

где  $F$  — площадь участка. С учетом (28) и (29) выражение (27) для энтропии рельефа можно преобразовать к виду

$$H(S) = \frac{0,27 Fi}{\sqrt[5]{M^4 z_0}} \log \left[ 5500 \frac{\sqrt{2\pi e (-\tau z_0)}}{M + 9,5} \right] \text{бит.} \quad (30)$$

Соответственно удельная энтропия рельефа, изображенного горизонталями, в расчете на единицу площади

$$H_0(S) = \frac{0,27 \cdot 10^6 i}{\sqrt[5]{M^4 z_0}} \log \left[ 5500 \frac{\sqrt{2\pi e (-\tau z_0)}}{M + 9,5} \right] \text{бит/км}^2. \quad (31)$$

Формула (31) выражает среднее количество информации, которое содержит изображение рельефа горизонталями в расчете на единицу площади. Другими словами, это **средняя удельная информационная емкость** изображения рельефа горизонталями на топографической карте.

Как известно, метод горизонталей является на сегодняшний день наиболее удобным, совершенным, и, надо полагать, наиболее информативным способом графического представления и визуального восприятия рельефа. Поэтому, определив информационную емкость изображения рельефа и предполагая, что любой другой способ должен представлять примерно такое же количество информации, можно рассчитать информационную емкость цифровой модели рельефа или банка данных.

**Список литературы:** 1. Александров Н. Н. и др. Расчеты точности топографических планов в районах орошения. — М.: Геодезиздат, 1956. 2. Браунли К. А. Статистическая теория и методология в науке и технике. — М.: Наука, 1977. 3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М.: Физматгиз, 1962. 4. Видуев Н. Г., Полищук Ю. В. Инженерные изыскания. — Киев: Вища школа, 1979. 5. Войславский Л. К. Вероятностная модель изображения контуров местности на топографических картах. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1979, вып. 29. 6. Войславский Л. К. Энтропия контуров местности, изображенных на топографических картах. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1979, вып. 29. 7. Войславский Л. К. Статистический анализ изображения рельефа горизонталями на топографических картах. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1982, вып. 36. 8. Мазур М. Качественная теория информации. — М.: Мир, 1974. 9. Мардиа К. Статистический анализ угловых наблюдений. — М.: Наука, 1979. 10. Неумывакин Ю. К. Обоснование точности топографических съемок для проектирования. — М.: Наука, 1976. 11. Стратонович Р. Л. Теория информации. — М.: Советское радио, 1975. 12. Шеннон К. Э. Работы по теории информации и кибернетике. — М.: ИЛ, 1963. 13. Яглом А. М., Яглом И. М. Вероятность и информация. — М.: Наука, 1973.

Статья поступила в редколлегию 10. 11. 81

УДК 528.7

Х. В. БУРШТЫНСКАЯ, О. В. ТУМСКАЯ

### ОТБРАКОВКА ОШИБОЧНЫХ ТОЧЕК ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ ВЗАИМНОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ

Современные программы построения пространственных фотограмметрических сетей с использованием ЭВМ предусматривают автоматическую отбраковку ошибочных исходных данных на различных этапах решения задачи. Точность определения координат точек модели в значительной мере зависит от точности определения элементов взаимного ориентирования, поэтому вопросам отбраковки ошибочных точек при вычислении ЭВО уделяется в специальной литературе большое внимание [2, 3, 6, 7].

Отбраковка ошибочных точек при определении ЭВО в настоящее время выполняется по одному из следующих алгоритмов: 1 — по средним квадратическим погрешностям измерений поперечных параллаксов; 2 — по средним остаточным параллаксам.

При использовании первого алгоритма проверяют выполнение условия

$$\delta q_i < 3m_q, \quad (1)$$

где  $m_q$  — средняя квадратическая погрешность измерений поперечных параллаксов;  $\delta q$  — остаточный поперечный параллакс на точке.

Точки, не удовлетворяющие этому условию, бракуются. Но при наличии грубых погрешностей ни одна точка не отбракуется, так как значение средних квадратических погрешностей значительно превзойдет максимально допустимый остаточный параллакс.

Поэтому более употребительным является второй алгоритм. При этом отбраковка выполняется в несколько этапов. На первом этапе бракуются точки с очень грубыми погрешностями. Для этого выполняется проверка условия

$$\delta q < \epsilon_1, \quad (2)$$

где  $\epsilon_1$  — максимально допустимый параллакс.

На следующем этапе проверяют условие

$$\delta q_{\text{ср}} \leq \epsilon_2, \quad (3)$$

где  $\delta q_{\text{ср}}$  — средний остаточный параллакс.

Если условие (3) не выполняется, из всех точек исключается одна точка с  $\delta q_{\text{max}}$ . На последнем этапе каждая точка проверяется на условие

$$|\delta q_i| - |\delta q_{\text{ср}}| \leq \epsilon_3. \quad (4)$$

После отбраковки точек, не удовлетворяющих условию (4), выполняется повторное определение ЭВО.

Величины допусков  $\varepsilon_2$  и  $\varepsilon_3$  определяются методами математической статистики с учетом качества используемых материалов, точности приборов и других условий.

Но этот метод также имеет недостатки, о которых более подробно будет указано дальше, но сводятся они в основном к тому, что по остаточному параллаксу может быть отбраковано примерно 45—50% ошибочных точек.

Так как существующие методы отбраковки имеют существенные недостатки, возникла необходимость в разработке новых, более эффективных методов отбраковки ошибочных точек при определении ЭВО.

Нами исследовался статистический метод отбраковки ошибочных точек.

Сущность его заключается в следующем. Из решения поочередно исключается одна точка. Тогда матрица остаточных поперечных параллаксов имеет вид

$$\begin{vmatrix} 0 & \delta q_2 & \delta q_3 & \delta q_4 \dots \delta q_n \\ \delta q_1 & 0 & \delta q_3 & \delta q_4 \dots \delta q_n \\ \delta q_1 & \delta q_2 & 0 & \delta q_4 \dots \delta q_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta q_1 & \delta q_2 & \delta q_3 & \delta q_4 \dots 0 \end{vmatrix} \quad (5)$$

Затем вычисляются средние значения остаточных поперечных параллаксов по строчкам

$$\begin{vmatrix} \delta q_{cp1} \\ \delta q_{cp2} \\ \delta q_{cp3} \\ \dots \\ \delta q_{cpn} \end{vmatrix} \quad (6)$$

При такой обработке в точках, в которых содержались погрешности, возникает средний остаточный параллакс, резко отличающийся от параллакса остальных точек. В данном случае возникает минимальный параллакс.

В самом деле, если, например, в точке I содержалась погрешность, то при исключении ошибочной точки остаточный средний параллакс будет значительно меньше по абсолютной величине, чем остаточные параллаксы, вычисленные при наличии данной точки.

Для отбраковки ошибочной точки воспользуемся статистическим критерием Грэббса.

С этой целью найдем дробь «типа Стьюдента»

$$V = \frac{\bar{\delta q}_{cp} - \delta q_{cp.min}}{S} \quad (7)$$

где  $\bar{\delta q}_{cp}$  — среднее значение из средних остаточных параллаксов, вычисляется по формуле

$$\bar{\delta q}_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\delta q_{cp.i}|; \quad (8)$$

$n$  — число точек, для которых составлялись уравнения;  $\delta q_{cp.min}$  — минимальный остаточный параллакс;  $S$  — средняя квадратическая погрешность отдельного результата, вычисляется по формуле

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{\delta q}_{cp} - \delta q_{cp.i})^2}. \quad (9)$$

Критическая область определяется по формуле  $v < v_q$ , где  $v_q$  получают из специальных таблиц [4] в зависимости от количества точек.

Исследование процесса отбраковки ошибочных данных при определении элементов взаимного ориентирования выполнялось по макетным стереопарам планового случая съемки [5]. Элементы взаимного ориентирования определялись по координатам 16 точек, расположенных в стандартных зонах по две, поскольку вариант расположения точек гнездами является оптимальным, и только в этом случае возможна автоматизация отбраковки грубых ошибок без снижения уровня организации системы. Схема расположения точек представлена на рисунке. ЭВО определялись строгим способом на ЭВМ ЕС-1020.

В процессе выполнения экспериментальных работ было рассмотрено 35 вариантов. В 34 вариантах в координаты точек вводились случайные погрешности: в I эксперименте —  $1\sigma$ , во II —  $10-15\sigma$ , в III —  $8-10\sigma$  ( $\sigma$  — стандарт погрешности измерения  $0,01$  мм).

Из всех рассмотренных вариантов отбраковка по остаточному параллаксу выполнена полностью в девяти стереопарах (27%). Во всех этих вариантах ЭВО вычислены с большой точностью, отклонение их от истинных значений незначительно и не превышает  $0,01$ .

В 16 случаях (47%) точки с ошибочными исходными данными отбраковывались по критерию Грэббса. В восьми случаях имеет место отбраковка безошибочных точек.

В остальных вариантах ошибочные точки отбраковались не полностью или вообще не отбраковались.

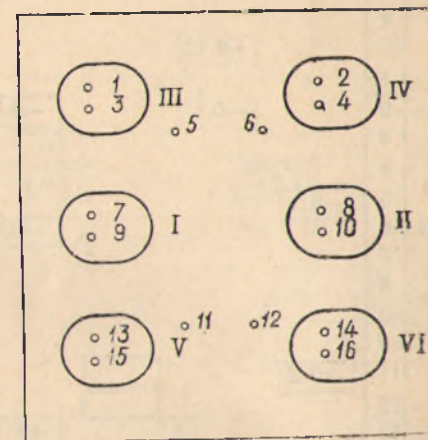


Схема расположения точек для определения ЭВО.

Значения введенных погрешностей и отбракованных точек по остаточному

№ экс.	№ вар.	Номера							
		1	2	3	4	5	6	7	8
I	1	-0,01							
	2							-0,01	
	3								
	4				-0,02				
	5		+0,02						
	6						-0,01		
	7								
	8					+0,01			
	9								+0,01
	10		+0,01						
II	1								
	2		-0,1		-0,1				
	3								
	4								
	5	-0,1							
	6				-0,1				
	7								
	8								
	9						+0,2	-0,1	
	10								
III	1	+0,2							
	2					+0,1			
	3								
	4				+0,1				
	5								
	6								-0,1
	7								
	8						+0,1		
	9								
	10					+0,1			

Рассмотрим наиболее характерные варианты экспериментов при отбраковке по остаточному параллаксу. В 13-м варианте (II экс.) в точки 4, 7 введены ошибки +0,1 мм, в точку 14 — -0,4 мм. В результате вычислений точки 4, 7 не отбраковались, отбраковалась точка 14 и 16, расположенная в 14-й зоне. Погрешности при определении  $\delta\alpha_{\text{л}} - 2'$ ,  $\delta\chi_{\text{л}} - 4'$ ,  $\delta\Delta\omega - 2'$ ,  $\delta\chi_{\text{л}} - 2'$ . В седьмом варианте (III экс.) в точки 11 и 13 введены одинаковые по величине и знаку

Таблица I

параллаксу и статистическим методам

		точек															
		9	10	11	12	13	14	15	16								
I	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
	6																
	7																
	8																
	9																
	10																
II	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
	6																
	7																
	8																
	9																
	10																
III	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
	6																
	7																
	8																
	9																
	10																

ошибки +0,1 мм. Ни одна точка не отбраковалась, отбраковалась точка 15, расположенная в зоне 13.

Максимальные отклонения ЭВО от истинных значений

$$\delta\chi_{\text{л}} - 2', \delta\chi_{\text{л}} - 2', \delta\Delta\omega - 2'.$$

В ряде вариантов погрешности вводились в точки 7, 8, 9, 10, расположенные в 1-й и 2-й стандартных зонах. 12 ошибочных то-

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  $u_{\text{мах}}$ , 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-