

В. С. СЫТНИК, Х. МУБОРАКОВ

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ ПРИ ВЫНОСЕ ПРОЕКТА В НАТУРУ

При строительстве современных многоэтажных и большепролетных одноэтажных зданий предъявляются весьма высокие требования к точности геодезических построений, связанных с выносом в натуру проектных значений разбивочных осей и отметок. Правильное решение этого вопроса может быть найдено только на основе изучения природы возникновения производственных погрешностей геодезических измерений.

Геодезические построения при выносе проекта в натуру должны быть выполнены с заранее заданной (проектом или строительными нормами и правилами) точностью, в связи с чем возникает необходимость в учете различных факторов, влияющих на результаты измерений. В этих условиях предусматривается полное исключение грубых ошибок и ограничение влияния случайных и систематических ошибок некоторым интервалом, определяющим допустимую ошибку построения проектного элемента. Для выяснения этой ошибки необходимо исследовать условия, при которых будут производиться геодезические измерения. При дифференцированном изучении основных условий измерений определяются систематические ошибки, как функции параметров, характеризующих условия измерений. Если систематические ошибки известны, то влияние их на результаты геодезических построений легко устранить. Исследование систематических ошибок всегда производится в условиях действия случайных ошибок. Ниже рассматривается вероятностный метод оценки систематических ошибок геодезических построений по истинным ошибкам.

При выносе проекта здания или сооружения в натуру нам всегда известно проектное значение длины разбивочной оси или отметки опорных плоскостей конструкций. Обозначим истинное значение проектного элемента через x_0 . Предположим, что при выносе в натуру проектного значения разбивочного элемента получено n равноточных его значений x_1, x_2, \dots, x_n . Тогда истинные ошибки, то есть отклонения от проектного значения результатов геодезических построений

$$\delta(x_i) = x_i - x_0, \quad (1)$$

а среднее арифметическое значение построенных элементов и истинных ошибок соответственно равны

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2)$$

$$\bar{\delta} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \delta_i. \quad (3)$$

Очевидно, ошибка δ может быть представлена как

$$\bar{\delta} = \bar{x} - x_0. \quad (4)$$

Величина δ образовалась в результате влияния случайных и систематических ошибок геодезических построений.

Если математическое ожидание выборочного среднего $\mu(x)$ равно проектному значению разбивочного элемента x_0 , то в этом случае систематические ошибки геодезических построений отсутствуют. Если же $\mu(x) = x_0'$, то значение $x_0' - x_0 = \lambda$ представляет собой истинное или действительное значение систематической ошибки геодезических построений. Очевидно, здесь возникает необходимость оценки величины x_0' , то есть построения доверительного интервала.

Для этого вычисляем вероятнейшие ошибки или флюктуации

$$v(x_i) = x_i - \bar{x}, \quad (5)$$

среднюю квадратическую ошибку отдельного результата построений по формуле Бесселя

$$m(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v^2(x_i)}{n-1}} \quad (6)$$

и среднюю квадратическую ошибку среднего арифметического значения

$$m(\bar{x}) = \frac{m(x_i)}{\sqrt{n-1}}, \quad (7)$$

где n — число однотипных построенных в натуре элементов проекта.

С учетом количественных параметров (2) и (7) доверительный интервал, накрывающий значение x_0' , определится из выражения [2]:

$$P\{\bar{x} - t_{q,k} m(\bar{x}) < x_0' < \bar{x} + t_{q,k} m(\bar{x})\} = q. \quad (8)$$

где

$$t_{q,k} = \frac{\bar{x} - x_0}{m(\bar{x})}, \quad (9)$$

нормированный множитель, зависящий от надежности q и числа степеней свободы $k = n - 1$. Значения $t_{q,k}$ приведены в [2, табл. 4].

Очевидно,

$$P\{\bar{x} - x_0 - t_{q,k} m(\bar{x}) < x_0' - x_0 < \bar{x} - x_0 + t_{q,k} m(\bar{x})\} = q. \quad (10)$$

Поскольку $x_0' - x_0 = \lambda$, то учитывая (4), окончательно получим

$$P\{\bar{\delta} - t_{q,k} m(\bar{x}) < \lambda < \bar{\delta} + t_{q,k} m(\bar{x})\} = q. \quad (11)$$

Таким образом, систематическая ошибка геодезических построений имеет точечную (4) и интервальную (11) оценки.

Для оценки систематической ошибки λ используют критерий [3]

$$|t| = \frac{\bar{\delta}}{m(\bar{x})}. \quad (12)$$

Допустимая область изменения критерия $|t|$ ограничивается табличными значениями $-t_{q,k}$ и $+t_{q,k}$. Если эмпирический критерий (12) выходит за пределы этой области, то величина $\bar{\delta}$ является точечной оценкой систематической ошибки λ и это свидетельствует о существенном влия-

нии систематических ошибок на изменение проектного значения разбивочного элемента.

В таблице рассмотрен пример определения и оценки систематических ошибок геодезического построения проектного значения пролета здания. Проектное значение пролета здания 24,000 м.

Определение и оценка систематических ошибок построения проектного расстояния пролета здания

$l_i, \text{ м}$	$\delta_i, \text{ мм}$	$v_i, \text{ мм}$	$l_i, \text{ м}$	$\delta_i, \text{ мм}$	$v_i, \text{ мм}$
24,008	+ 8	+5	24,006	+6	+3
24,007	+ 7	+4	24,005	+5	+2
23,998	- 2	-5	24,006	+6	+3
23,996	- 4	-7	23,996	-4	-7
24,010	+10	+7	23,999	-1	-4
24,006	+ 6	+3	24,000	0	-3
24,009	+ 9	+6	24,003	+3	0

$$l_0 = 24,000 \text{ м}; \bar{l} = 24,0035 \text{ м}; \bar{\delta} = 24,0035 - 24,0000 = +3,5 \text{ мм}; [vv] = 298; m(l) = \sqrt{\frac{298}{14-1}} = \pm 4,79 \text{ мм}; m(\bar{l}) = \frac{4,79}{\sqrt{13}} = \pm 1,33 \text{ мм}; k = 13; q = 0,95; t_{q,k} = 2,16; |t| = \frac{3,5}{1,33} = 2,63; |t| = > t_{q,k}; t_{q,k} m(\bar{l}) = 2,87; 0,63 \text{ мм} < \lambda < 6,37 \text{ мм}.$$

Как показывает анализ данных таблицы, систематические ошибки оказывают существенное влияние ($|t| > t_{q,k}$ при $q = 0,95$) на изменение проектного значения разбивочного элемента. Верхний предел систематической ошибки может достигать 6,37 мм.

Известно, что систематические ошибки подразделяются на постоянные и линейно изменяющиеся.

Проверку гипотезы о наличии постоянных систематических ошибок в результатах геодезических построений можно осуществить на основе следующей формулы:

$$t = \frac{|\bar{\delta}|}{m(\bar{\delta})} \sqrt{n-1}, \quad (13)$$

где

$$m(\bar{\delta}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}{n-1}}. \quad (14)$$

Систематическая ошибка носит постоянный характер тогда, когда $t > t_{q,k}$. Если $t < t_{q,k}$, то, очевидно, следует выдвинуть гипотезу о линейно изменяющейся систематической ошибке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кемниц Ю. В. Теория ошибок измерения. М., Геодезиздат, 1967.
2. Смирнов Н. В., Дуниев-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. М., «Наука», 1965.
3. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. М., ИЛ, 1956.

Работа поступила 25 мая 1972 года. Рекомендована Центральным научно-исследовательским и проектно-экспериментальным институтом организации, механизации и технической помощи строительству.