Обращаясь к (4), видим, что произведение fm_p одновременно дает и количественную, и качественную характеристику стереофотограмметрической съемки, которая может быть выполнена с применением данного $A\Phi A$.

Значение

$$K_{A\Phi A} = f m_p \tag{8}$$

можно назвать коэффициентом эффективности $A\Phi A$. Чем коэффициент $K_{A\Phi A}$ меньше, тем большие технико-экономические показатели данного $A\Phi A$ для стереофотограмметрической съемки.

Очевидно, этим коэффициентом целесообразно характеризовать существующие $\mathbf{A}\Phi\mathbf{A}$ и вновь рассчитываемые объективы для оценки их. В качестве m_p при расчете $\mathbf{K}_{\mathbf{A}\Phi\mathbf{A}}$ можно будет принять в первом приближении среднее значение дисторсии объектива или его остаточного значения, если методикой работ дисторсия объектива будет учитываться.

Не отрицая полезности оценки работ по отношению $\frac{m_h}{H}$ для

сравнения точности работ исполнителей и т. д., коэффициент $K_{A\Phi A} = f m_p$ эффективности аэрофотоаппарата дает возможность более объективного подхода к выбору варианта аэростереофотограмметрической съемки.

Статья поступила в редколлегию 15. 12. 81

УДК 622.1:528

Д. Н. ТУРУК

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СМЕЩЕНИЙ ОБЪЕКТА МЕТОДОМ ПСЕВДОПАРАЛЛАКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЛИННОФОКУСНОЙ ФОТОКАМЕРЫ

В различных отраслях народного хозяйства возникает необходимость определения смещений во времени исследуемых объектов, например, изучения динамики оползневых явлений, подвижек бортов и уступов карьеров, определение осадок крупных инженерных сооружений и др. Как известно [1, 2], простейшим способом использования фотограмметрических методов для решения подобных задач является съемка объекта через определенные промежутки времени с одной и той же точки стояния при сохранении элементов внешнего ориентирования фотокамеры.

Полученные снимки сравниваются друг с другом. Если за период между съемками точки объекта претерпели смещения и пространстве, то возникшая разность их координат на снимках вполне определяет величины смещений. Однако по фотоснимкам, полученным с одного центра фотографирования, определяется не

пространственный вектор смещения, а его составляющие на плоскость, параллельную снимку. Кроме того, в натуре необходимы дополнительные работы по определению расстояния от исследуемой точки объекта до фотостанции. В силу этих недостатков такой метод не получил широкого практического применения.

Если исследуемый объект находится на значительном удалении от фотостанции (до 1 км), а точность определения смещений должна быть высокой (порядка 15—25 мм), то целесообразно использовать разработанный нами длиннофокусный фототеодолит с зеркально-линзовым телеобъективом (ФЗЛТ) [3] и выполнять конвергентную съемку объекта. Определение смещений отдельных точек целесообразно выполнять по методу псевдопараллаксов.

Сущность этого метода сводится к следующему. По стереопаре первой съемки обычным методом, измеряя x, z, p и q точек объекта, получают по формулам (1) пространственные фотограмметрические координаты X, Y, Z

$$X = Y \frac{x_{n_r}}{f}, \quad Y = B_t \frac{f}{p_t}, \quad Z = Y \frac{z_{n_t}}{f}, \tag{1}$$

где X, Y, Z — координаты точек объекта; x_{π_t} , $z_{\pi_{t'}}$, p_t — трансформированные координаты на левом снимке и продольный параллакс точки снимка; f — фокусное расстояние фотокамеры; B_t — трансформированное значение базиса фотографирования.

Начало координат системы X, Y, Z совпадает с центром проекции S_π фотокамеры. Трансформирование координат осуществляется по угловым элементам внешнего ориентирования снимка по известным формулам наземной стереофотограмметрической съемки.

Последующие измерения ведутся не путем наблюдения обычных стереопар, а путем наблюдения снимков, полученных с одной фотостанции в различное время, т. е. двух левых и двух правых снимков первой и повторных съемок. При этом снимки первой съемки закладываются в левую кассету стереокомпаратора, а снимки последующих серий — в правую кассету. Для одних и тех же точек объекта при наличии смещений координаты на снимках будут отличаться на величины псевдопараллаксов (продольных δx и поперечных δz). Измерив их параллактическими винтами P и Q в двух сериях (по левым и правым снимкам), вычислим $\delta_p = \delta x_n - \delta x_n$. Этих величин достаточно для определения пространственных смещений объекта ΔX , ΔY , ΔZ .

Величины смещений определяются по формулам, полученным как разность пространственных координат первой и последующей съемок:

$$\Delta Y = -Y \frac{\delta p_t}{p_t'},$$

$$\Delta X = \frac{Y}{f} \delta x_t + \Delta Y - \frac{t}{f},$$
(2)

$$\Delta Z = \frac{Y}{f} \delta z_t + \Delta Y \frac{z'_{h_t}}{f}.$$

Величины δx_t , δz_t , δp_t составляют

$$\delta x_t = x'_{n_t} - x_{n_t}, \ \delta z_t = z'_{n_t} - z_{n_t}, \ \delta p_t = p_t' - p_t,$$
 (3)

где x_{n_t} , z_{n_t} , $p_{t'}$ — трансформированные координаты на левом снимке и продольный параллакс точки снимка после смещения.

Приведенные формулы, по существу, определяют технологию

всех работ по определению смещений точек объекта.

При использовании фототеодолита ФЗЛТ возникает ряд особенностей в методике обработки снимков, которые следует здесь рассмотреть. Эта камера не имеет фиксированных координатных меток, что не позволяет определить координаты главной точки. Поэтому для получения величин x_t , z_t , входящих в уравнения (1) - (3), взамен главной точки следует использовать наблюдение на приборе единой центральной точки для снимков всех серий, полученных с одной фотостанции с одинаковыми элементами внешнего ориентирования. Такая точка, а также ряд других обычно закрепляются на местности и маркируются. При изучении смещений на карьерах такие точки намечались и закреплялись по профильным линиям, перпендикулярным линии простирания борта или уступа карьера. Расстояния между маркированными точками профильной линии зависят от отстояния У и подбираются такими, чтобы в пределах фотоснимка (формата 24 мм × 36 мм) изобразились три профильные точки. Перекрытия снимков вдоль оси z-z выбираются около 60% с таким расчетом, что на первом снимке изображаются точки 1, 2, 3 профильной линии, на втором -2, 3, 4,на третьем — 3, 4, 5 и т. д.

Измерения координат и параллаксов точек на стереокомпараторе ведутся в два приема, а в обработку поступает их среднеарифметическое значение. Как упоминалось, применение формул (2) основано на предпосылке, что элементы внешнего ориентиро-

вания камеры сохраняются.

Формулы (1)—(3) определяют два способа нахождения смешений объекта.

Традиционный способ состоит в последовательной обработке материалов первой и последующих съемок. Он включает процессы: измерение снимков первой съемки и нахождение величин x_{π} , z_{π} , p, q, трансформирование координат

$$x_{t} = f \frac{a_{1} x + a_{2} f + a_{3} z}{c_{1} x + c_{2} f + c_{3} z},$$

$$z_{t} = f \frac{b_{1} x + b_{2} f + b_{3} z}{c_{1} x + c_{2} f + c_{3} z},$$
(4)

вычисление по формулам (1) пространственных координат X, Y, Z. Аналогично обрабатываются снимки последующих съемок и на момент этой съемки получают смещения ΔX , ΔY , ΔZ . Однако опре-

деление этих величин затруднено за счет низкой точности стереозрения, вызванного разномасштабностью снимков стереопары, полученной при конвергентной съемке.

Поэтому предлагается способ псевдопараллаксов, в котором, как упоминалось выше, измеряются только серии из левых и правых снимков. По левым снимкам получают смещения δx_n , δz_n , а по правым — δx_n , δz_n . Измерения производят для точек 1 и 3, а за начальную принимается центральная точка 2.

Так как

$$x'_{n,n} = x_{n,n} + \delta x_{n,n}, \quad z'_{n,n} = z_{n,n} + \delta z_{n,n},$$

то по формулам (4) можно вычислить трансформированные координаты x_{π_t,π_t} , z_{π_t,π_t} и поправки по формулам (3). Направляющие косинусы вычисляют по элементам углового ориентирования соответствующих снимков. Вместо формул (4) можно использовать известные приближенные формулы

$$x_{t} = x + \Delta x_{t} = x - \frac{xz}{f} \Delta \omega - \left(f + \frac{x^{2}}{f}\right) \Delta \alpha + z \Delta x,$$

$$z_{t} = z + \Delta z_{t} = z - \left(f + \frac{z^{2}}{f}\right) \Delta \omega - \frac{xz}{f} \Delta \alpha - x \Delta x.$$
 (5)

Вычислив $\delta p_t = \delta x_{\pi_t} - \delta x_{\pi_t}$ и имея трансформированные координаты x_{π_t} , z_{π_t} (вычисляются, как в первом способе), по формулам (2) получаем искомые смещения ΔX , ΔY , ΔZ .

Так как при съемке камерой ФЗЛТ прослеживание профильной линии ведется с большим перекрытием, то с целью повышения точности определения смещений паходят приращения смещений по нечетным точкам 1, 3, 5, 7... и по четным точкам 2, 4, 6, 8....

Если профильная точка *1* неподвижна, как это бывает в большинстве случаев, то суммированием относительных смещений можно найти смещения всех профильных точек и построить числовой профиль по нечетным точкам. Аналогично получают числовой профиль четных точек.

Если начальная профильная точка 1 имеет смещение, то его определяют геодезическим способом, а смещения всех остальных профильных точек — фотограмметрическим методом.

Список литературы: 1. Блохин Н. А. Стереофотограмметрическая наземная съемка. — М.: СНТИ, 1937. 2. Сердюков В. М. Фотограмметрия в промышленности и гражданском строительстве. — М.: Недра, 1977. 3. Финковский В. Я., Турук Д. Н. Стереофотограмметрический способ определения деформаций бортов и уступов карьера. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1979, вып. 30.

Статья поступила в редколлегию 22, 12, 81