

чек в этом случае по остаточному параллаксу отбраковалась только одна. Элементы  $\delta_{\text{д}}$  вычислены неверно,  $\delta_{\text{д}}$  достигают 1—4', в девятом варианте II эксперимента  $\delta_{\text{д}}$  достигла 7', так как точки 7 и 9, расположенные в стандартной зоне 1, имели погрешности +0,2 мм и 0,1 мм соответственно, а отбраковалась только точка 7. В табл. 1 приведены значения введенных погрешностей и отбракованных точек.

В табл. 1 сплошной линией обведены точки, отбракованные по остаточному параллаксу, а штриховой — с использованием критерия Грэббса.

Результаты отбраковки ошибочных данных сведены в табл. 2.

Таблица 2  
Результаты отбраковки ошибочных точек

Процесс	Кол-во точек	%
Всего измерено точек	544	—
Введено погрешностей	44	100
Отбраковано по остаточному параллаксу	21	48
Дополнительно с использованием критерия Грэббса	20	45
Безошибочных	8	18
На отбраковано	3	7

Результаты анализа полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. По остаточному параллаксу наиболее уверенно выполняется отбраковка точек с большими погрешностями 0,3—0,5 мм.
2. Более уверенно бракуются точки с  $u_{\text{max}}$ , т. е. расположенные в зонах 3, 4, 5, 6.
3. Точки, расположенные в зонах 1, 2 при наличии в них погрешностей 0,1 мм по остаточному параллаксу не бракуются.
4. Наряду с ошибочной точкой может быть отбракована и безошибочная, расположенная в зоне ошибочной.
5. Может быть отбракована безошибочная точка, в то время как точка с ошибочными координатами, расположенная в той же стандартной зоне, не бракуется.
6. Использование статистического метода отбраковки ошибочных точек значительно улучшает результаты.

Список литературы: 1. Видуев Н. Г., Григоренко А. Г. Математическая обработка геодезических измерений. — Киев: Вища школа, 1978. 2. Дорожинский А. Л. Усовершенствование алгоритма отбраковки точек при решении задачи взаимного ориентирования. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1971, вып. 14. 3. Дубиновский В. Б. Определение элементов взаимного ориентирования аэроснимков с применением электронной вычислительной машины. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1963, вып. 5. 4. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. — М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1962. 5. Лобанов А. Н. и др. Аналитические модели местности и снимков. — М.: Недра, 1973. 6. Лобанов А. Н. и др. Фототриангуляция с применением электронной цифровой вычислительной машины. — М.: Недра, 1967. 7. Полякова В. А. Точность и надежность аналитической фототриангуляции. — М.: Недра, 1977. 8. Шульман В. А. Оценка точности и принципы отбраковки результатов измерений в маршрутной и блочной фототриангуляции. — М.: Реф. сб. ОМТИ ЦНИИГАиК, 1971, № 14.

Статья поступила в редколлегию 17. 02. 89

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭРОФОТОАППАРАТОВ ПРИ СТЕРЕОТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

В настоящее время для аэрофототопографической съемки используются различные АФА. Рекомендации по выбору АФА для этой цели сводятся главным образом к тому, что для плоскоравнинных форм рельефа рекомендуется применять АФА с фокусным расстоянием 55 или 70 мм, для равнинно-пересеченных и всхолмленных районов — 70 или 100 мм и т. д., т. е. выбор АФА определяется обычно только условиями, связанными с восприятием форм рельефа по стереомодели.

Таким образом, имеется некоторая неопределенность в рекомендациях, поскольку применение этих АФА дает разные технико-экономические показатели. Поэтому возникает вопрос о более конкретных рекомендациях при выборе тех или других аэрофотоаппаратов.

Оценку качества, точности рисовки рельефа обычно характеризуют относительной погрешностью  $\frac{m_h}{H}$ , которая зависит от мно-

гих факторов (типа АФА, стереоприбора и др.). Считая, что рисовка рельефа производится в стандартных условиях (на приборах одинакового типа, исполнителями одинаковой квалификации, по снимкам одной местности и т. д.), можно считать, что погрешность определения разности продольных параллаксов зависит только от применяемого АФА.

Однако относительная погрешность  $\frac{m_h}{H}$  недостаточно полно

характеризует эффективность того или другого варианта съемки, поскольку дает только точностную характеристику измерений снимков, использование которой не всегда может служить основанием для выбора варианта аэрофотосъемочных работ.

### Оценка эффективности АФА

$f$ (мм)	Значения $m_p$ для универсальных приборов СД, СПР (мм)	$\frac{m_h}{H}$	$K_{\text{АФА}} = m_{\phi} =$ $= S^{-1} = f m_p$	$\sqrt{m_h} = \frac{1}{\tau_s}$
70	0,017	1/3500	1,2	1,8
100	0,015	1/4000	1,5	1,45
140	0,0125	1/4800	1,75	1,25
200	0,011	1/5000	2,2	1

Для пояснения этого положения обратимся к таблице, в которой даны значения средних квадратических погрешностей  $m_p$  из-

мерения разности продольных параллаксов полученных на основании статистических данных, положенных в основу рекомендаций по выбору АФА для стереофотографической съемки в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500.

При первом изучении таблицы можно заключить, что использование АФА с большими фокусными расстояниями дает лучшие результаты, поскольку относительная ошибка определения отметок с увеличением фокусного расстояния уменьшается (графа 3).

Однако, как показывают дальнейшие расчеты, использование точностной характеристики  $\frac{m_h}{H}$  не может служить основанием для

выбора варианта аэрофотосъемочных работ. Более полной характеристикой того или иного варианта съемки следовало бы принять не отношение  $\frac{m_h}{H}$ , а отношение точности определения отметки к

полезной площади стереопары  $S$ , т. е.  $\frac{m_h}{S}$ . Очевидно, при одинако-

вой заданной точности  $m_h$  более экономичен тот вариант, при котором полезная площадь стереопары будет больше. При большей площади стереопары количество снимков будет уменьшаться, и поэтому уменьшится объем полевой геодезической подготовки снимков, уменьшится объем работ при пространственной фототриангуляции и стереорисовке, поскольку объем геодезических и фотограмметрических работ во многом определяется количеством снимков.

Таким образом, оценка вариантов съемки по отношению  $\frac{m_h}{S}$  дает количественную характеристику, т. е. дает характеристику, связанную с возможной производительностью, развертыванием работ.

Для сравнения двух вариантов введем понятие коэффициент количественной эффективности съемки как отношение площадей стереопар, полученных при одинаковой заданной точности определения отметок. Коэффициент количественной эффективности

$$\eta_S = \frac{S_1}{S_2}, \quad (1)$$

где  $S_1, S_2$  — площади стереопар на местности. Выражая  $S$  на местности через площади стереопар на снимках и делая некоторые преобразования, получим: при  $m_{h_1} = m_{h_2}$

$$\eta_S = \frac{S_1}{S_2} = \frac{s_1 m_1}{s_2 m_2} = \frac{b_1 l_1 f_2 H_1}{b_2 l_2 f_1 H_2} = \frac{b_1 l_1 f_2 b_1 m_{p_2}}{b_2 l_2 f_1 b_2 m_{p_1}} = \frac{b_1^2 l_1 f_2 m_{p_2}}{b_2^2 l_2 f_1 m_{p_1}}, \quad (2)$$

где  $b$  — базис в масштабе снимка;  $l$  — полезный размер стереопары по оси  $y$ .

При одинаковом формате кадра АФА и одинаковых продольных и поперечных перекрытиях снимков, т. е. одинаковых значениях полезной площади стереопары снимков (т. е. при  $b_1 \approx b_2$ ;  $l_1 \approx l_2$ ) формула (2) упрощается и примет вид

$$\eta_S = \frac{S_1}{S_2} = \frac{f_2 m_{p_2}}{f_1 m_{p_1}}. \quad (3)$$

Формула (3) показывает, что чем меньше произведение  $f \cdot m_p$ , тем больше полезная площадь стереопары на местности при одной и той же заданной точности определения отметок. Таким образом, отношением

$$S_{\Phi}^{-1} = f m_p \quad (4)$$

можно характеризовать варианты съемок с количественной точки зрения (при одинаковых форматах и перекрытиях снимков). Очевидно, чем меньше произведение  $S^{-1} = f m_p$ , тем большую экономическую эффективность и производительность труда можно достигнуть при данном варианте съемки. Если форматы кадров АФА и перекрытия снимков различны, то сравнение вариантов съемки следует решать с применением формулы (2).

Экономически более эффективным вариантом стереофотограмметрической съемки является применение короткофокусных АФА, для которых количественный коэффициент эффективности  $\eta_S$  (т. е. полезная площадь стереопары на местности) увеличивается (в графе 5 за единицу полезной площади взята площадь для  $f = 200$  мм).

Сравним по точности варианты съемки различными АФА, задаваясь на местности одинаковой площадью стереопары. С этой целью возьмем отношения средних квадратических погрешностей  $m_h$  для различных вариантов съемок

$$\eta_{m_h} = \frac{m_{h_1}}{m_{h_2}} = \frac{H_1 m_p b_2}{b_1 H_2 m_{p_1}}. \quad (5)$$

При одинаковом формате снимков можно принять  $b_1 = b_2$  и, учитывая, что  $H = f \cdot m$  и то, что при  $S_1 = S_2$ ,  $m_1 = m_2$ , получаем

$$\eta_{m_h} = \frac{m_{h_1}}{m_{h_2}} = \frac{f_1 m_{p_1}}{f_2 m_{p_2}} = \frac{1}{\eta_S}. \quad (6)$$

Формула (6) показывает, что чем меньше произведение  $f m_p$ , тем большая точность определения отметок будет получена при одной и той же заданной полезной площади стереопары на местности.

Таким образом, произведением

$$m_{\Phi} = f m_p \quad (7)$$

можно характеризовать варианты съемок с качественной стороны. Чем меньше произведение  $m_{\Phi} = f m_p$ , тем большая точность определения отметок может быть получена при одинаковой площади стереопары на местности.

Обращаясь к (4), видим, что произведение  $f m_p$  одновременно дает и количественную, и качественную характеристику стереофотограмметрической съемки, которая может быть выполнена с применением данного АФА.

Значение

$$K_{\text{АФА}} = f m_p \quad (8)$$

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

Очевидно, этим коэффициентом целесообразно характеризовать существующие АФА и вновь рассчитываемые объективы для оценки их. В качестве  $m_p$  при расчете  $K_{\text{АФА}}$  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  $K_{\text{АФА}} = f m_p$  эффективности аэрофотоаппарата дает возможность более объективного подхода к выбору варианта аэрофотограмметрической 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 в 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 фототеодалит с зеркально-линзовым телеобъективом (ФЗЛТ) [3] и выполнять конвергентную съемку объекта. Определение смещений отдельных точек целесообразно выполнять по методу псевдопараллакс.

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  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$

$$X = Y \frac{x_{лr}}{f}, \quad Y = B_t \frac{f}{p_t}, \quad Z = Y \frac{z_{лr}}{f}, \quad (1)$$

где  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  — координаты точек объекта;  $x_{лr}$ ,  $z_{лr}$ ,  $p_t$  — 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  $S_{л}$  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 псевдопараллакс (продольных  $\delta x$  и поперечных  $\delta z$ ). Измерив их параллактическими винтами  $P$  и  $Q$  в двух сериях (по левым и правым снимкам), вычислим  $\delta p = \delta x_{лr} - \delta x_{лr}$ . Этих величин достаточно для определения пространственных смещений объекта  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ .

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

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

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