

О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ КОРРЕКТУРНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИ ФОТОТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКЕ

Одним из важнейших факторов, обуславливающих использование какой-либо методики, является требуемая точность определения исходных величин и разработка работоспособной технологии их получения. В связи с этим при разработке аналитического способа обработки фототеодолитных снимков с использованием корректурных направлений перед нами стала задача определения необходимой и достаточной точности угловых измерений, выполняемых в процессе подготовки геодезического обеспечения фототеодолитной съемки.

Задача сводится к определению зависимости допустимых ошибок измерений горизонтальных и вертикальных корректурных направлений от требуемой точности получения координат точек фототеодолитных снимков. Для этого использованы формулы*, объединяющие параметры:

$$\begin{aligned} x &= f \frac{a_1 \sin \lambda + b_1 \cos \lambda + c_1 \operatorname{tg} \beta}{a_2 \sin \lambda + b_2 \cos \lambda + c_2 \operatorname{tg} \beta}, \\ z &= f \frac{a_3 \sin \lambda + b_3 \cos \lambda + c_3 \operatorname{tg} \beta}{a_2 \sin \lambda + b_2 \cos \lambda + c_2 \operatorname{tg} \beta}, \end{aligned} \quad (1)$$

где x, z — измеренные координаты точек фототеодолитных снимков; f — фокусное расстояние камеры; a_i, b_i, c_i — направляющие косинусы, являющиеся функциями от угловых элементов внешнего ориентирования; λ и β — соответственно горизонтальное и вертикальное корректурные направления, измеренные с концов базиса на замаркированные или легко определяемые на снимках точки. Корректурные направления должны быть предварительно исправленные за внецентренность передней узловой точки объектива*.

Учитывая, что при наземной стереофотограмметрической съемке элементы ω и κ , как правило, близки к нулю, запишем направ-

* Смирнов Е. И. Зависимость между координатами точек снимка и корректурными углами, измеренными с концов базиса. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1983, вып. 38, с. 141—144.

ляющие косинусы применительно к этому случаю: $a_1 = \cos \alpha$, $a_2 = \sin \alpha$, $a_3 = 0$, $b_1 = -\sin \alpha$, $b_2 = \cos \alpha$, $b_3 = 0$, $c_1 = 0$, $c_2 = 0$, $c_3 = 1$. Тогда формулы (1) примут вид

$$x = f \frac{\cos \alpha \sin \lambda - \sin \alpha \cos \lambda}{\sin \alpha \sin \lambda + \cos \alpha \cos \lambda} = f \operatorname{tg} (\lambda - \alpha) = f \operatorname{tg} \lambda',$$

$$z = f \frac{\operatorname{tg} \beta}{\sin \alpha \sin \lambda + \cos \alpha \cos \lambda} = f \operatorname{tg} \beta \sec (\lambda - \alpha) = f \operatorname{tg} \beta \sec \lambda'. \quad (2)$$

Здесь λ' — горизонтальный угол между истинным направлением оптической оси камеры и направлением на корректурную точку снимка с вершиной в задней узловой точке камеры. Выразим корректурные направления через измеренные координаты точек снимка

$$\lambda' = \operatorname{arctg} \frac{x}{f},$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \left(\frac{z}{f} \sec \lambda' \right). \quad (3)$$

Продифференцировав полученные выражения по переменным

$$x, z, f, g = \sec \lambda' = \frac{\sqrt{f^2 + x^2}}{f}, \text{ получим}$$

$$\frac{\partial \lambda'}{\partial x} = \frac{f}{f^2 + x^2}, \quad \frac{\partial \lambda'}{\partial f} = \frac{-x}{f^2 + x^2}, \quad \frac{\partial \lambda'}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \lambda'}{\partial g} = 0,$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial z} = \frac{\sqrt{f^2 + x^2}}{f^2 + z^2 \left(1 + \frac{x^2}{f^2} \right)}, \quad \frac{\partial \beta}{\partial f} = \frac{-z}{f} \frac{\sqrt{f^2 + x^2}}{f^2 + z^2 \left(1 + \frac{x^2}{f^2} \right)},$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial g} = \frac{fz}{f^2 + z^2 \left(1 + \frac{x^2}{f^2} \right)},$$

$$\frac{\partial g}{\partial x} = \frac{x}{f \sqrt{f^2 + x^2}}, \quad \frac{\partial g}{\partial f} = \frac{-x^2}{f^2 \sqrt{f^2 + x^2}}. \quad (4)$$

На основании этих формул можно определить допустимые средние квадратические ошибки измерения корректурных направлений. Полагая $m_x = m_z = m_f = m$, после некоторых преобразований имеем

$$m_{\lambda'} = \frac{m}{\sqrt{f^2 + x^2}} \rho''.$$

$$m_{\beta} = \frac{m \sqrt{f^2 + z^2 \left(1 + \frac{x^2}{f^2} \right) + x^2}}{f^2 + z^2 \left(1 + \frac{x^2}{f^2} \right)} \rho'', \quad (5)$$

где $\rho'' = 206265''$.

Первая формула позволяет вычислить суммарную ошибку горизонтального корректурного направления и углового элемента ориентирования α . Следовательно, для вычисления средней квадратической ошибки собственно горизонтального корректурного направления необходимо учесть условие $m_\lambda = \frac{m_\lambda'}{\sqrt{2}}$. Допуская погрешность определения m_β до 10...20%, с целью упрощения вычислений (только для длиннофокусных и среднефокусных камер), окончательно можно записать

$$m_\lambda = \frac{m}{\sqrt{2}(f^2 + x^2)} \rho'',$$
$$m_\beta = \frac{m}{\sqrt{f^2 + z^2 \left(1 + \frac{x^2}{f^2}\right)}} \rho''. \quad (6)$$

Используя полученные формулы, подсчитаем необходимую и достаточную точность определения корректурных направлений применительно к наиболее распространенным фототеодолитам Photheo 19/1318 и УМК 10/1318, полагая $m = 0,005$ мм.

В первом случае имеем $m_\lambda = \frac{0,005 \times 206265''}{\sqrt{2}(190^2 + 80^2)} \approx \pm 3'',5$,

$m_\beta = \frac{0,005 \times 206265''}{\sqrt{190^2 + 60^2 \times 1,18}} \approx \pm 5'',0$. Для второго фототеодолита

$m_\lambda = \frac{0,005 \times 206265''}{\sqrt{2}(100^2 + 80^2)} \approx \pm 6'',0$, $m_\beta = \frac{0,005 \times 206265''}{\sqrt{100^2 + 60^2 \times 1,18}} \approx \pm 8'',5$.

Полученные данные показывают, что на точность определения корректурных направлений накладываются очень жесткие условия, особенно в случаях выполнения фототеодолитной съемки длиннофокусными камерами. Следовательно, измерения корректурных направлений нужно выполнять высокоточными оптически теодолитами типа Т 2 или Theo 010, четырьмя приемами, как горизонтальные, так и вертикальные. Угловые измерения следует производить одновременно с фотографированием. Это, во-первых, устранит ошибки за центрирование, во-вторых, влияние атмосферной рефракции будет в меньшей степени отличаться при измерении и при фотографировании.

Соблюдение указанных требований позволит с высокой степенью точности определить все элементы ориентирования снимка и коэффициент атмосферной рефракции, что, в свою очередь, повысит точность получения пространственных координат точек объекта стереофотограмметрическим способом.