

В. Д. ЧЕМРАТ

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СДВИГОВ ЗАКРЫТЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Для повышения эффективности и качества контрольно-монтажных измерений при строительстве в стесненных условиях применяются нестандартные способы, основанные на специальных приборах, устройствах и приспособлениях [3]. Расчет точности способов контрольно-монтажных измерений в стесненных

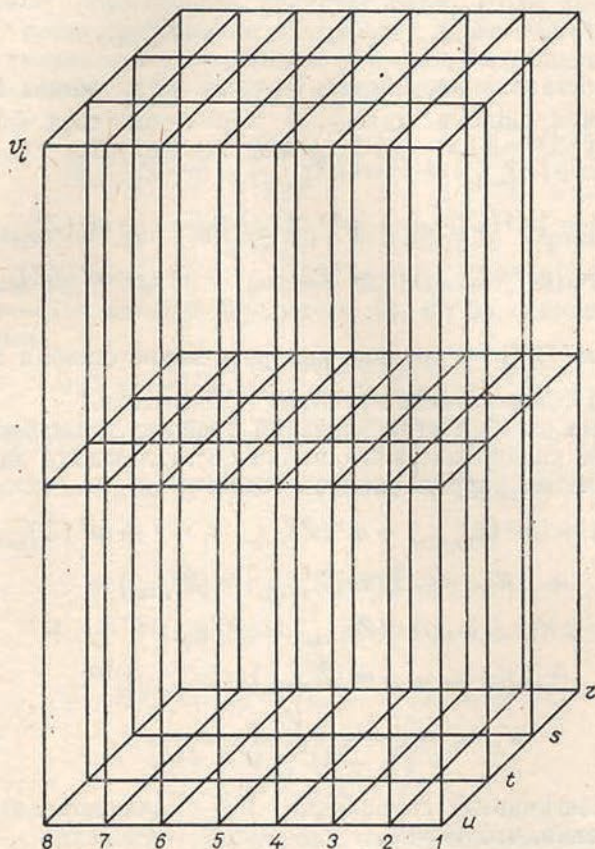


Схема звеньев сложной системы пространственной
размерной цепи:

z, s, t, u — главные оси здания; $1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ — основные оси здания; v_i — монтажный горизонт i -го этапа

условиях можно выполнять по разработанному и исследованному нами методу, основанному на теории размерных цепей. В отличие от существующих [1, 2] предложенный метод позволяет рассчитать точность измерений сдвигов закрытых строительных конструкций по высоте, от вертикали, в плане, по продольному, поперечному и общему смещениям в пространстве.

Для решения данного вопроса составлена схема звеньев сложной системы пространственной размерной цепи на примере 24-этажного жилого дома (см. рисунок). Замыкающее звено в плане и по высоте описывается формулами

$$Z_V = \sum_{i=1}^n Z_i^V,$$

$$Z_i^V = Z_{8r-1r}^V = Z_{7r-6r}^V = \dots = Z_{2r-1r}^V,$$

где Z_i^V — составляющее i -звено V -этажа. Если общая средняя квадратическая ошибка $m_V(Z_{8r-1r}^V)$ характеризуется формулой

$$m_V(Z_{8r-1r}^V) = \sqrt{m^2(Z_{8r-1r}^V) + m^2(Z_{7r-6r}^V)},$$

$$m(Z_{8r-1r}^V) = [m^2(Z_{8r-1r}^V) + m^2(Z_{7r-6r}^V) + \dots + m^2(Z_{2r-1r}^V)]^{1/2},$$

$$m'(Z_{8r-1r}^V) = [m'^2(Z_{8r-7r}^V) + m'^2(Z_{7r-6r}^V) + \dots + m'^2(Z_{2r-1r}^V)]^{1/2},$$

(1)

где $m(Z_i^V)$, $m'(Z_i^V)$ — средние квадратические ошибки замыкающего звена соответственно в плане и по высоте.

Случайные ошибки этих значений взаимно независимы. Поэтому средние квадратические ошибки составляющего звена вычислены с учетом корреляционной связи:

$$\begin{aligned} m(Z_{8r-1r}^V) = & [m^2(Z_{8r-1r}^V) + m^2(Z_{7r-6r}^V) + \dots + m^2(Z_{2r-1r}^V) + \\ & + 2K_{8r-7r,7r-6r} m(Z_{8r-7r}^V) m(Z_{7r-6r}^V) + \\ & + 2K_{7r-6r,6r-5r} m(Z_{7r-6r}^V) m(Z_{6r-5r}^V) + \dots + \\ & + 2K_{3r-2r,2r-1r} m(Z_{3r-2r}^V) m(Z_{2r-1r}^V)]^{1/2}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$K_{ij} = \frac{V}{V(V+4V)(V+4V)}, \quad (3)$$

где K — коэффициент корреляции; V — количество этажей.

При условии, что $V=24$,

$$m(Z_{8r-7r}^V) = m(Z_{7r-6r}^V) = \dots = m(Z^V),$$

$$K_{8r-7r,7r-6r} = K_{7r-6r,6r-5r} = \dots = \dots = K_{3r-2r,2r-1r},$$

выражение (2) примет следующий вид:

$$m(Z_{8r-1r}^V) = m(Z^V) \sqrt{n_c + 0,4(n_c - 1)}. \quad (4)$$

Аналогично получено выражение

$$m'(Z_{8r-1r}^V) = m'(Z^V) \sqrt{n_c + 0,4(n_c - 1)}. \quad (5)$$

Тогда формула (1) будет соответствовать значению

$$m_V(Z_{8r-1r}^V) = \sqrt{[1,4n_c - 0,4][m^2(Z^V) + m'^2(Z^V)]}, \quad (6)$$

где n_c — количество связующих элементов замыкающего звена; $m(Z^V)$, $m'(Z^V)$ — средние квадратические ошибки замыкания связующего элемента соответственно в плане и по высоте.

Известно [2], что ошибки составляющих звеньев подчиняются закону нормального распределения. Поле допуска соответствует полю рассеивания отклонений. С учетом (1) получена средняя квадратическая ошибка замыкающего звена пространственного сдвига строительных конструкций:

$$m_V(Z_{8r-1r}^V) = \frac{1}{6} m_V(Z_{8r-1r}^V) = 0,17 \sqrt{[1,4n_c - 0,4][m^2(Z^V) + m'^2(Z^V)]}. \quad (7)$$

Найдем значения $m(Z_{8r-1r}^V)$ и $m'(Z_{8r-1r}^V)$. Примем ошибку положения вершины $1r$, равной $m(1r) = m'(1r) = 0$. Средние квадратические ошибки вершин $1r$, $1u$, $8r$, $8u$ характеризуются формулами:

$$m(1u) = \sqrt{m^2(Z_{1r-1u}) + Z_{1r-1u}^2 m^2(\beta_{1u})},$$

$$m(8u) = \sqrt{m^2(1u) + m^2(Z_{1u-8u}) + Z_{1u-8u}^2 m^2(\beta_{8u})},$$

$$m(8r) = \sqrt{m^2(8u) + m^2(Z_{8u-8r}) + Z_{8u-8r}^2 m^2(\beta_{8r})}.$$

Примем

$$\beta_{1r} = \beta_{1u} = \beta_{8r} = \beta_{8u} = \beta,$$

$$m(\beta) = \frac{1}{Z_V} m(Z_V),$$

$$Z_{1r-1u} = Z_{1u-8u} = Z_{8u-8r} = Z_{8r-1r} = Z_V,$$

$$Z_{1r-8r} = Z_{1u-8u} = Z_V l,$$

$$Z_{1r-1u} = Z_{8u-8r} = Z_V k, \quad (8)$$

где l , k — количество связующих элементов соответственно по продольному и поперечному сдвигам.

Средние квадратические ошибки вершин в горизонтальной плоскости составляют

$$m(1u) = m(Z_V) k \sqrt{2},$$

$$m(8u) = m(Z_V) \sqrt{2l^2 + 2k^2},$$

$$m(8r) = m(Z_V) \sqrt{2l^2 + 4k^2}.$$

При условии, что

$$m'(i^V) = m'(Z_V) \sqrt{V},$$

средние квадратические ошибки сдвига вершин $1r^V$, $1u^V$, $8r^V$, $8u^V$ по высоте определяются формулами

$$m'(1r^V) = \sqrt{m^2(1r) + m'^2(Z_V)V} = m'(Z_V) \sqrt{V},$$

$$m'(1u^V) = \sqrt{m^2(1u) + m'^2(Z_V)V} = \sqrt{2m^2(Z_V)k^2 + m'^2(Z_V)V},$$

$$= m'(8u^V) = \sqrt{m^2(8u) + m'^2(Z_V)V} =$$

$$\sqrt{2m^2(Z_V)l^2 + 2m^2(Z_V)k^2 + m'^2(Z_V)V},$$

$$m'(8r^V) = \sqrt{m^2(8r) + m'^2(Z_V)V} =$$

$$= \sqrt{2m^2(Z_V)l^2 + 4m^2(Z_V)k^2 + m'^2(Z_V)V}.$$

Известно [2], что вертикальные перемещения и горизонтальные сдвиги сборных элементов примерно одинаковы. Следовательно,

$$m'(Z_V) = m(Z_V), \quad m'(1r^V) = m(Z_V) \sqrt{V},$$

$$m'(1u^V) = m(Z_V) \sqrt{2k^2 + V},$$

$$m'(8u^V) = m(Z_V) \sqrt{2l^2 + 2k^2 + V},$$

$$m'(8r^V) = m(Z_V) \sqrt{2l^2 + 4k^2 + V} = m(Z_V) \sqrt{\xi},$$

$$\xi = 2l^2 + 4k^2 + V. \quad (9)$$

Средняя квадратическая ошибка замыкающего звена по высоте соответствует

$$m'(Z_{8r-1r}^V) = \sqrt{m'^2(8r^V) + m'^2(1r^V)} = m(Z_V) \sqrt{\xi}. \quad (10)$$

Из общности выражений (10) и (5) получим

$$m'(Z^V) = m(Z_V) \sqrt{\frac{\xi}{1,4n_c - 0,4}} = m(Z_V) \sqrt{\frac{\xi}{v}}, \quad (11)$$

$$v = 1,4n_c - 0,4.$$

Средняя квадратическая ошибка замыкающего звена сдвига конструкций по высоте имеет следующий вид:

$$\mu_h(Z_{8r-1r}^V) = 0,17 m(Z_V) \sqrt{\xi}; \quad (12)$$

$$\mu_i(Z^V) = m_i(Z^V)/6,$$

$$\mu_h(Z^V) = 0,17 m(Z_V) \sqrt{\frac{\xi}{v}} = \mu_h(Z_{8r-1r}^V) / \sqrt{v}. \quad (13)$$

Средние квадратические ошибки уклонения вершин $1r^V$, $1u^V$, $8u^V$, $8r^V$ от вертикали определяются формулами соответственно:

$$\begin{aligned}
 m_B &= (1i^V) = m(Z_V) \sqrt{V}, \\
 m_B(1r^V) &= \sqrt{m^2(1r) + m^2(Z_V)V} = m(Z_V) \sqrt{V}, \\
 m_B(1u^V) &= \sqrt{2m^2(Z_V)k^2 + m^2(Z_V)V} = m(Z_V) \sqrt{2k^2 + V}, \\
 m_B(8u^V) &= m(Z_V) \sqrt{2l^2 + 2k^2 + V}, \\
 m_B(8r^V) &= m(Z_V) \sqrt{2l^2 + 4k^2 + V}. \quad (14)
 \end{aligned}$$

Средняя квадратическая ошибка замыкающего звена по уклонению конструкций от вертикали имеет вид

$$m_B(Z_{8r-1r}^V) = \sqrt{m_B^2(8r^V) + m_B^2(1r^V)} = m(Z_V) \sqrt{3}. \quad (15)$$

Из тождества (15) и (14) получим

$$m(Z^V) = m_B(Z^V) = m_i(Z_{8r-1r}^V) \sqrt{\xi/v}. \quad (16)$$

Средняя квадратическая ошибка замыкающего звена сдвига конструкций от вертикали $\mu_B(Z_i^V)$ соответствует средней квадратической ошибке замыкающего звена сдвига конструкций в плане $\mu_P(Z_i^V)$ и характеризуется формулой

$$\begin{aligned}
 \mu_B(Z_{8r-1r}^V) &= \mu_P(Z_{8r-1r}^V) = \sqrt{\mu_i^2(Z_{8r-1r}^V) + \mu_k^2(Z_{8r-1r}^V)} = \\
 &= m_B(Z_{8r-1r}^V) / 6 = m(Z_V) \frac{0,17}{\sqrt{\xi}}; \quad (17)
 \end{aligned}$$

$$\mu_B(Z^V) = \mu_P(Z^V) = \mu(Z^V) = m_B(Z^V) / 6 = 0,17 m(Z_V) \sqrt{\xi/v}. \quad (18)$$

Ошибка уклонения ряда строительных конструкций по продольному сдвигу в плане $m_l(Z_i^V)$ превышает ошибку уклонения ряда конструкций по поперечному смещению $m_k(Z_i^V)$. Практически можно считать

$$m_l(Z_i^V) = 0,5 m_k(Z_i^V),$$

$$\begin{aligned}
 m_P(Z_{8r-1r}^V) &= m_P(Z_{8r-1r}^V) = m(Z_{8r-1r}^V) = \sqrt{m_l^2(Z_{8r-1r}^V) + m_k^2(Z_{8r-1r}^V)} = \\
 &= m_l(Z_{8r-1r}^V) \sqrt{3} = m_k(Z_{8r-1r}^V) \sqrt{1,5}.
 \end{aligned}$$

С учетом (4) средние квадратические ошибки замыкающего звена по продольному $m_l(Z_{8r-1r}^V)$ и поперечному $m_k(Z_{8r-1r}^V)$ сдвигам конструкций определяем формулами

$$\begin{aligned}
 m_l(Z_{8r-1r}^V) &= \frac{1}{\sqrt{3}} m(Z_{8r-1r}^V) = m(Z_V) \sqrt{0,67(l^2 + 2k^2 + V)} = \\
 &= m(Z_V) \sqrt{0,335 \xi}; \quad (19)
 \end{aligned}$$

$$m_k(Z_{sr-1r}^V) = \frac{1}{\sqrt{1,5}} m(Z_{sr-1r}^V) = m(Z_V) \sqrt{1,33(l^2 + 2k^2 + V)} = \\ = m(Z_V) \sqrt{0,665\xi}. \quad (20)$$

Аналогично получены средние квадратические ошибки замыкания элемента составляющего звена конструкции по продольному и поперечному сдвигам:

$$m(Z^V) = m_l(Z^V) \sqrt{1,3} = m_k(Z^V) \sqrt{1,5}; \quad (21)$$

$$m_l(Z^V) = \frac{1}{\sqrt{3}} m(Z^V) = m(Z_V) \sqrt{\xi/3v},$$

$$m_k(Z^V) = \frac{1}{\sqrt{1,5}} m(Z^V) = m(Z_V) \sqrt{\xi/1,5v}. \quad (22)$$

Средние квадратические ошибки замыкающего элемента и звена по продольному и поперечному сдвигам находим по формулам

$$\mu_l(Z^V) = 0,20m(Z_V) \sqrt{\xi/6v}; \quad (23)$$

$$\mu_k(Z^V) = 0,24m(Z_V) \sqrt{\xi/3v}; \quad (24)$$

$$\mu_l(Z_{sr-1r}^V) = 0,17m(Z_V) \sqrt{0,30\xi}; \quad (25)$$

$$\mu_k(Z_{sr-1r}^V) = 0,17m(Z_V) \sqrt{0,665\xi}. \quad (26)$$

Общую среднюю квадратическую ошибку замыкающего звена получаем в результате подстановки выражений (16) и (11) в (6):

$$m_V(Z_{sr-1r}^V) = 2m(Z_V) \sqrt{0,5\xi}. \quad (27)$$

При условии $\mu'(Z^V) = \mu(Z^V) \sqrt{2v}$ можно считать

$$m_V(Z_{sr-1r}^V) = \mu(Z^V) \sqrt{2v},$$

$$\mu(Z^V) = \mu'(Z^V) = m_V(Z_{sr-1r}^V) / \sqrt{2v} =$$

$$= 2m(Z_V) \sqrt{\frac{0,5\xi}{2v}} = 2m(Z_V) \sqrt{\xi/4v},$$

$$m_V(Z^V) = \sqrt{m'^2(Z^V) + m_l^2(Z^V) + m_k^2(Z^V)} = \\ = \sqrt{m'^2(Z^V) + m_b^2(Z^V)} = \sqrt{m'^2(Z^V) + m^2(Z^V)},$$

$$m_V(Z^V) = 2m(Z_V) \sqrt{0,5\xi/v}. \quad (28)$$

Общие средние квадратические ошибки замыкающего и составляющего звеньев сдвига конструкций вычисляем по формулам

$$\mu_V(Z_{sr-1r}^V) = 0,34m(Z_V) \sqrt{0,5\xi} = \mu_V(Z^V) \sqrt{v}; \quad (29)$$

$$\mu_V(Z^V) = 0,34m(Z_V) \sqrt{0,5\xi/v} = \mu_V(Z_{sr-1r}^V) / \sqrt{v}. \quad (30)$$

Средняя квадратическая ошибка замыкания конструкций включает систематические и случайные ошибки $\mu(Z)_1$ — геодезических построений при разбивочных работах, $\mu(Z)_2$ — изготовления элементов строительных конструкций, $\mu(Z)_3$ — контрольно-монтажных работ при возведении строительных конструкций, $\mu(Z)_4$ — деформационных воздействий внешних условий:

$$\begin{aligned} \mu_i(Z^V) &= \sqrt{\mu_i^2(Z^V)_1 + \mu_i^2(Z^V)_2 + \mu_i^2(Z^V)_3 + \mu_i^2(Z^V)_4}, \\ \mu_i(Z_{8r-1r}^V) &= [\mu_i^2(Z_{8r-1r}^V)_1 + \mu_i^2(Z_{8r-1r}^V)_2 + \\ &+ \mu_i^2(Z_{8r-1r}^V)_3 + \mu_i^2(Z_{8r-1r}^V)_4]^{1/2}. \end{aligned}$$

Практически можно считать, что ошибки изготовления конструкций и деформационных сдвигов в несколько раз превышают ошибку контрольно-монтажных работ:

$$\begin{aligned} \mu_i(Z_{8r-1r}^V)_1 &= \mu_i(Z_{8r-1r}^V)_3, & \mu_i(Z^V)_1 &= \mu_i(Z^V)_3, \\ \mu_i(Z_{8r-1r}^V)_2 &= 3\mu_i(Z_{8r-1r}^V)_3, & \mu_i(Z^V)_2 &= 3\mu_i(Z^V)_3, \\ \mu_i(Z_{8r-1r}^V)_4 &= 2\mu_i(Z_{8r-1r}^V)_3, & \mu_i(Z^V)_4 &= 2\mu_i(Z^V)_3. \end{aligned}$$

Тогда ошибки замыкающего и составляющего звеньев имеют вид

$$\mu_i(Z_{8r-1r}^V) = \mu_i(Z_{8r-1r}^V)_3 \sqrt{15}, \quad \mu_i(Z^V) = \mu_i(Z^V)_3 \sqrt{15},$$

$$\mu_i(Z_{8r-1r}^V) = \mu_i(Z_V^V) = \mu_i(Z_{8r-1r}^V) / \sqrt{15}; \quad (31)$$

$$\mu_i(Z^V)_3 = \mu_i = \mu_i(Z^V) / \sqrt{15}. \quad (32)$$

Окончательные средние квадратические ошибки соответственно замыкающего $\mu_i(Z_V^V)$ и составляющего μ_i звеньев, характеризующие точность измерений пространственных сдвигов всех закрытых конструкций и одного элемента, примут следующий вид: по высоте с учетом (12), (13), (31), (32) —

$$\mu_h(Z_V^V) = 0,17 m' (Z_V) \sqrt{0,07 \xi}; \quad (33)$$

$$\mu_h = 0,24 m' (Z_V) \sqrt{\xi/30v}; \quad (34)$$

по продольному сдвигу с учетом (25), (23), (31), (32) —

$$\mu_l(Z_V^V) = 0,17 m_l (Z_V) \sqrt{0,025 \xi}; \quad (35)$$

$$\mu_l = 0,24 m_l (Z_V) \sqrt{\xi/90v}; \quad (36)$$

по поперечному сдвигу с учетом (26), (24), (31), (32) —

$$\mu_k(Z_V^V) = 0,17 m_k (Z_V) \sqrt{0,045 \xi}; \quad (37)$$

$$\mu_k = 0,24 m_k (Z_V) \sqrt{\xi/45v}; \quad (38)$$

по уклонению от вертикали с учетом (17), (18), (31), (32) —

$$\mu_B(Z_V^V) = 0,24 m_B(Z_V) \sqrt{0,035 \xi}; \quad (39)$$

$$\mu_B = 0,24 m_B(Z_V) \sqrt{\xi/30v}; \quad (40)$$

в горизонтальной плоскости с учетом (17), (18), (31), (32) —

$$\mu_P(Z_V^V) = 0,17 m_P(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}; \quad (41)$$

$$\mu_P = 0,24 m_P(Z_V) \sqrt{\xi/30v}; \quad (42)$$

по общему смещению в пространстве с учетом (29), (30) —

$$\mu_V(Z_V^V) = 0,34 m_V(Z_V) \sqrt{0,035 \xi}; \quad (43)$$

$$\mu_V = 0,34 m_V(Z_V) \sqrt{\xi/30v}. \quad (44)$$

Рассмотрим компоненты ошибок измерений сдвигов закрытых строительных конструкций, используемые при подборе способа контроля монтажа и разработке новых или совершенствовании общеизвестных технических средств. На точность контрольно-монтажных измерений влияют совместно систематические и случайные ошибки [3]:

$$\begin{aligned} \mu_g &= \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2 + \mu_3^2 + \mu_4^2 + \mu_5^2 + \mu_6^2}, \\ \mu_1 &= 0,67 \mu_g, \quad \mu_4 = 0,14 \mu_g, \\ \mu_2 &= 0,22 \mu_g, \quad \mu_5 = 0,07 \mu_g, \\ \mu_3 &= 0,42 \mu_g, \quad \mu_6 = 0,56 \mu_g, \end{aligned} \quad (45)$$

где $\mu_g, \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6$ — средние квадратические ошибки соответственно способа контроля, изготовления прибора, приведения прибора в рабочее положение, собственно измерения, влияния личного фактора и внешних условий, волнистости граней конструкций. С учетом этих значений и (33) — (44) для каждого вида геодезических работ получаем средние квадратические ошибки замыкающего звена и элемента. При этом соблюдалось условие:

$$\mu_i(Z_V^V) = \mu_g = \sqrt{\Sigma \mu_j^2} = \sqrt{\Sigma \mu_{ji}^2(Z_V^V)}.$$

Тогда

для изготовления прибора

$$\begin{aligned} \mu_{1h}(Z_V^V) &= 0,11 m'(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}, \quad \mu_{1l}(Z_V^V) = 0,11 m_l(Z_V) \sqrt{0,025 \xi}, \\ \mu_{1k}(Z_V^V) &= 0,11 m_k(Z_V) \sqrt{0,045 \xi}, \quad \mu_{1B}(Z_V^V) = 0,16 m_B(Z_V) \sqrt{0,035 \xi}, \\ \mu_{1P}(Z_V^V) &= 0,11 m_P(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}, \quad \mu_{1V}(Z_V^V) = 0,23 m_V(Z_V) \sqrt{0,035 \xi}; \end{aligned} \quad (46)$$

$$\begin{aligned} \mu_{1h} &= 0,16 m'(Z_V) \sqrt{\xi/30v}, \quad \mu_{1l} = 0,16 m_l(Z_V) \sqrt{\xi/90v}, \\ \mu_{1k} &= 0,16 m_k(Z_V) \sqrt{\xi/45v}, \quad \mu_{1B} = 0,16 m_B(Z_V) \sqrt{\xi/30v}, \\ \mu_{1P} &= 0,16 m_P(Z_V) \sqrt{\xi/30v}, \quad \mu_{1V} = 0,23 m_V(Z_V) \sqrt{\xi/30v}; \end{aligned} \quad (47)$$

приведения прибора в рабочее положение

$$\begin{aligned} \mu_{2h}(Z_V^V) &= 0,04 m'(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}, & \mu_{2h} &= 0,05 m'(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}, \\ \mu_{2l}(Z_V^V) &= 0,04 m_l(Z_V) \sqrt{0,025 \xi}, & \mu_{2l} &= 0,05 m_l(Z_V) \sqrt{\xi/90 \nu}, \\ \mu_{2k}(Z_V^V) &= 0,04 m_k(Z_V) \sqrt{0,045 \xi}, & \mu_{2k} &= 0,05 m_k(Z_V) \sqrt{\xi/45 \nu}, \\ \mu_{2B}(Z_V^V) &= 0,05 m_B(Z_V) \sqrt{0,035 \xi}, & \mu_{2B} &= 0,05 m_B(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}, \\ \mu_{2p}(Z_V^V) &= 0,04 m_p(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}, & \mu_{2p} &= 0,05 m_p(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}, \\ \mu_{2V}(Z_V^V) &= 0,08 m_V(Z_V) \sqrt{0,035 \xi}; & & (48) \end{aligned}$$

$$\mu_{2V} = 0,08 m_V(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}; \quad (49)$$

собственно измерения

$$\begin{aligned} \mu_{3h}(Z_V^V) &= 0,07 m'(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}, & \mu_{3h} &= 0,10 m'(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}, \\ \mu_{3l}(Z_V^V) &= 0,07 m_l(Z_V) \sqrt{0,025 \xi}, & \mu_{3l} &= 0,10 m_l(Z_V) \sqrt{\xi/90 \nu}, \\ \mu_{3B}(Z_V^V) &= 0,10 m_B(Z_V) \sqrt{0,35 \xi}, & \mu_{3B} &= 0,10 m_B(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}, \\ \mu_{3k}(Z_V^V) &= 0,07 m_k(Z_V) \sqrt{0,045 \xi}, & \mu_{3k} &= 0,10 m_k(Z_V) \sqrt{\xi/45 \nu}, \\ \mu_{3p}(Z_V^V) &= 0,07 m_p(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}, & \mu_{3p} &= 0,10 m_p(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}, \\ \mu_{3V}(Z_V^V) &= 0,14 m_V(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}; & & (50) \end{aligned}$$

$$\mu_{3V} = 0,14 m_V(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}; \quad (51)$$

влияния личного фактора —

$$\begin{aligned} \mu_{4h}(Z_V^V) &= 0,02 m'(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}, & \mu_{4h} &= 0,03 m'(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}, \\ \mu_{4l}(Z_V^V) &= 0,02 m_l(Z_V) \sqrt{0,025 \xi}, & \mu_{4l} &= 0,03 m_l(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}, \\ \mu_{4k}(Z_V^V) &= 0,02 m_k(Z_V) \sqrt{0,045 \xi}, & \mu_{4k} &= 0,03 m_k(Z_V) \sqrt{\xi/45 \nu}, \\ \mu_{4B}(Z_V^V) &= 0,03 m_B(Z_V) \sqrt{0,035 \xi}, & \mu_{4B} &= 0,03 m_B(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}, \\ \mu_{4p}(Z_V^V) &= 0,02 m_p(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}, & \mu_{4p} &= 0,03 m_p(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}, \\ \mu_{4V}(Z_V^V) &= 0,05 m_V(Z_V) \sqrt{0,035 \xi}; & & (52) \end{aligned}$$

$$\mu_{4V} = 0,05 m_V(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}; \quad (53)$$

влияния внешних условий —

$$\begin{aligned} \mu_{5h}(Z_V^V) &= 0,01 m'(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}, & \mu_{5h} &= 0,02 m'(Z_V) \sqrt{\xi/30 \nu}, \\ \mu_{5l}(Z_V^V) &= 0,01 m_l(Z_V) \sqrt{0,025 \xi}, & \mu_{5l} &= 0,02 m_l(Z_V) \sqrt{\xi/90 \nu}, \\ \mu_{5k}(Z_V^V) &= 0,01 m_k(Z_V) \sqrt{0,045 \xi}, & \mu_{5k} &= 0,02 m_k(Z_V) \sqrt{\xi/45 \nu}, \end{aligned}$$

$$\mu_{5b}(Z_V^V) = 0,02 m_b(Z_V) \sqrt{0,035 \xi}, \quad \mu_{5b} = 0,02 m_b(Z_V) \sqrt{\xi/30 v},$$

$$\mu_{5p}(Z_V^V) = 0,01 m_p(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}, \quad \mu_{5p} = 0,02 m_p(Z_V) \sqrt{\xi/30 v},$$

$$\mu_{5v}(Z_V^V) = 0,02 m_v(Z_V) \sqrt{0,035 \xi}; \quad (54)$$

$$\mu_{5v} = 0,02 m_v(Z_V) \sqrt{\xi/30 v}; \quad (55)$$

волнистости граней —

$$\mu_{6h}(Z_V^V) = 0,09 m'_h(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}, \quad \mu_{6h} = 0,13 m'_h(Z_V) \sqrt{\xi/30 v},$$

$$\mu_{6l}(Z_V^V) = 0,09 m_l(Z_V) \sqrt{0,025 \xi}, \quad \mu_{6l} = 0,13 m_l(Z_V) \sqrt{\xi/90 v},$$

$$\mu_{6k}(Z_V^V) = 0,09 m_k(Z_V) \sqrt{0,045 \xi}, \quad \mu_{6k} = 0,13 m_k(Z_V) \sqrt{\xi/45 v},$$

$$\mu_{6b}(Z_V^V) = 0,13 m_b(Z_V) \sqrt{0,035 \xi}, \quad \mu_{6b} = 0,13 m_b(Z_V) \sqrt{\xi/30 v}$$

$$\mu_{6p}(Z_V^V) = 0,09 m_p(Z_V) \sqrt{0,07 \xi}, \quad \mu_{6p} = 0,13 m_p(Z_V) \sqrt{\xi/30 v},$$

$$\mu_{6v}(Z_V^V) = 0,19 m_v(Z_V) \sqrt{0,035 \xi}, \quad (56)$$

$$\mu_{6v} = 0,19 m_v(Z_V) \sqrt{\xi/30 v}. \quad (57)$$

Рассмотрим практическое применение полученных формул. Для примера вычислим значение величин (33) — (44). Зная допустимые отклонения при монтаже сборных железобетонных конструкции высотных зданий, можно составить таблицу допустимых поэтажных отклонений по отдельным видам контрольно-монтажных работ. При разности отметок верха смежных колонн или опорных площадок балок, ригелей, панелей стен от ближайших рабочих реперов отклонения составляют $m_b(Z_V) = m'_h(Z_V) = 3,3$ мм, отклонения плоскостей стеновых панелей в верхнем сечении от вертикали (на высоте этажа или яруса) $m_k(Z_V) = m_l(Z_V) = 1,65$ мм, $m_p(Z_V) = 2,23$ мм, $m_v(Z_V) = 4,04$ мм. При этом $l=7$, $k=3$, $n_c=7$,

$$m_p(Z_V) = \sqrt{m_l^2(Z_V) + m_k^2(Z_V)},$$

$$m_v(Z_V) = \sqrt{m'^2(Z_V) + m_p^2(Z_V)}.$$

Так, для 1-го, 10-го и 24-го ($V_1=1$, $V_{10}=10$, $V_{24}=24$) монтажных горизонтов получаем: $\mu_h=0,55$ мм, 0,59 мм, 0,64 мм; $\mu_l=0,16$ мм, 0,17 мм, 0,18 мм; $\mu_k=0,22$ мм, 0,24 мм, 0,26 мм; $\mu_b=0,55$ мм, 0,59 мм, 0,64 мм; $\mu_p=0,39$ мм, 0,41 мм, 0,45 мм; $\mu_v=0,95$ мм, 1,01 мм, 1,10 мм.

Имея исходные данные, можно по формулам (46) — (57) рассчитать компоненты систематических и случайных ошибок. Их классификация и величины дают возможность некоторые из них ослабить или исключить за счет конструктивных изменений отдельных узлов при совершенствовании существующих и разработке новых приборов, устройств и приспособлений.

Таким образом, формулы позволяют рассчитать точность измерений (33) — (44) сдвига закрытых строительных конструкций

по высоте, по уклонению от вертикали, продольному и поперечному смещению, в плане и пространстве; оценить качество строительных и геодезических работ по замыкающему и составляющему звеньям, вершинам пространственных размерных цепей; вычислить компоненты (46) — (57) ошибок (33) — (34) замыкающего и составляющего звеньев размерных цепей — изготовления и приведения в рабочее положение технических измерительных средств, собственно измерения, волнистости граней элементов конструкций, влияния личного фактора и внешних условий.

1. *Видуев Н. Г.* Теория размерных цепей и ее применение для расчета разбивочных работ // Инженерная геодезия. 1967. Вып. 3. С. 17—19. 2. *Сытник В. С.* Основы расчета и анализа точности геодезических измерений в строительстве. М., 1974. 3. *Чемрат В. Д.* Разработка способа контрольно-монтажных измерений и оценка его точности // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1987. Вып. 46. С. 103—110.

Статья поступила в редколлегию 20.09.89