

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ ОБЪЕКТОВ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Необходимым условием точного определения пространственных перемещений точек исследуемого объекта является выполнение снимков при оптимальных условиях фотограмметрической прямой засечки. Снимки необходимо делать с близкого расстояния и так, чтобы направления засечки пересекались под углом, близким к 90° . Этим условиям соответствует измерительная сеть, представленная на рис. 1.

Описанная в данной статье методика позволяет непосредственно вычислять параметры перемещения измеренной точки.

Снимки выполняют по меньшей мере с двух точек (I и II, рис. 1). Если не гарантирована устойчивость этих точек, выбирают две дополнительные точки, в которых устанавливают теодолит и в каждом цикле периодических наблюдений измеряют углы $\alpha_I, \alpha_{II}, \beta_I, \beta_{II}$, позволяющие изучить горизонтальные перемещения точек I и II. Вертикальные перемещения необходимо определить при помощи нивелирования. Каждый раз оси камер ориентируют по дальней постоянной точке (точка 2,

рис. 2). После съёмки измеряют в точках I и II углы (горизонтальный ϵ_h и вертикальный δ_h до контрольной марки K вблизи точки пересечения осей камер).

Перемещения точек стояния фототеодолита dX и dY вычисляют по уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} A_{1-I} dY_I - B_{1-I} dX_I &= \Delta\alpha_I; \\ -A_{2-I} dY_I + B_{2-I} dX_I &= \Delta\beta_I; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} A_{1-II} dY_{II} + B_{1-II} dX_{II} &= \Delta\alpha_{II}; \\ A_{2-II} dY_{II} - B_{2-II} dX_{II} &= \Delta\beta_{II}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

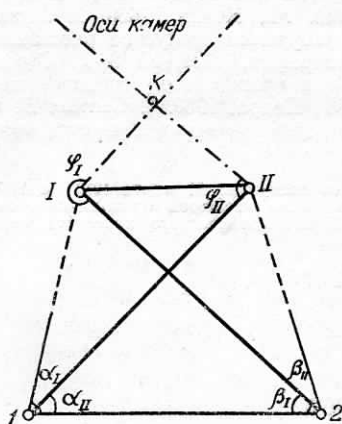


Рис. 1. Взаимное расположение точек стояния фототеодолита (I и II), теодолита (I и 2), углы ориентации камер (φ) и углы перемещений точек стояния фототеодолита (α и β).

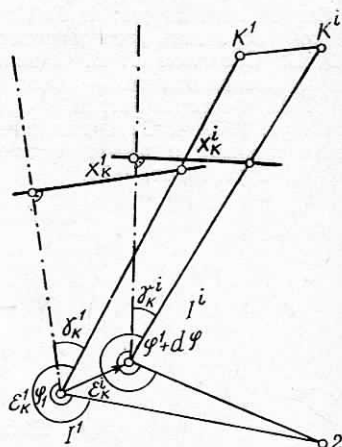


Рис. 2. Элементы исправления влияния ошибки $d\varphi$.

где $A_{1-I} = \frac{\Delta X_{1-I}}{d_{1-I}} \rho$; $B_{1-I} = \frac{\Delta Y_{1-I}}{d_{1-I}} \rho$. и т. д.

Здесь $\Delta X_{1-I} = X_I - X_1$; $\Delta Y_{1-I} = Y_I - Y_1$ и т. д. (d_{1-I} — расстояние точек 1 и I; $\Delta\alpha_I = \alpha_1^I - \alpha_1^I$ — разность углов, измеренных в первом и i -ом периодических наблюдениях).

На снимках, полученных с той же точки стояния, измеряют псевдопараллаксы « p' ». Следует отметить, что не обязательно маркировать точки. На псевдостереопарах, полученных со снимков $I^I - I^i$ и $II^I - II^i$, можно наблюдать точки p^I и p^{II} , расположенные близко одна возле другой, принимая в вычислениях, что это одна и та же точка p .

Перемещение любой точки p вычисляют по уравнениям*:

* Если выполнены избыточные наблюдения, надо принимать метод вычислений, описанный в работе [1].

$$\left. \begin{aligned} B_{I-p}^{\Phi} \Delta X_p - A_{I-p}^{\Phi} \Delta Y_p &= \Delta X_I (B_{I-p}^{\Phi} - B_{I-2}^{\Phi}) - \\ &\quad - \Delta Y_I (A_{I-p}^{\Phi} - A_{I-2}^{\Phi}) - p_I, \\ B_{II-p}^{\Phi} \Delta X_p - A_{II-p}^{\Phi} \Delta Y_p &= \Delta X_{II} (B_{II-p}^{\Phi} - B_{II-1}^{\Phi}) - \\ &\quad - \Delta Y_{II} (A_{II-p}^{\Phi} - A_{II-1}^{\Phi}) - p_{II}, \end{aligned} \right\} (3)$$

где

$$A_{I-p}^{\Phi} = \frac{\Delta X_{I-p} \cdot f}{d_{I-p}^2 \cos^2 \gamma_p}; \quad B_{I-p}^{\Phi} = \frac{\Delta Y_{I-p} \cdot f}{d_{I-p}^2 \cdot \cos^2 \gamma_p};$$

f — фокусное расстояние камеры; γ — показанный на рис. 2 горизонтальный угол к любой точке p ; p_I, p_{II} — исправленные псевдопараллаксы p_I^1, p_{II}^1 .

Исправление псевдопараллаксов (рис. 2):

$$\gamma_k^i = \varepsilon^i - \varphi^1 - d\varphi; \quad \gamma_k^1 = \varepsilon^1 - \varphi^1;$$

$$\Delta \gamma_k = \gamma_k^i - \gamma_k^1 = \varepsilon^i - \varepsilon^1 - d\varphi = \Delta \varepsilon - d\varphi;$$

$$d\varphi = \varphi^i - \varphi^1 = \Delta \varepsilon - \Delta \gamma_k \cong \Delta \varepsilon - \frac{p_k \cos^2 \gamma_k}{f};$$

$$X^i = X^{i^1} - \Delta X_{\varphi} = X^{i^1} + \frac{(f^2 + x^2) d\varphi}{f \cdot \rho},$$

что вытекает из работы [3]:

$$p = X^i - X^1 = X^{i^1} - X^1 + \frac{(f^2 + X^2) d\varphi}{f \rho} = p^1 + \frac{f d\varphi}{\rho \cos^2 \gamma_p};$$

$$p = p^1 + \frac{f \Delta \varepsilon}{\rho \cos^2 \gamma_p} - \frac{p_k \cos^2 \gamma_k}{\cos^2 \gamma_p}.$$

Для простоты вычисления можно записать

$$p = p^1 - \frac{s}{\cos^2 \gamma_p}, \quad (4)$$

где

$$s = p_k \cos^2 \gamma_k - \frac{\Delta \varepsilon f}{\rho}.$$

Как видно, величина s постоянна для псевдостереопары. Аналогично можно исправить вертикальные псевдопараллаксы q' , вызванные ошибкой $d\omega$ наклона оси камеры (рис. 3)

$$q = z^i - z^1 - \frac{t}{\cos^2 \delta_p} q^1 - \frac{t}{\cos^2 \delta_p}, \quad (5)$$

где

$$t = q_k \cos^2 \delta_k - \frac{\Delta \delta f}{\rho};$$

$\Delta\delta = \delta^i - \delta^1$ — изменение вертикального угла контрольной точки K . Поправки, учитывающие поворот прикладной рамки камеры ($d\kappa$), можно не принимать во внимание, если полевая проверка фототеодолита выполнена при помощи накладного уровня.

Вертикальное перемещение определяют из равенств:

$$\Delta z = z^i - z^1 = \frac{Y_\phi^1 q + \Delta Y_\phi (z^1 + q)}{f} \cong \frac{Y_\phi^1 q + \Delta Y_\phi z^1}{f}; \quad (6)$$

$$Y_\phi^1 = \cos \gamma^1 \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2};$$

$$Y_\phi^i = \cos \gamma^i \sqrt{(\Delta X + dX_p - dX_c)^2 + (\Delta Y + dY_p - dY_c)^2}.$$

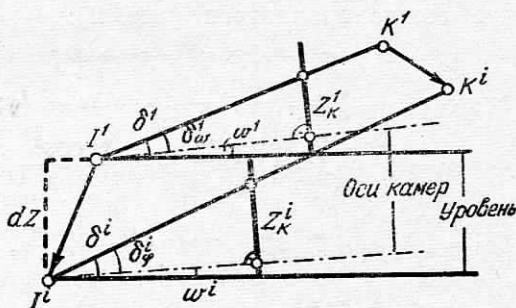


Рис. 3. Элементы исправления влияния ошибки $d\omega$.

Если точка ориентирования камеры достаточно отдалена от места стояния фототеодолита, то можно принять

$$Y_\phi^i = \cos \gamma \sqrt{(\Delta X + dX_p - dX_c)^2 + (\Delta Y + dY_p - dY_c)^2}, \quad (7)$$

где dX_c , dY_c , dZ_c — перемещения точки стояния фототеодолита (I или II).

Все вычисления Δz_c необходимо уточнить в соответствии с измеренным при помощи нивелирования значением высоты фотографирования dZ_c .

Описанный метод дает возможность достигнуть высокой точности измерения деформаций; его можно применять для исследования оползней, деформаций земляных сооружений, стен карьеров и др. В результате проведенных экспериментальных работ автор получил точность определения перемещений точек по отношению к точкам 1 и 2 (см. рис. 1) $m_p = \pm 3$ мм, при расстояниях 1—II, 2—I порядка 170 м и 1—p, II—p порядка 60 м; $m_z = \pm 2$ мм.

Снимки сделаны фототеодолитом *Photheo* 19/1318. Углы измерялись теодолитом *Theo 010*; обработка снимков велась на стекометре с кордиметром *E (Carl Zeiss Jena)*.

Список литературы: 1. *Bernasik J.* Fotogrametryczne określanie przemieszeń na zasadzie różnicowej. Geodezja i fotogrametria (zagadnienia wybrane). Prace Górniczo-Geodezyjnej PAN. Oddział w Krakowie. 25, 1978. 2. *Hausbrandt S.* Rachunki geodezyjne. Warszawa, PPWK, 1956. 3. *Piasecki M. B.* Fotogrametria lotnicza i naziemna, Warszawa, PPWK, 1973.

Работа поступила 6 января 1978 года. Рекомендована кафедрой аэрофотогеодезии Львовского политехнического института.