превышать 100 м. Ошибка передачи отметок на точки сооружения техническим нивелированием составит $m_h = \eta\sqrt{L} = 15\sqrt{0,05} = \pm 4$ мм, а нивелированием IV класса — ± 2 мм.

Часто отметки различных точек одного и того же конструктивного элемента сооружения приходится выносить в натуру не от одного, а от двух смежных реперов. В этом случае на точность взаимной увязки отдельных точек данного конструктивного элемента заметное влияние будет оказывать ошибка во взаимном положении по высоте тех реперов, с которых осуществляется разбивка. Пусть, согласно техниче-

ским условиям, точность взаимной увязки по высоте различных элементов сооружения равна ± 4 мм. Тогда ошибка исходных данных, т. е. ошибка в определении превышения между смежными реперами, не должна превышать $\frac{4}{\sqrt{2}} = \pm 2,9$ мм. Такую точность взаимной увязки смежных реперов можно обеспечить нивелированием IV класса. В самом деле, при $m_h = 2,9$ мм и $L = 100$ м из формулы $m_h = \eta\sqrt{L}$ получаем

$$\eta = \frac{m_h}{\sqrt{L}} = \frac{2,9}{\sqrt{0,10}} = 10 \text{ мм.}$$

В отдельных случаях точность разбивок для монтажных работ требуется выдержать в пределах ± 1 — 2 мм. Аналогично предыдущему можно показать, что для обеспечения взаимной увязки по высоте вынесенных в натуру проектных отметок с такой высокой точностью надо отметки реперов, с которых выполняется разбивка, определять из нивелирования III класса.

4. Для наблюдений за осадками промышленных сооружений на строительной площадке закладывают минимум два куста фундаментальных реперов (вне зоны влияния строительных работ).

При каждом цикле наблюдений определяют отметки осадочных реперов и марок путем включения их в нивелирный ход, прокладываемый между фундаментальными реперами. Ошибка определения отметок осадочных реперов и марок не должна превышать ± 2 мм. Если принять расстояние между фундаментальными реперами равным 1 км, то необходимый класс нивелирования найдем из формулы

$$\eta = \frac{m_h}{\sqrt{L}}.$$

При $L = 1$ км и $m_h = \pm 2$ мм получим

$$\eta = \frac{2}{\sqrt{1}} = 2 \text{ мм,}$$

что соответствует II классу нивелирования.

Таким образом, на рассмотренных четырех примерах мы показали, что для выполнения всех съемочных и разбивочных работ на строительной площадке высотное обоснование действительно должно строиться путем прокладки нивелирных ходов III и IV класса и лишь для наблюдений за осадками промышленных сооружений в отдельных случаях может потребоваться нивелирование II класса.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Гержула. Геодезия в промышленном строительстве. Геодезиздат, 1957.
2. Г. П. Левчук. Инженерная геодезия, часть II—III. Геодезиздат, 1958.

Львовский политехнический
институт

Работа поступила
21 мая 1964 г.