

Г. Н. ТИМУШЕВ

## ОБ ОШИБКАХ ОПОЗНАВАНИЯ И ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНТУРОВ НА АЭРОФОТОСНИМКАХ

Известно [1], что на точность фотограмметрических работ значительное влияние оказывают ошибки опознавания и отождествления одноименных точек на аэрофотоснимках. Эти ошибки зависят от качества аэрофотоснимков и от характера контуров, на которые наводят измерительную марку прибора. Особенно сказываются ошибки опознавания и отождествления точек в случаях повторных наблюдений через некоторый промежуток времени, когда наблюдатель затрудняется опознать точно ту часть фотографического изображения, на которую он наводил марку прибора в предыдущий раз; при опознавании и отождествлении одноименных контуров разными исполнителями; при отождествлении одноименных точек в смежных звеньях в процессе построения фототриангуляционных сетей.

Следовательно, надо иметь средство, позволяющее уменьшить ошибки опознавания и отождествления точек на аэрофотоснимках.

Из литературных источников известно, что одним из таких средств может явиться маркировка точек полевой подготовки. Имеются указания на то, что маркировка повышает точность фотограмметрических работ [3, 4].

Как правило, результаты, подтверждающие преимущества маркировки, получают при работах на высокоточных стереокомпараторах с использованием высококачественных фотоматериалов в условиях, позволяющих исключить влияние других факторов [5]. Так как для широкого внедрения в производство подобных приборов и материалов потребуется еще некоторое время, представляет интерес вопрос о том, какое влияние на точность фотограмметрических работ может оказать маркировка точек полевой подготовки при использовании существующих приборов и материалов. Не окажутся ли ошибки измерений на этих приборах больше ошибок спознания и отождествления точек на аэрофотоснимках?

С этой целью выполнено несколько экспериментов, в задачу которых входило исследовать ошибки опознавания и отождествления различных контуров на аэроснимках в случаях выполнения работ одним исполнителем, разными исполнителями и при построении фототриангуляционных сетей.

Основным экспериментам предшествовали дополнительные, целью которых было определить оптимальный промежуток времени между двойными измерениями в случае выполнения работы одним исполните-

лем, а также выбрать оптимальные размеры маркировочных знаков для выполнения предстоящей работы.

Для определения времени перерыва в работе избранному наблюдателю было предложено измерить координаты пятидесяти точек на одной стереопаре. В дальнейшем оказалось, что если на второй день он мог не только безошибочно, не пользуясь абрисом, опознать 90% точек, но и указать в каком порядке он выполнял работу в предыдущий раз, то через пять суток наблюдатель уже затруднялся опознать почти все точки. Исходя из этого, промежуток времени между повторными измерениями координат данным исполнителем был определен в семь дней.

При выборе размеров маркировочных знаков учитывали три противоречивые фактора: возможность надежного опознавания знака на снимках; стоимость знака; точность измерения координат точек в зависимости от размеров маркировочных знаков.

При равных условиях знак большего размера легче опознать на снимке, но маркировка обходится дороже.

Для определения зависимости точности работы на данном приборе (стереокомпаратор завода «Геодезия») от размеров маркировочных знаков была проведена следующая работа.

Взято по десять знаков, имеющих размер стороны, выраженной в миллиметрах в масштабе снимка 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6 и для каждого знака выполнено не менее трех наведений марки прибора на их края и центры. После получения средних результатов, ошибка положения центра знака  $\Delta_c$  вычислялась по приведенным ниже формулам:

$$\delta_x = \frac{1}{2} (x_a + x_n) - x_c, \quad \delta_y = \frac{1}{2} (y_n + y_b) - y_c,$$
$$\Delta_c = \pm \sqrt{\frac{[\delta_x^2] + [\delta_y^2]}{n}},$$

где  $x_a$ ,  $x_n$ ,  $x_c$  — соответственно абсциссы левого края, правого края и центра знака;

$y_b$ ,  $y_n$ ,  $y_c$  — соответственно ординаты нижнего края, верхнего края и центра знака;

$\delta_x$ ,  $\delta_y$  — ошибки определения абсцисс и ординат.

Во втором случае ошибки определялись как разности двойных многократных наведений на центры указанных знаков. После получения средних результатов ошибки определения положения центра знака вычислялись по формулам:

$$\delta'_x = x_1 - x_2, \quad \delta'_y = y_1 - y_2,$$
$$\Delta'_c = \pm \sqrt{\frac{[\delta'_x]^2 + [\delta'_y]^2}{2n}},$$

где  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $y_1$ ,  $y_2$  — соответственно абсциссы и ординаты центра знака, определенные в первой и второй сериях наблюдений;

$\delta'_x$ ,  $\delta'_y$  — ошибки определения абсцисс и ординат;

$\Delta'_c$  — ошибка определения центра знака.

По полученным результатам построен график.

Как видно из рисунка, обе кривые достаточно близки по своему виду. Заметен значительный рост ошибок при изменении размеров зна-

ков от 0,05 до 0,15 и при размерах знаков более 0,35. В диапазоне от 0,15 до 0,35 точность измерений практически не меняется.

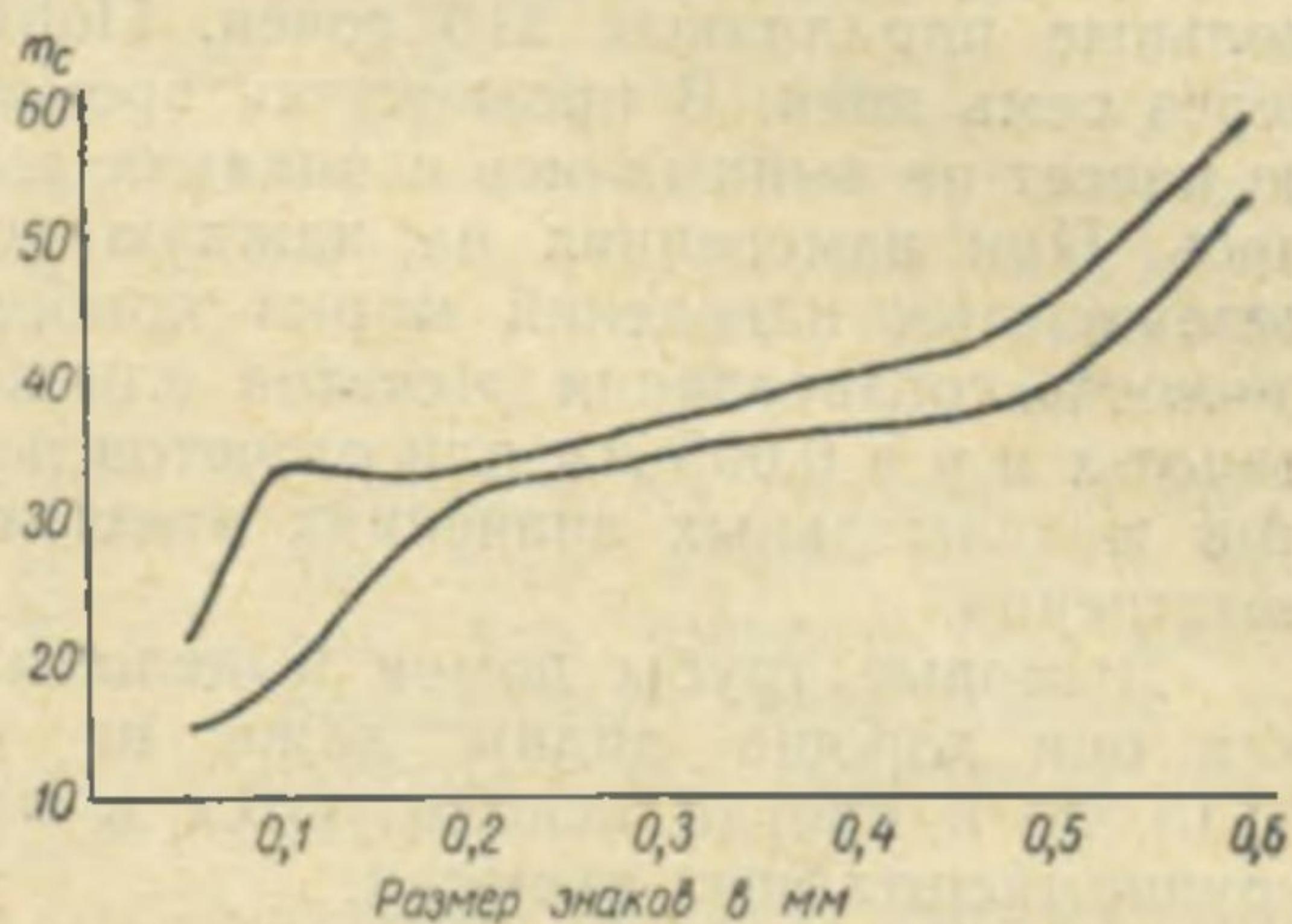
Условимся, что ошибки измерений не должны превышать полуторной точности данного прибора (0,03 мм), тогда этому требованию будет отвечать знак, имеющий диаметр не более 0,1 мм в масштабе снимка. Однако такие знаки чрезвычайно трудно опознать на аэрофотоснимках. Примем, что площадь маркировочного знака условно состоит из двух частей: большей, — служащей для опознавания знака на снимке, и меньшей, — предназначеннной для непосредственного наведения марки прибора. Например, при стороне квадратной вырубки под опознак в лесу 30—50 м, марка прибора при фотограмметрических измерениях наводится на изображение шалаша, тура и т. д., имеющих диаметр 5 м (0,1 мм в масштабе снимка 1 : 50 000). Следовательно, от того, насколько точно будет опознана и отождествлена именно эта точка, зависит точность данной фотограмметрической работы. Из данных рис. I следует, что нежелательно иметь размер стороны знака более 0,35 мм в масштабе снимка. Практика подтверждает возможность выполнения этого требования. Так, М. С. Крюгер [2] указывает, что на предприятии, где он работает, и на некоторых других при маркировке в открытых горных районах наибольшее распространение получили Г-образные фигуры со сторонами 2×15 м, хорошо заметные на снимках масштаба 1 : 50 000 (соответственно 0,04 и 0,3 мм в масштабе снимка). Хорошо опознаются и туры высотой 9 м, диаметром 3 м на снимках масштаба 1 : 50 000.

Для подтверждения приведенных выводов была выполнена практическая работа по опознаванию на аэрофотоснимках масштабов 1 : 7000 и 1 : 14 000 маркировочных знаков, имеющих размеры от 0,05 до 0,3 мм в масштабе снимков. Привлеченные к работе шесть наблюдателей, используя в отдельных случаях абрисы и стереоскопы, безошибочно опознали все 93 знака, расположенные на местности на площади около 15 км<sup>2</sup>. После этого два исполнителя провели пространственное триангулирование на СПР-2 и отметили, что без ущерба для работы можно использовать знаки меньше 0,3 мм в масштабе снимка.

Исходя из приведенных заключений, было решено при проведении экспериментов по исследованию ошибок опознавания и отождествления точек на снимках использовать знаки размером 0,1 и 0,3 мм в масштабе снимка.

Эксперимент I. Опознавание и отождествление одноименных точек одним исполнителем через значительный промежуток времени.

По негативам снимков масштаба 1 : 7000, произведенных аэрофотоаппаратом АФА-ТЭ с  $f_k=200$  мм, выполнено измерение прямоугольных координат и продольных параллаксов различных контурных точек, объединенных в семь групп по тридцать точек в каждой: А — маркированные точки диаметром 0,1 мм в масштабе снимка; Б — маркированные точки диаметром 0,3 мм в масштабе снимка; В — пересечение



Зависимость точности измерений от размеров маркировки знаков.

Для подтверждения приведенных выводов была выполнена практическая работа по опознаванию на аэрофотоснимках масштабов 1 : 7000 и 1 : 14 000 маркировочных знаков, имеющих размеры от 0,05 до 0,3 мм в масштабе снимков. Привлеченные к работе шесть наблюдателей, используя в отдельных случаях абрисы и стереоскопы, безошибочно опознали все 93 знака, расположенные на местности на площади около 15 км<sup>2</sup>. После этого два исполнителя провели пространственное триангулирование на СПР-2 и отметили, что без ущерба для работы можно использовать знаки меньше 0,3 мм в масштабе снимка.

Исходя из приведенных заключений, было решено при проведении экспериментов по исследованию ошибок опознавания и отождествления точек на снимках использовать знаки размером 0,1 и 0,3 мм в масштабе снимка.

Эксперимент I. Опознавание и отождествление одноименных точек одним исполнителем через значительный промежуток времени.

По негативам снимков масштаба 1 : 7000, произведенных аэрофотоаппаратом АФА-ТЭ с  $f_k=200$  мм, выполнено измерение прямоугольных координат и продольных параллаксов различных контурных точек, объединенных в семь групп по тридцать точек в каждой: А — маркированные точки диаметром 0,1 мм в масштабе снимка; Б — маркированные точки диаметром 0,3 мм в масштабе снимка; В — пересечение

троп и дорог;  $\Gamma$  — отдельные кусты;  $D$  — дымовые трубы домов;  $E$  — границы сельскохозяйственных угодий;  $Ж$  — водотоки.

Измерения выполнены на стереокомпараторе завода «Геодезия», позволяющем снять отсчеты координат  $x$  и  $y$  с помощью соответствующих нониусов с точностью 0,02 мм и имеющем цену деления барабана параллактического винта — 0,01 мм. Всего было обработано пять стереопар, на которых в общей сложности измерены координаты и продольные параллаксы 210 точек. Повторные наблюдения проводились через семь дней. В промежутки времени между наблюдениями снимки из кассет не вынимались и никаких действий на приборе не производилось. При измерениях на каждую точку произведено не менее трех независимых наведений марки прибора. При этом получена средняя точность согласования отсчетов для каждой точки: 0,01 мм для координат  $x$  и  $y$  и 0,006 мм для отсчетов по шкале параллактического винта при максимальных значениях этих величин 0,02 мм и 0,01 мм соответственно.

Дымовые трубы домов выделены в отдельную группу точек, так как они хорошо видны даже на снимках масштабов 1 : 12 000—1 : 15 000 и иногда используются в качестве плановых опознавателей при крупномасштабных съемках.

Таблица I

Группа точек	№ стереопар					Группа точек	№ стереопар				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
по оси $x$										по оси $y$	
A	±14	±14	±14	±3	±10	A	±19	±10	±20	±18	±18
B	12	15	—	10	14	B	19	16	—	23	20
V	—	39	22	32	28	V	—	42	24	18	42
G	32	15	—	16	21	G	14	11	—	21	24
D	—	—	16	13	21	D	—	—	15	17	32
E	29	24	26	34	—	E	37	39	19	36	—
Ж	31	19	32	—	19	Ж	32	14	32	—	12
$m_n$	2,4	1,7	1,7	3,6	1,8	$m_n$	1,5	2,0	1,2	1,1	1,4
$m_m$											

В табл. 1 показано распределение ошибок координат одноименных точек в стереопарах (в микронах) и отношение средних квадратических ошибок, определенных по немаркированным контурам к ошибкам, полученным по маркированным точкам. Как следует из данных табл. 1, во всех стереопарах ошибки опознавания и отождествления маркированных точек оказались меньше ошибок немаркированных точек.

В табл. 2 показаны максимальные величины разностей координат ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ), полученных из двух измерений, а также средние квадратические ошибки определения координат ( $m_x$ ,  $m_y$ ) и средние квадратические ошибки местоположения различных контурных точек ( $m_p$ ).

По данным табл. 1 и 2 можно сделать вывод, что ошибки опознавания и отождествления маркированных точек находятся в пределах точности измерений на данном приборе и в 1,5—2,5 раза меньше аналогичных ошибок немаркированных контуров. Дымовые трубы домов по точности отождествления их изображений на аэрофотоснимках близки к маркированным точкам.

Вычисленные по разностям двойных измерений средние квадратические ошибки измерения продольных параллаксов находятся в пре-

делах  $\pm 0,013$ — $0,031$  мм. При этом средняя квадратическая ошибка для маркированных точек равна  $\pm 0,02$  мм, а дымовых труб домов —  $\pm 0,031$  мм. Так как лучшие результаты получены для точек, изобра-

Таблица 2

Группа точек	Ошибки в микронах				
	$\Delta x$	$m_x$	$\Delta y$	$m_y$	$m_p$
А	-42	$\pm 12$	+47	$\pm 17$	$\pm 21$
Б	+37	13	-64	20	23
В	+123	30	-115	29	42
Г	-53	23	+54	16	27
Д	+57	16	+63	19	24
Е	-100	28	-105	32	41
Ж	-104	22	-80	22	30

Таблица 3

Класс точек	Ошибки в микронах			
	$\Delta x$	$m_x$	$\Delta y$	$m_y$
1	+6	$\pm 3,6$	+15	$\pm 4,7$
2	+14	4,8	+20	6,7
3	-45	11,7	+42	10,2

зившихся на снимках в светлом тоне, можно сделать вывод, что точность измерения продольных параллаксов на

данном приборе зависит не столько от характера точки, сколько от тона ее изображения на аэрофотоснимке.

При повторных измерениях наблюдателю сначала предлагалось опознать измеряемую точку без абриса, руководствуясь только указанием, какого типа точка подлежит измерению в данной зоне, обозначенной на снимке кружком диаметром 6—8 мм. Выяснилось, что с недостаточной точностью было опознано: по группам В, Г, Д — 5% точек; по группам Е и Ж — 30% точек. Все маркированные точки опознаны с достаточной точностью и в этом отношении тоже имеют преимущество перед остальными категориями точек.

Для сравнения приведем данные опыта, выполненного по аналогичной методике [5] по аэроснимку масштаба 1:40 000 с измерением координат на стереокомпараторе, позволяющем достигнуть ошибок согласования в отсчетах координат в различных приемах, не превышающих 5 микрон.

Измеряемые точки были разделены на три группы: 1 класс — резко очерченные маркированные точки с углами; 2 класс — пересечения троп и дорог; 3 класс — случайные объекты: деревья, кусты, водотоки, слияние ручьев и углы полевых угодий.

В табл. 3 показаны максимальные величины разностей координат двух измерений ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) и средние квадратические ошибки определения координат ( $m_x$ ,  $m_y$ ), полученные в этом опыте.

Из результатов наблюдений, сведенных в табл. 3, можно сделать вывод, что и при измерениях на мелкомасштабных снимках с использованием более высокоточных стереокомпараторов ошибки опознавания и отождествления маркированных точек также в 1,5—2,5 раза меньше ошибок, полученных при измерениях немаркированных контуров.

Эксперимент 2. Опознавание и отождествление одноименных точек различных контуров на аэрофотоснимках при проведении работы разными исполнителями.

Работа выполнена по снимкам масштаба 1:7000, произведенным аэрофотоаппаратом АФА-ТЭ с  $f_k = 200$  мм. При этом измерены координаты и продольные параллаксы различных контурных точек, объединенных в семь групп по 20 точек в каждой: 1 группа — маркированные точки в форме кругов и квадратов; 2 группа — маркированные точки в форме четких контуров (Г, Т, +); 3 группа — пересечение троп и дорог; 4 группа — отдельные кусты; 5 группа — дымовые трубы домов;

6 группа — границы сельскохозяйственных угодий; 7 группа — водотоки.

Измерения произведены на прецизионных стереометрах СМ-4. Работа выполнялась двумя наблюдателями одновременно на двух приборах. После выполнения работы на своих приборах, наблюдатели менялись местами. Исполнители данной работы имели равные глазные базисы и одинаковую остроту стереоскопического зрения. Всего обработано шесть стереопар, на которых дважды измерены координаты и продольные параллаксы 140 точек. При измерениях каждый наблюдатель производил не менее трех независимых наведений марки прибора на каждую точку, добиваясь согласования отсчетов в пределах точности измерений на приборе.

Из результатов измерений, приведенных в табл. 4, можно сделать вывод, что и при выполнении работ разными исполнителями ошибки опознавания и отождествления маркированных точек в 1,5—2,5 раза меньше аналогичных ошибок, полученных в результате измерения немаркированных контуров. Четкие маркированные контуры отождествляются точнее, чем знаки в виде квадратов и кругов.

Таблица 4

Группа точек	Ошибки в микронах				
	$\Delta x$	$m_x$	$\Delta y$	$m_y$	$m_p$
1	+38	+10	-38	±14	±17
2	+30	9	-45	10	14
3	+40	14	-67	23	27
4	-37	12	+30	12	17
5	-36	15	+33	12	19
6	-67	21	-90	25	33
7	-53	17	+96	35	39

Эксперимент 3. Опознавание и отождествление одноименных точек различных контуров в соседних звеньях при построении цепи фототриангуляции.

Работа выполнена на прецизионных стереометрах СМ-4 трижды: 1 — по негативам снимков масштаба 1:7000  $f_k=200$  мм, 2 — по диапозитивам снимков масштаба 1:14 000  $f_k=100$  мм, 3 — по негативам снимков масштаба 1:15 000  $f_k=100$  мм.

В каждом случае определялись ошибки следующих контуров: 1 — маркированные точки; 2 — пересечение троп и дорог; 3 — отдельные кусты; 4 — дымовые трубы домов; 5 — границы сельскохозяйственных угодий; 6 — водотоки.

Точность выполнения работ по той или иной группе точек определяли через разности расстояний на снимках между двумя одноименными точками одной и той же группы ( $d$ ) в смежных стереопарах звена. Расстояния вычислялись с применением общизвестных формул по измеренным координатам и параллаксам точек. В каждой группе измерено по двадцать расстояний между одноименными точками. Всего при проведении данного эксперимента измерено 360 расстояний. Средние квадратические ошибки местоположения отдельных точек вычислены по формуле:

$$m = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}.$$

Данные эксперимента сведены в табл. 5.

Таблица 5

Группа точек	Ошибки в микронах			$m_{ср}$	
	Масштаб снимков				
	1:7 000	1:14 000	1:15 000		
1	± 26	± 29	± 26	± 27	
2	48	59	44	50	
3	42	32	30	35	
4	40	59	37	42	
5	89	58	48	58	
6	88	48	51	62	

В данном эксперименте на величинах абсолютных ошибок могли оказаться ошибки принятого метода оценки точности через вычисление расстояний. Однако приведенные в табл. 5 средние квадратические ошибки показывают, что при равных условиях и в смежных звеньях ошибки опознавания и отождествления маркированных точек в 1,5—2,5 раза меньше аналогичных ошибок немаркированных контуров.

Таблица 6

Эксперимент	1	2	За	3б	Зв
$\frac{m_n}{m_m}$	1,6	1,6	2,3	1,8	2,0

В табл. 6 показано отношение средних квадратических ошибок всех немаркированных точек к средним квадратическим ошибкам маркированных точек в проведенных экспериментах: 1 — одним исполнителем; 2 — двумя исполнителями; За — в звене масштаба 1 : 7000; 3б — в звене масштаба 1 : 14 000 и Зв — в звене масштаба 1 : 15 000.

### Выводы

1. При точности существующих фотограмметрических приборов маркировка точек полевой подготовки снимков может дать значительный выигрыш в точности построения плановых фотограмметрических сетей в сравнении с построением этих сетей по немаркированным контурам.

2. При данной методике и точности измерения продольных параллаксов маркировка не дает значительного выигрыша в построении высотных сетей.

3. Ошибки опознавания и отождествления на снимках маркированных точек в 1,5—2,5 раза меньше аналогичных ошибок других контуров.

4. Для повышения точности измерений следует применять маркировочные знаки размером не более 0,35 мм в масштабе снимка.

5. Дымовые трубы домов могут применяться только в качестве плановых опознавателей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коншин М. Д. Аналитический способ построения фотограмметрических сетей. «Геодезия и картография», 1964, № 3.
2. Крюгер М. С. Маркировка геодезических точек в открытых горных районах. «Геодезия и картография», 1965, № 11.
3. Halliday James. The vital communications link-photoindification of horizontal control «Photogrammetric Engng», № 5—63.
4. Finsterwalder Richard. Zur Hohengenauigkeit photogrammetrischer modelauswertungen. «Z. vermessungswesen», № 4, 1963.
5. Robert H. Brock. Photographic image identification errors and their effect on determination of tilt and resection. «Photogrammetric Engng», № 2, 1961.

Работа поступила  
16 февраля 1966 г.

---