

АЭРОФОТОСЪЕМКА

Такая ошибка не оказывает значительного влияния на дальнешую фотограмметрическую обработку снимков. Рассмотрим, как ошибка базиса искачет элементы внешнего ориентирования. Для этого, учитывая, что угловые элементы достаточно малы, перепишем (1) для правого снимка в виде

$$(X - B)x + Yx + (Z - h)x = (X - B)f - Yfa + (Z - h)fx,$$

E. И. СМИРНОВ

ВЛИЯНИЕ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ БАЗИСА И ПРЕВЫШЕНИЯ МЕЖДУ СТАНЦИЯМИ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВНЕШНЕГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ СНИМКОВ

В данной работе мы исследуем ошибки угловых элементов от ошибок измерения длины базиса и превышений между станциями фотографирования.

В качестве исходного примем условие коллинеарности [1]:

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= f \frac{(X - X_s)a_i + (Y - Y_s)b_i + (Z - Z_s)c_i}{(X - X_s)a_2 + (Y - Y_s)b_2 + (Z - Z_s)c_2}, \\ \mathbf{z} &= f \frac{(X - X_s)a_3 + (Y - Y_s)b_3 + (Z - Z_s)c_3}{(X - X_s)a_2 + (Y - Y_s)b_2 + (Z - Z_s)c_2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где x, z — координаты точек снимков; f — фокусное расстояние камеры; X, Y, Z — координаты соответствующей точки местности; X_s, Y_s, Z_s — координаты центров проекции камеры; a_i, b_i, c_i — направляющие косинусы, являющиеся функциями угловых элементов внешнего ориентирования.

Имена координаты корректирующих точек на местности и на снимках, а также фокусное расстояние камеры и координаты центров проекций, легко получить поправки в измеренные элементы внешнего ориентирования. Однако ошибки в пространственных координатах корректирующих точек и центров проекций неизбежно приведут к искажению элементов внешнего ориентирования.

Чаше всего корректирующая модель выполняется в базисной системе координат, т. е. в системе, у которой начало совпадает с центром проекции левой камеры, а ось X — с базисом. Тогда для левого снимка этой системы $X_s = Y_s = Z_s = 0$, а для правого — $X_s = B$, $Y_s = 0$, $Z_s = h$, где B — горизонтальное положение базиса; h — превышение правой точки базиса над левой. Ошибка в координатах левого центра проекции смещает в пространстве всю модель, не искажая угловых элементов внешнего ориентирования, в то время как ошибки положения правого центра (dB, dh) выходит ошибки в угловых элементах.

В руководстве по топографической фотогеодолитной съемке [2] предусмотрена относительная ошибка измерения длины базиса не ниже 1 : 1000.

и.и.и

$$B = -X + Y \left(\frac{x}{f} \right) + \left(1 + \frac{x^2}{f^2} \right) \alpha + \frac{xz}{f^2} \omega - \frac{z}{f} \kappa. \quad (3)$$

Отсюда легко получить следующие формулы:

$$d\alpha = \frac{1}{k} \frac{dB}{B} \frac{f^2}{x^2 + f^2}, \quad d\omega = \frac{1}{k} \frac{dB}{B} \frac{f^2}{xz}, \quad d\kappa = \frac{1}{k} \frac{dB}{B} \frac{f}{z}, \quad (4)$$

где $k = Y/B$ — коэффициент съемки.

Эти формулы позволяют определить ожидаемую ошибку углового элемента внешнего ориентирования для правого снимка при отсутствии ошибок остальных элементов.

Определим долевое влияние относительной ошибки измерения базиса на точность вычисления угловых элементов внешнего ориентирования. Для этого вычислим предельную относительную ошибку базиса по (3), полагая $x = 80$ мм, $z = 55$ мм, $f = 195$ мм, $d/B/B = k = 1,168 d\alpha + 0,116 d\omega + 0,282 d\kappa$. Далее найдем долю участия каждого элемента в суммарной ошибке по формулам

$$d\alpha = 1,168/\Sigma d = 0,746, \quad d\omega = 0,116/\Sigma d = 0,074, \quad (5)$$

$$d\kappa = 0,282/\Sigma d = 0,180.$$

Здесь $\Sigma d = 1,168 + 0,116 + 0,282$.

На основании (5) можно утверждать, что относительная ошибка определения длины базиса больше всего оказывается на угле α (74,6% всего влияния $dB : B$) и меньше всего угле ω (только 7,4% от всей ошибки $dB : B$).

Считая, что такое распределение сохраняется во всех случаях, получаем предельное долевое искажение угловых элементов внешнего ориентирования, вызванных относительной ошибкой измерения длины базиса, как некоторую часть ошибки $d\alpha$:

$$d\alpha' = \frac{1}{k} \frac{dB}{B} \frac{f^2}{x^2 + f^2} \rho'' \approx \frac{177000''}{k} \frac{dB}{B},$$

$$d\omega' = \frac{0,074}{0,746} d\alpha' \approx \frac{177000''}{k} \frac{dB}{B},$$

$$d\kappa' = \frac{0,180}{0,746} d\alpha' \approx \frac{43000''}{k} \frac{dB}{B}. \quad (6)$$

Формулы (6) по своей природе дают некоторое завышение значения ошибок угловых элементов внешнего ориентирования, но эта несторгость незначительна.

Для контроля полученных формул выбрана пара макетных снимков. Длина базиса составляет 66,016 м. Ожидаемые ошибки угловых элементов внешнего ориентирования вычислены по (6) при относительных ошибках базиса 1 : 4000 и 1 : 1000 для точек, удаленных от базиса на

960...990 м ($k = 14,5$), и для точек, удаленных на 265...

$\therefore 625$ м ($k = 4,0$), если

$dB : B = 1 : 1000$. Кроме того, получены истинные значения искажений, вызванные этими ошибками измерения

длины базиса по корректированным точкам. Полученные результаты сведены в таблицу.

Как видно из таблицы, предрасчетные значения ошибок в угловых элементах опицываются точно

формулами (6) только при достаточно большом удалении опорных точек. При малых отстояниях происходит некоторое перераспределение влияния относительной ошибки длины базиса. Однако на практике при корректуре модели по опорным точкам, последние, как правило, располагаются у дальней границы снимаемого участка. Следовательно, формулы (6) имеют практический интерес.

На основании полученных формул можно определить необходимую и достаточную точность измерения длины базиса в случае заданной точности угловых элементов внешнего ориентирования:

$$\frac{dB}{B} = \frac{k}{\rho''} \left(\frac{x^2 + f^2}{f^2} d\alpha + \frac{xz}{f^2} d\omega + \frac{z}{f} dx \right). \quad (7)$$

Аналогично вычисляем ожидаемые искажения угловых элементов внешнего ориентирования, вызванные ошибками определения превышений между точками проекций камер. Из условия коллинеарности имеем

$$dh = Y' \left(\frac{xz}{f^2} da + \left(1 + \frac{z^2}{f^2} \right) d\omega + \frac{x}{f} du \right). \quad (8)$$

Обозначив масштаб точки $M = Y/f$, получим

$$dh = M \left(\frac{xz}{f^2} da + \left(f + \frac{z^2}{f} \right) d\omega + xdu \right). \quad (9)$$

Отсюда предельные ошибки угловых элементов внешнего ориентирования запишем

$$d\alpha = \frac{dh}{M} \frac{f}{xz} \rho'', \quad d\omega = \frac{dh}{M} \frac{f}{z^2 + f^2} \rho'', \quad du = \frac{dh}{M} \frac{\rho''}{x}. \quad (10)$$

Доловое искажение можно получить по следующим формулам:

$$da' = \frac{0,072}{0,672} d\omega \approx \frac{100''}{M} dh,$$

$$d\omega' = \frac{f}{z^2 + f^2} \rho'' \frac{dh}{M} \approx \frac{980''}{M} dh,$$

$$dx' = \frac{0,256}{0,672} d\omega \approx \frac{370''}{M} dh. \quad (11)$$

При масштабе опорной точки $1 : M = 1 : 5000$ и $dh = 0,05$ м имеем $d\alpha' \approx 0,001''$, $d\omega' \approx 0,010''$, $dx' \approx 0,004''$.

Следовательно, ошибка определения превышения правой точки базиса над левой в случае использования при уравнении условия коллинеарности практически не оказывается на точности определения угловых элементов внешнего ориентирования.

Список литературы: 1. Лобанов А. Н. Фототопография. Наземная стереофотограмметрическая съемка. — М.: Недра, 1968. 2. Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500. Фотогеодолитная съемка. — М.: Недра, 1977.

Статья поступила в редакцию 20.01.84