

Для экспериментальных исследований предложенного метода выполнена фотосъемка внутренней поверхности купола при наклонном положении камеры УМК 10/1318 с нескольких пунктов, расположенных симметрично центру сооружения. При этом одинаковые ребра купола изобразились на четырех снимках, что позволило дважды определить значения Δh и δ для каждой точки M . Оценка точности произведена по разностям двойных измерений для 36 точек одного ребра, расположенных на четырех участках

Теоретические и эмпирические средние квадратические погрешности определения Δh и δ

Интервал	$m_{\Delta h}$, мм	m_{δ} , мм	$m_{\delta'}$, мм	$m_{\delta''}$, мм	Количество точек	S_{AV} среднее, м
1	1,28	1,10	0,77	0,35	6	8,7
2	1,48	1,42	0,98	0,56	13	11,0
3	1,61	1,55	1,20	1,50	11	12,5
4	5,40	3,05	16,1	18,9	6	19,0

с различными характеристиками. В таблице сравниваются эмпирические значения средних квадратических погрешностей $m_{\Delta h}$ и m_{δ} с величинами, рассчитанными по формулам (15) и (18). Для участка № 4 угол $C = 70^\circ$.

Для повышения точности определения параметров купола необходимо вводить поправки в фокусное расстояние камеры за непряжик [5], в угловые элементы внешнего ориентирования по измерениям контрольных направлений [7], а также выполнять фотографиярование на две и более фотопластины [6].

Из анализа данных экспериментальных исследований следует: разработанный метод позволяет определять параметры криволинейных поверхностей при использовании характерных линий сооружений, расположенных в вертикальных плоскостях с заданной точностью;

незначительный объем полевых работ при использовании данного метода, по сравнению с известными, обеспечивает непрерывность технологических процессов при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений;

использование ЭВМ для вычислений позволит оперативно подучать информацию о состоянии сооружения.

1. Баран П. И., Нишанбаев Н., Давлатов Ш. Съемка недоступных вертикальных кривых. — Инж. геодезия, 1975, вып. 17, с. 98—106. 2. Войтенко С. П., Колесник И. Н. Методика геодезического обеспечения возведения сооружений из обожженой глины. — Инж. геодезия, 1978, вып. 21, с. 100—104. 3. Волынец С. П., Колесник И. Н. Геодезическая съемка элементов простейших конструкций наклонного сечения. — Инж. геодезия, 1979, вып. 22, с. 75—78. 4. Кружмис В. А., Иванова Л. И., Дерев З. Д. Определение формы вантовых покрытий инженерных сооружений фотограмметрическим методом. — Геодезия и картография, 1979, № 2, с. 48—49. 5. Сердюков В. М. Фотограмметрия в инженерно-

строительном деле. — М.: Недра, 1970. — 136 с. 6. Сердюков В. М. Фотограмметрия в промышленном и гражданском строительстве. — М.: Недра, 1977. — 245 с. 7. Смирнов Е. И. Зависимость между координатами точек снимка и координатами углов, измеренными с концов базиса. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1983, вып. 38, с. 141—144.

Статья поступила в редколлегию 30. 04. 85

УДК 528.711.1

Е. И. СМЕРНОВ

О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ КОРРЕКТУРНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИ ФОТОГЕОДОЛИТНОЙ 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 фотогеоодолитных снимков с использованием корректурных направлений перед нами стала задача определения необходимой и достаточной точности угловых измерений, выполняемых в процессе подготовки геодезического обеспечения фотогеоодолитной съемки.

Задача сводится к определению зависимости допустимых ошибок измерений горизонтальных и вертикальных корректурных направлений от требуемой точности получения координат точек фотогеоодолитных 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 фотогеоодолитных снимков; f — фокусное расстояние камеры; a_i, b_i, c_i — направляющие косинусы, являющиеся функциями от угловых элементов внешнего ориентирования; λ и β — соответственно горизонтальный и вертикальный 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 вершины в задней узловой точке камеры. Выразим корректурные направления через измеренные координаты точек снимка

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

Продифференцировав полученные выражения по переменным

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial \lambda'}{\partial x} &= \frac{f}{f^2 + x^2}, \quad \frac{\partial \lambda'}{\partial f} = \frac{-x}{f^2 + x^2}, \quad \frac{\partial \lambda'}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \lambda'}{\partial g} = 0, \\ \frac{\partial \beta}{\partial z} &= \frac{f}{\sqrt{f^2 + x^2}}, \quad \frac{\partial \beta}{\partial f} = -z \frac{V \sqrt{f^2 + x^2}}{f^2 + z^2 \left(1 + \frac{x^2}{f^2} \right)}, \end{aligned}$$

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

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

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

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

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_{λ} до 10...20%, с целью упрощения вычислений (только для длиннофокусных и среднефокусных камер), окончательно можно записать

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

Используя полученные формулы, подсчитаем необходимым и достаточною точность определения корректурных направлений применительно к наиболее распространенным фотогеоделитам Rhotheo 19/1318 и УМК 10/1318, полагая $m = 0,005$ мм.

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

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

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

Полученные данные показывают, что на точность определения корректурных направлений накладываются очень жесткие условия, особенно в случаях выполнения фотогеоделитной съемки длиннофокусными камерами. Следовательно, измерения корректурных направлений нужно выполнять высокоточными оптическими геоделитами типа Т 2 или Т heo 010, четырьмя приемами, как горизонтальными, так и вертикальными. Угловые измерения следует производить одновременно с фотографиями. 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.

Статья поступила в редакцию 06. 04. 85