

УДК 528.735.4:528.58

Г. Н. ТИМУШЕВ

**СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
 ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ
 МАРКИРОВАННЫХ И НЕМАРКИРОВАННЫХ
 ТОЧЕК НА УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПРИБОРАХ
 ПРИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СЪЕМКАХ**

С целью сравнения точности фотограмметрического сгущения плано-высотного обоснования с использованием маркированных и немаркированных точек при крупномасштабных съемках выполнена экспериментальная работа на универсальных приборах СПР-2 и СД-2, объем которой характеризуется данными табл. 1

Таблица 1

Объем фотограмметрических работ, выполненных для сравнения точности сгущения по маркированным и немаркированным точкам

Номера работ	Прибор	Масштаб аэрофото-съемки	f_k мм	Масштаб плана	Количество			
					маршрутов	моделей	точек сгущения	
							плановых	высотных
1	СПР-2	1:14000	100	1:10000	4	20	112	122
2	"	1: 9000	100	1: 5000	5	38	82	105
3	СД-2	1:14000	100	1:10000	4	20	108	112
4	"	1: 9000	100	1: 5000	4	30	70	74
5	"	1: 7000	70	1: 5000	2	9	8	15
Всего					19	117	380	428

Плановые координаты и высоты всех маркированных и немаркированных контрольных точек определены геодезическими способами в результате плано-высотной привязки снимков. Точность привязки характеризуется следующими средними квадратическими ошибками: в плане — $m_c = \pm 0,4$ м и по высоте — $m_h = \pm 0,02$ м.

Фотограмметрические работы были выполнены в соответствии с требованиями наставлений [1, 2], за несколькими исключениями. Во-первых, при построении сетей не использовались показания радиовысотомера и статоскопа, поскольку полученные материалы были признаны ненадежными. Во-вторых, в отличие от требования наставления [1], предусматривающего построение свободных сетей без учета показаний статоскопа протяженностью не более четырех базисов, свободные сети имели протяженность пять стереопар — при масштабе плана 1:10 000 и семь-восемь стереопар — при масштабе плана 1:5000. В-третьих, диапозитивы были отпечатаны на пленке.

Указанные допущения не препятствовали решению поставленной задачи, так как сравнение точности сгущения по маркированным и немаркированным точкам производилось в одинаковых условиях.

Для контроля работ каждая стереопара обеспечивалась пятью-двенадцатью плановыми и высотными контрольными точками. Количество контрольных точек, использованных в работе, показано в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Количество контрольных точек

Номера работ	Общее количество точек				Среднее число точек в модели			
	Маркированные		Немаркированные		Маркированные		Немаркированные	
	плановых	высотных	плановых	высотных	плановых	высотных	плановых	высотных
1	68	68	44	54	3,4	3,4	2,2	2,7
2	52	62	30	43	1,4	1,6	0,8	1,1
3	60	56	48	56	3,0	2,8	2,4	2,8
4	48	50	22	24	1,6	1,7	0,7	0,8
5	—	—	8	15	—	—	0,9	1,7

Определение планового положения точек фотограмметрического сгущения в геодезической системе координат произведено при использовании геодезического ориентирования и увязки фотограмметрических сетей.

Редуцирование, то есть приведение сетей к заданному масштабу и ориентирование их относительно геодезической системы координат, выполнено в зависимости от типа универсального прибора либо аналитическим, либо оптическим способом.

Аналитическое редуцирование, примененное при построении плановых сетей на СПР-2, заключается в перевычислении фотограмметрических координат точек в геодезическую систему по формулам, приведенным в [1].

Из сравнения абсцисс и ординат точек фотограмметрического сгущения, найденных в результате аналитического редуцирования, с геодезическими координатами одноименных точек получены разности координат (Δx , Δy). Принимая для упрощения выводов геодезические координаты точек безошибочными, полученные разности можно считать близкими к истинным ошибкам измерений. Тогда средние квадратические ошибки определения абсцисс m_x и ординат m_y можно вычислить по формулам

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{[\Delta x^2]}{n}};$$

$$m_y = \pm \sqrt{\frac{[\Delta y^2]}{n}}. \quad (1)$$

Средние квадратические ошибки m_c местоположения точек вычислены по формуле

$$m_c = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2}. \quad (2)$$

В табл. 3 приведены данные о точности плановых фотограмметрических сетей, построенных на СПР-2 по маркированным и немаркированным точкам.

Как видно из данных табл. 3, при пространственном триангулировании на СПР-2 во всех случаях точность определения планового поло-

жения маркированных точек оказалась выше точности определения координат немаркированных точек. При четырех определениях координаты маркированных точек оказались в два раза точнее координат немаркированных точек. Однако эти результаты получены при сравнительно небольшом количестве данных (4—6 контрольных точек). Поэтому, полагая более общим случаем нахождение координат точек, исходя из двух вычислений, например в прямом и обратном ходах, можно считать, что точность определения планового положения маркированных точек оказалась в 1,3—1,5 раза выше точности определения координат немаркированных точек.

Таблица 3

Точность определения планового положения маркированных и немаркированных точек на СПР-2

Номера работ	Типы точек	Количество определений					
		одно		два		четыре	
		$\frac{m_c}{n}$	M_c	$\frac{m_c}{n}$	M_c	$\frac{m_c}{n}$	M_c
1	М	$\pm \frac{2,30}{68}$	0,23	$\pm \frac{2,23}{34}$	0,22	$\pm \frac{1,46}{6}$	0,15
	НМ	$\frac{3,04}{44}$	0,30	$\frac{2,82}{22}$	0,28	$\frac{2,83}{4}$	0,28
2	М	$\frac{2,46}{52}$	0,48	$\frac{1,44}{26}$	0,28	$\frac{0,41}{4}$	0,08
	НМ	$\frac{3,04}{30}$	0,60	$\frac{2,21}{15}$	0,44	$\frac{0,89}{4}$	0,18

Примечание. М — маркированные точки; НМ — немаркированные точки; m_c — средняя квадратическая ошибка в метрах; M_c — средняя квадратическая ошибка в масштабе плана; n — количество контрольных точек.

При построении сетей на СД-2 плановые координаты точек фотограмметрического сгущения в геодезической системе координат были определены в результате оптического редуцирования. При этом с плана снимались радиальные отклонения точек относительно их положения, нанесенного на план по геодезическим координатам (Δz). Использование прецизионного координатографа и измерительной лупы с ценой деления шкалы 0,1 мм дало возможность повысить точность отсчетов и производить их с ошибками около $\pm 0,05$ мм в масштабе плана.

Таблица 4

Точность определения планового положения маркированных и немаркированных точек на СД-2

Номера работ	Ошибки					
	3		4		5	
	$\frac{m_c}{n}$	M_c	$\frac{m_c}{n}$	M_c	$\frac{m_c}{n}$	M_c
М	$\pm \frac{1,83}{60}$	0,18	$\pm \frac{2,68}{48}$	0,54	—	—
НМ	$\frac{2,26}{48}$	0,23	$\frac{2,57}{22}$	0,52	$\pm \frac{2,12}{8}$	0,42

Примечание. М — маркированные точки; НМ — немаркированные точки; m_c — средняя квадратическая ошибка в метрах; M_c — средняя квадратическая ошибка в масштабе плана; n — количество контрольных точек.

В табл. 4 приведены средние квадратические ошибки (m_c) и относительные ошибки (M_c), характеризующие точность определения планового положения маркированных и немаркированных точек при использовании СД-2.

Как видно из данных табл. 4, при построении сетей на СД-2 не обнаруживается значительной разницы в ошибках планового положения маркированных и немаркированных точек. Это можно объяснить тем, что ошибки графического построения плановой сети при оптическом редуцировании превышают ошибки опознавания и отождествления точек на снимках и в результате этого скрывают разницу между маркированными и немаркированными точками.

Высотные фотограмметрические сети построены в соответствии с требованиями и допусками, предусмотренными [1, 2].

Внешнее ориентирование высотных сетей выполнено по шести высотным опорным точкам графоаналитическим способом. При этом значительного влияния систематических ошибок в построенных сетях обнаружено не было.

Принимая разности, полученные из отметок точек при фотограмметрических построениях и из геодезических отметок тех же точек за истинные ошибки измерений (Δh), средние квадратические ошибки m_h , характеризующие точность построения высотных сетей, можно вычислить по следующей формуле:

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{[\Delta h^2]}{n}}. \quad (3)$$

Таблица 5

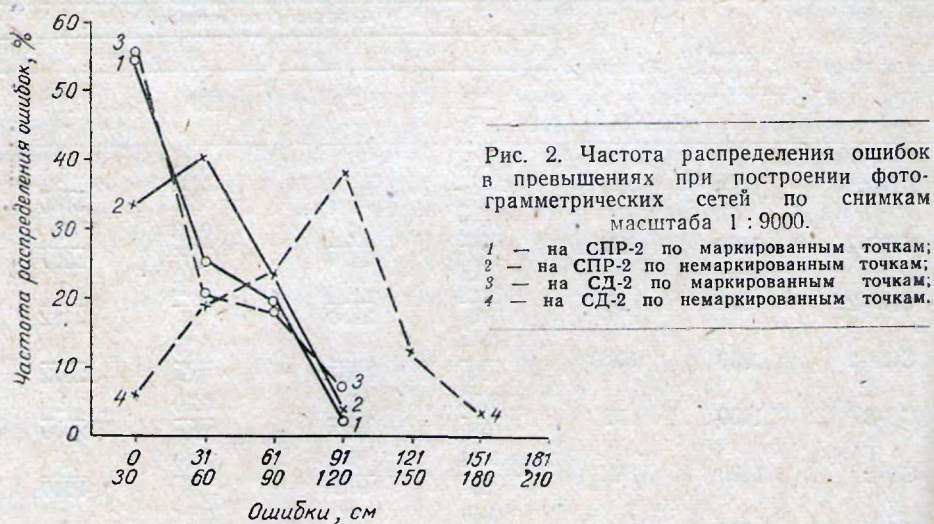
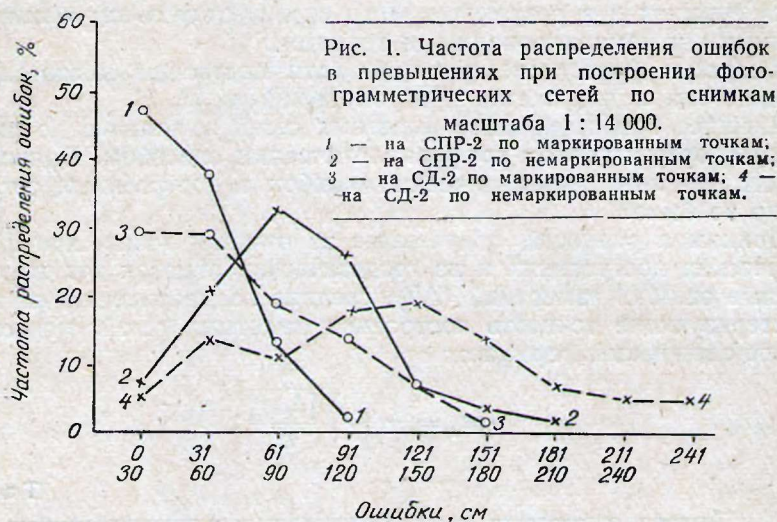
Точность определения высот маркированных и немаркированных точек на СПР-2 и СД-2

Тип прибора	Высота аэрофото- съемки $H, м$	Тип точек	Количество определений			
			одно		два	
			$\frac{m_h}{n}$	$\frac{m_h}{H}$	$\frac{m_h}{n}$	$\frac{m_h}{H}$
СПР-2	1400	М	$\pm \frac{0,46}{68}$	$\frac{1}{3043}$	$\pm \frac{0,36}{34}$	$\frac{1}{3889}$
СПР-2	1400	НМ	$\frac{0,95}{54}$	$\frac{1}{1474}$	$\frac{0,93}{27}$	$\frac{1}{1507}$
СПР-2	900	М	$\frac{0,40}{48}$	$\frac{1}{2250}$	$\frac{0,26}{24}$	$\frac{1}{3462}$
СПР-2	900	НМ	$\frac{0,54}{30}$	$\frac{1}{1667}$	$\frac{0,35}{15}$	$\frac{1}{2572}$
СД-2	1400	М	$\frac{0,73}{58}$	$\frac{1}{1918}$	$\frac{0,70}{29}$	$\frac{1}{2000}$
СД-2	1400	НМ	$\frac{1,44}{56}$	$\frac{1}{972}$	$\frac{1,40}{28}$	$\frac{1}{1000}$
СД-2	900	М	$\frac{0,49}{46}$	$\frac{1}{1837}$	$\frac{0,27}{23}$	$\frac{1}{3333}$
СД-2	900	НМ	$\frac{0,94}{34}$	$\frac{1}{957}$	$\frac{0,48}{17}$	$\frac{1}{1875}$
$\frac{M_H}{M_M}$			1,85		1,92	

Примечание. m_h — средняя квадратическая ошибка в метрах; n — количество контрольных точек; M_M , M_H — средние взвешенные из средних квадратических ошибок маркированных и немаркированных точек.

В табл. 5 приведены средние квадратические и относительные ошибки измерения превышений по маркированным и немаркированным точкам, а также отношения величин ошибок всех маркированных точек ко всем немаркированным. При этом учитывались веса этих величин, определенные с учетом количества измерений в той или иной группе точек.

Из данных табл. 5 следует, что точность определения превышений по маркированным точкам выше точности сгущения высот по немаркированным точкам в среднем в 1,9 раза.



На рис. 1 и 2 изображены графики, показывающие частоты распределения ошибок, определенных по контрольным точкам. Частоты выражены в процентах. Величины ошибок показаны в пределах диапазонов 0—30, 31—60 и т. д. и выражены в сантиметрах. Как видно из графиков, ошибки, полученные для маркированных точек, характеризуются меньшим рассеиванием по сравнению с ошибками для немаркированных точек. Если рассматривать графики с учетом условий, в которых производился эксперимент ($f_k = 100$ мм, высоты до фотогра-

фирования 900—1400 м, масштаб плана 1 : 5000—1 : 10 000, углы наклона местности—до 6°), можно заметить, что 75—95% ошибок, полученных для маркированных точек, не превышают средних ошибок подписанных на карте отметок точек местности относительно ближайших точек высотной съемочной сети. При этом от 30 до 60% превышений маркированных точек определены с точностью, соответствующей требованиям к высотным опознакам [1, 2]. Для немаркированных точек наблюдается значительное количество ошибок, выходящих за указанные пределы.

Таблица 6

Средние квадратические и относительные ошибки превышений одноименных точек, вычисленные по невязкам прямого и обратного ходов фототриангуляции

Тип прибора	Масштаб плана	Высота аэрофотосъемки Н, м	Тип точек	Ошибки	
				$\frac{m_h}{n}$	$\frac{m_h}{H}$
СПР-2	1:10000	1400	М	$\pm \frac{0,40}{34}$	$\frac{1}{3500}$
				$\frac{0,45}{27}$	$\frac{1}{3111}$
"	1:5000	900	М	$\frac{0,35}{24}$	$\frac{1}{2574}$
				$\frac{0,52}{15}$	$\frac{1}{1731}$
СД-2	1:10000	1400	М	$\frac{0,27}{29}$	$\frac{1}{5186}$
				$\frac{0,40}{28}$	$\frac{1}{3500}$
"	1:5000	1400	М	$\frac{0,58}{23}$	$\frac{1}{1552}$
				$\frac{0,86}{17}$	$\frac{1}{1047}$

Примечание. М — маркированные точки; НМ — немаркированные точки; m_h — средние квадратические ошибки в метрах; n — количество точек.

В табл. 6 приведены средние квадратические и относительные ошибки превышений, полученные по результатам прямого и обратного ходов при фототриангулировании по снимкам масштабов 1 : 14000 и 1 : 9000 на универсальных приборах типов СПР-2 и СД-2.

Средние квадратические ошибки в этом случае вычислены по формуле

$$m_h^2 = \frac{\sum_1^n (h_n - h_0)^2}{2(n-1)}, \quad (4)$$

где h_n — отметка точки в прямом ходе; h_0 — отметка точки в обратном ходе.

На рис. 3 и 4 показаны частоты распределения невязок в высотных отметках одноименных точек в прямом и обратном ходах. Частоты выражены в процентах, а невязки — в сантиметрах. Из анализа данных табл. 6 и графиков 1 и 2 (рис. 3 и 4) видно, что при использовании маркированных точек наблюдается лучшая сходимость результатов,

чем при использовании немаркированных точек (графики 3 и 4 на рис. 3 и 4). С учетом веса в среднем ошибки по маркированным точкам оказались в 1,4 раза меньше ошибок немаркированных точек. При прочих равных условиях это можно объяснить большим влиянием ошибок опознавания и отождествления на результаты измерений по немаркированным точкам.



Для более объективной оценки влияния ошибок опознавания и отождествления на результаты пространственного триангулирования по маркированным и немаркированным точкам произведено сравнение



высотных отметок одноименных точек, определенных разными исполнителями на разнотипных универсальных приборах — СПР-2 и СД-2. Исполнители пользовались разными комплектами диапозитивов и контактных отпечатков, на которых независимо один от другого произво-

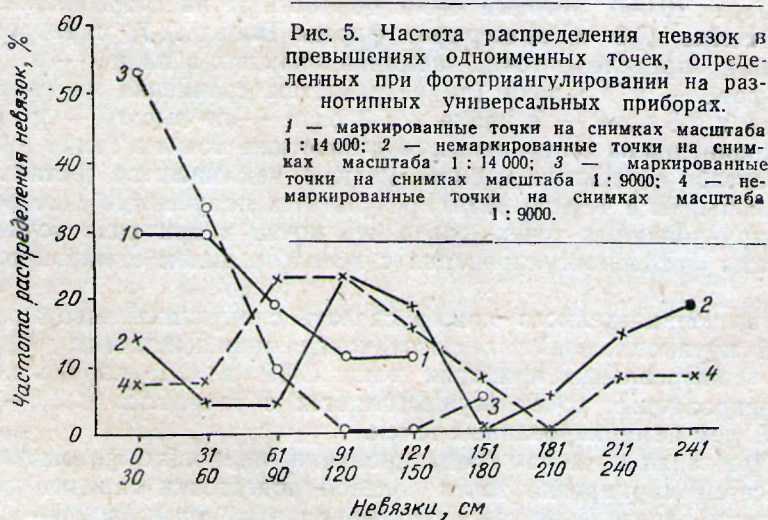
дили опознавание и наколку точек. Триангулирование по снимкам разных масштабов также выполнено различными группами исполнителей.

В этом случае средние квадратические ошибки определения превышений одноименных точек получены по формуле

$$m_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (h_p - h_g)^2}{2(n-1)}, \quad (5)$$

где h_p — отметка точки, полученная на СПР-2; h_g — отметка точки, полученная на СД-2.

На рис. 5 показаны частоты распределения невязок в превышениях одноименных точек, определенные при триангулировании по снимкам



кам масштабов 1:14 000, 1:9000 на СПР-2 и СД-2 разными исполнителями, а в табл. 7 приведены средние квадратические и относительные ошибки определения высот точек, вычисленные по указанным невязкам по формуле (5).

Таблица 7

Средние квадратические и относительные ошибки превышений одноименных точек, вычисленные по разностям высот, полученных на СПР-2 и СД-2

Масштаб аэрофотосъемки	Тип точек			
	Маркированные		Немаркированные	
	$\frac{m_h}{n}$	$\frac{m_h}{H}$	$\frac{m_h}{n}$	$\frac{m_h}{H}$
1:14000	$\pm \frac{0,52}{27}$	$\frac{1}{2692}$	$\pm \frac{1,26}{22}$	$\frac{1}{1112}$
1:9000	$\frac{0,38}{21}$	$\frac{1}{2368}$	$\frac{0,97}{13}$	$\frac{1}{928}$

Примечание. m_h — средние квадратические ошибки в метрах; H — высота аэрофотосъемки; n — количество точек.

Как это можно заключить из анализа данных табл. 7 и показаний графиков рис. 5, ошибки, определенные по маркированным точкам, оказались более чем в два раза меньше ошибок, полученных при использовании немаркированных точек, что при прочих равных условиях можно объяснить большим влиянием ошибок опознавания и отождествления на результаты измерений по немаркированным точкам.

Повышение точности определения превышений по маркированным точкам в сравнении с немаркированными в среднем на 20% (максимально до 40%) подтверждается исследованиями ЦНИИГАиК и производственными данными, накопленными в результате составления карт масштаба 1:25 000 по снимкам мелкого масштаба на участки горно-таежной местности [3].

По данным зарубежной печати [4, 5], в Японии при составлении карты масштаба 1:2500 на плоско-равнинную местность по снимкам масштаба 1:10 000, которые были обработаны на стереопланиграффах фирмы Цейсс С-8 и автографах фирмы Вильд А-7, маркированные точки были определены точнее немаркированных в плане — в 1,4 раза и по высоте — в 1,5 раза (по результатам сравнения на связующих точках) и в 2,8 раза — в плане и в 3 раза — по высоте — по результатам сравнения на контрольных геодезических точках. Таким образом, при масштабе аэроснимков, более мелком, чем масштаб составляемого плана (меньше в четыре раза), результаты, полученные с использованием маркированных точек, оказались почти в три раза точнее, чем результаты фототриангулирования с использованием немаркированных точек.

Из вышеприведенного можно сделать следующие выводы:

1. В крупномасштабных фототриангуляционных сетях, построенных на универсальных приборах типа СПР и СД, определение высот маркированных точек осуществляется с точностью в 1,3—2 раза большей, чем немаркированных точек.

2. При аналитическом редуцировании плановых фотограмметрических сетей маркировка точек полевой подготовки снимков повышает точность определения местоположения этих точек в 1,3—1,5 раза.

3. Учитывая относительно низкую стоимость и простоту выполнения маркировки при крупномасштабных съемках, можно предложить для повышения точности фотограмметрического определения координат и высот точек, кроме опорных пунктов, маркировать все важные точки местности, расположенные на нечетких контурах, но интересующие заказчика картографической продукции, без производства работ по геодезической привязке этих точек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наставление по топографическим съемкам в масштабах 1:10 000 и 1:25 000, часть 2. Камеральные работы. «Недра», М., 1965.
2. Наставление по стереотопографической и фототеодолитной съемке в масштабах 1:5000 и 1:2000, проект, ЦНИИГАиК. М., 1965.
3. Соколова Н. А., Герценова К. Н.,* Ванин А. Г. Результаты экспериментальных работ по построению фотограмметрических сетей на универсальных приборах. «Геодезия и картография», № 5, 1964.
4. Takeshi Hirai. Aerial Triangulation in Japan «Bull. of the Geogr. Surv. Institute» 10, № 1, 1964.
5. Suzuki T., Kakishita S. and Mori K. Results of the Precise Aerial Triangulation for the National Large Scale Mapping Project. «Bull. of the Geogr. Surv. Institute», 9, № 1—2, 1964.