

*П. И. КОНЮХОВ*, канд. техн. наук  
Львовский политехнический институт

## **ВЛИЯНИЕ ЛИЧНЫХ ОШИБОК ИСПОЛНИТЕЛЯ НА ТОЧНОСТЬ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ**

Точность топографической карты во всех ее частях должна быть одинаковой независимо от метода ее создания. Известно, что при наземных методах съемки точность и правильность изображения рельефа местности на картах во многом зависит от топографа, его опытности и хорошего знания топографии местности. Поэтому интересно выяснить, какое влияние оказывает исполнитель на точность фотограмметрических измерений при стереофотограмметрическом методе съемки, где все процессы выполняются механически при помощи стереофотограмметрических приборов.

Точность изображения рельефа на топографических картах характеризуется точностью высот, обозначенных на них, и точностью положения горизонталей по высоте. При стереотопографическом методе съемки высоты точек, обозначенные на карте, определяются фотограмметрическим методом.

Определение высот точек местности по аэроснимкам на универсальных приборах сопровождается ошибками, обусловленными погрешностями: построения фотоизображения, взаимного ориентирования стереопары, горизонтирования стереомодели и ошибками измерений.

Взаимное ориентирование и горизонтирование выполняют по опорным точкам, высоты которых известны исполнителю, поэтому возникающие здесь погрешности могут быть сведены к минимуму.

Для выяснения степени влияния личных ошибок исполнителей на точность стереоизмерений необходимо, чтобы измерения были произведены всеми исполнителями на одних и тех же стереопарах при прочих равных условиях.

Поэтому мы использовали материалы опытных работ, ранее проведенных на четырех аэрогеодезических предприятиях. Опытные работы проводили по одной программе для выявления влияния на точность определения фотограмметрических высот точек систематических ошибок снимков, полученных разными аэрофотоаппаратами. Согласно программе из имеющихся залетов были выбраны по две эталонные стереопары равнинной местности для каждого АФА и обеспечены большим количеством контрольных точек, высоты которых были определены геометрическим нивелированием в поле.

Ориентирование стереопар и горизонтирование стереомодели все исполнители выполняли по одним и тем же диапозитивам и опорным высотным точкам. Каждый исполнитель определял фотограмметрические высоты точек двумя независимыми приемами, из которых выводил среднее значение. В процессе измерений геодезические высоты контрольных точек не были известны.

Универсальные приборы типа СД, использованные для стереоизмерений эталонных стереопар, в результате тщательной проверки обеспечивали точность определения высот по макетам Ошуркова порядка  $1/5500$ — $1/6000$  от высоты полета.

Таким образом, все исполнители были поставлены в совершенно одинаковые условия. Очевидно, точность определения фотограмметрических высот точек по отдельным эталонным стереопарам у всех исполнителей должна быть одинаковой. Отклонение средних квадратических ошибок каждого исполнителя от теоретической средней квадратической ошибки, определенной для каждой конкретной стереопары, будет характеризовать личные ошибки каждого исполнителя.

Полученные числовые характеристики точности определения фотограмметрических высот точек отдельными исполнителями сведены в таблицы.

В табл. 1 приведены систематические  $\Theta$  и средние квадратические ошибки  $m$ , определенные 29-ю исполнителями по двум эталонным стереопарам одного залета в масштабе  $1 : 3500$  при  $f_h = 70$  мм. Из табл. 1 видно, что точность определения фотограмметрических высот точек у отдельных исполнителей, несмотря на совершенно одинаковые условия работы, колеблется в довольно значительных пределах. Так, на первой стереопаре средние квадратические ошибки колеблются в пределах  $\pm 0,08 \dots \pm 0,20$  м, а на второй — в пределах  $\pm 0,08 \dots \pm 0,25$  м.

В табл. 2 приведены числовые характеристики точности определения фотограмметрических высот точек 13-ю исполнителями по четырем эталонным стереопарам. Первые две стереопары одного залета, а две вторые стереопары другого. Здесь, как и в первом случае, точность определения высот у отдельных исполнителей колеблется в значительных пределах. На первой стереопаре она составляет  $\pm 0,16 \dots \pm 0,25$  м, на второй

$\pm 0,20 \dots \pm 0,28$ , на третьей  $\pm 0,17 \dots \pm 0,23$ , на четвертой  $\pm 0,12 \dots \pm 0,22$  м.

В табл. 3 приведены числовые характеристики точности определения высот точек 12-ю исполнителями по четырем эталонным стереопарам двух залетов. Здесь мы наблюдаем аналогичную картину. Точность измерения у отдельных исполнителей

Таблица 1

Точность определения фотограмметрических высот точек у отдельных исполнителей предприятия

Исполнитель	Стереопара 1079-80				Стереопара 1080-81			
	количество точек $n$	систематическая ошибка $\theta$	средняя квадратическая ошибка $m$	коэффициент $K$	количество точек $n$	систематическая ошибка $\theta$	средняя квадратическая ошибка $m$	коэффициент $K$
1	83	+0,046	$\pm 0,11$	0,85	79	+0,069	$\pm 0,12$	0,86
2	83	+0,103	0,13	1,00	79	+0,152	0,16	1,14
3	83	+0,069	0,11	0,85	79	+0,057	0,09	0,64
4	83	+0,080	0,13	1,00	76	+0,123	0,18	1,29
5	83	+0,037	0,09	0,69	79	+0,077	0,13	0,93
6	83	+0,092	0,14	1,08	74	+0,131	0,16	1,14
7	83	+0,120	0,14	1,08	79	+0,169	0,19	1,37
8	83	+0,018	0,08	0,62	65	+0,142	0,16	1,14
9	83	+0,130	0,16	1,23	78	+0,128	0,18	1,29
10	83	+0,072	0,13	1,00	79	+0,049	0,09	0,64
11	77	+0,031	0,08	0,62	78	+0,040	0,09	0,64
12	82	+0,144	0,17	1,30	61	+0,088	0,15	1,07
13	83	+0,148	0,18	1,38	79	+0,229	0,25	1,79
14	83	+0,072	0,15	1,15	79	+0,124	0,17	1,21
15	83	+0,059	0,12	0,92	75	+0,016	0,11	0,74
16	83	+0,057	0,12	0,92	73	+0,015	0,13	0,93
17	83	+0,111	0,14	1,08	79	+0,044	0,08	0,57
18	83	+0,038	0,12	0,92	79	+0,125	0,20	1,43
19	79	+0,024	0,10	0,77	72	+0,025	0,09	0,64
20	70	+0,005	0,08	0,62	72	+0,119	0,15	1,07
21	83	+0,068	0,13	1,00	76	+0,019	0,12	0,86
22	83	+0,070	0,11	0,85	71	+0,018	0,08	0,57
23	83	+0,040	0,09	0,69	73	+0,117	0,13	0,93
24	83	+0,061	0,13	1,00	75	+0,085	0,15	1,07
25	83	+0,058	0,12	0,92	75	+0,148	0,17	1,21
26	83	+0,116	0,15	1,15	75	+0,147	0,17	1,21
27	83	+0,153	0,20	1,54	76	+0,103	0,15	1,07
28	83	+0,021	0,08	0,62	79	+0,035	0,10	0,75
29	83	+0,124	0,16	1,23	79	+0,045	0,10	0,71
Средние	2383	+0,075	$\pm 0,13$	0,99	2193	+0,081	$\pm 0,14$	0,99

колеблется на первой стереопаре  $\pm 0,12 \dots \pm 0,23$  м, на второй стереопаре  $\pm 0,17 \dots \pm 0,24$  м, на третьей стереопаре  $\pm 0,11 \dots \dots \pm 0,19$  м и на четвертой стереопаре  $\pm 0,14 \dots \pm 0,23$  м.

Во всех рядах у большинства исполнителей наблюдаются значительные систематические ошибки, которые понижают точность стереоизмерений. Большие колебания точности стереоиз-

Точность определения фотограмметрических высот точек у отдельных исполнителей предприятия

Исполнитель	Стереопара 7723-24						Стереопара 8159-58						Стереопара 8517-16						Стереопара 8977-78					
	n	e	m	K	n	e	m	K	n	e	m	K	n	e	m	K	n	e	m	K				
																					n	e	m	K
1	74	-0,021	±0,16	0,84	77	+0,152	±0,25	1,04	97	+0,096	±0,21	1,05	93	-0,143	±0,20	1,25	93	-0,143	±0,20	1,25				
2	74	-0,181	0,25	1,32	77	+0,127	0,28	1,16	97	+0,001	0,20	1,00	93	+0,056	0,15	0,94	93	+0,056	0,15	0,94				
3	74	-0,120	0,20	1,05	77	+0,056	0,21	0,88	97	+0,096	0,23	1,15	93	-0,121	0,17	1,06	93	-0,121	0,17	1,06				
4	74	-0,016	0,16	0,84	77	+0,116	0,25	1,04	97	+0,068	0,21	1,05	93	+0,167	0,21	1,31	93	+0,167	0,21	1,31				
5	74	-0,111	0,17	0,89	77	+0,085	0,24	1,00	97	+0,100	0,22	1,10	93	+0,042	0,14	0,87	93	+0,042	0,14	0,87				
6	74	-0,044	0,17	0,89	77	+0,179	0,26	1,08	97	+0,138	0,22	1,10	93	+0,035	0,13	0,81	93	+0,035	0,13	0,81				
7	74	-0,112	0,19	1,00	77	+0,044	0,22	0,92	97	-0,002	0,19	0,95	93	+0,004	0,12	0,75	93	+0,004	0,12	0,75				
8	74	-0,092	0,21	1,10	77	-0,101	0,20	0,83	97	+0,079	0,20	1,00	93	-0,014	0,13	0,81	93	-0,014	0,13	0,81				
9	74	-0,030	0,16	0,84	77	+0,138	0,23	0,96	97	+0,048	0,19	0,95	93	+0,047	0,14	0,87	93	+0,047	0,14	0,87				
10	74	-0,064	0,18	0,95	77	+0,195	0,27	1,12	97	-0,033	0,17	0,85	93	-0,002	0,15	0,94	93	-0,002	0,15	0,94				
11	74	-0,010	0,20	1,05	77	+0,091	0,22	0,92	97	-0,151	0,22	1,10	93	+0,043	0,14	0,87	93	+0,043	0,14	0,87				
12	74	-0,143	0,22	1,16	77	+0,172	0,25	1,04	97	+0,071	0,19	0,95	93	+0,014	0,15	0,94	93	+0,014	0,15	0,94				
13	74	+0,104	±0,20	1,05	77	+0,155	±0,24	1,00	97	+0,125	±0,22	1,10	93	+0,174	±0,22	1,38	93	+0,174	±0,22	1,38				
Средние	962	-0,060	±0,19	1,00	1001	+0,108	±0,24	1,00	1261	+0,049	±0,20	1,00	1209	+0,034	±0,16	1,00		+0,034	±0,16	1,00				

## Точность определения фотограмметрических высот точек у отдельных исполнителей предприятия

Исполнитель	Стереопара 99-97						Стереопара 97-95						Стереопара 57-59						Стереопара 55-57					
	n		m		K		n		m		K		n		m		K		n		m		K	
1	110	-0,046	±0,16	0,94	76	+0,112	±0,20	1,00	83	+0,119	±0,18	1,12	81	+0,063	±0,15	0,88								
2	110	+0,149	0,20	1,18	81	+0,020	0,18	0,90	83	+0,091	0,19	1,19	81	-0,080	0,16	0,94								
3	106	+0,192	0,23	1,35	81	+0,113	0,19	0,95	81	+0,058	0,17	1,06	81	+0,098	0,19	1,12								
4	110	-0,013	0,15	0,88	74	+0,129	0,17	0,85	71	+0,098	0,17	1,06	81	+0,152	0,21	1,24								
5	106	+0,095	0,18	1,06	82	+0,154	0,22	1,10	83	-0,078	0,16	1,00	81	+0,174	0,23	1,35								
6	106	+0,077	0,16	0,94	79	+0,147	0,20	1,00	83	-0,017	0,11	0,69	81	+0,025	0,15	0,88								
7	106	+0,065	0,12	0,71	82	+0,134	0,19	0,95	73	+0,064	0,14	0,88	81	-0,044	0,14	0,82								
8	91	+0,061	0,16	0,94	68	+0,095	0,18	0,90	83	+0,039	0,13	0,81	81	+0,083	0,19	1,12								
9	104	-0,036	0,14	0,82	82	+0,151	0,20	1,00	83	-0,021	0,14	0,88	81	-0,076	0,15	0,88								
10	107	+0,138	0,20	1,18	12	+0,176	0,24	1,20	83	+0,081	0,18	1,12	31	+0,052	0,17	1,00								
11	106	+0,123	0,18	1,06	82	+0,109	0,21	1,05	83	+0,068	0,17	1,06	81	+0,069	0,15	0,88								
12	105	+0,122	±0,20	1,18	81	+0,080	±0,21	1,05	83	+0,096	±0,18	1,12	81	+0,102	±0,20	1,18								
Средние	1267	+0,077	±0,17	1,01	950	+0,109	±0,20	1,00	982	+0,050	±0,16	1,00	972	+0,052	±0,17	1,02								

мерений приводят к тому, что на отдельных листах карты одного и того же масштаба, выполненных различными исполнителями, точность изображения рельефа неодинакова.

Поскольку приведенные в таблицах эталонные стереопары имеют различные масштабы и получены разными аэрофотоаппаратами, то вычисленные на различных стереопарах средние квадратические ошибки отдельных исполнителей не позволяют установить степень влияния человека на точность стереоизмерений. Единым критерием оценки точности стереоизмерений на различных стереопарах может служить коэффициент  $K$  рассеивания полученных средних квадратических ошибок  $m$  вокруг вероятнейшего значения средней квадратической ошибки того или иного ряда измерений  $m_0$ .

Коэффициент  $K$  вычисляют по формуле

$$K = \frac{m}{m_0}.$$

Хорошее качество стереоизмерений будет у тех исполнителей, коэффициент  $K$  у которых не превышает единицы и сохраняет свое постоянство при измерениях на различных стереопарах.

Точность стереоизмерений у отдельных исполнителей зависит от многих факторов: остроты стереозрения, утомляемости глаз, душевного состояния человека, опыта работы на стереоприборах, возраста и т. д.

Под остротой стереоскопического зрения понимают способность глаза человека замечать разность глубин (расстояний) двух предметов. Она непостоянна и может меняться в соответствии с причинами, возникающими в результате влияния ряда факторов, связанных с глазной оптикой. В значительной мере на остроту зрения влияют интенсивность освещения и контрастность [1]. Аэрогеодезические предприятия ежегодно проводят работу по определению остроты стереоскопического зрения у работников, занятых на стереофотограмметрических измерениях.

Нами были использованы и обработаны материалы по определению стереозрения у сотрудников одного из предприятий за 1970, 1972 и 1973 гг. Измерения по определению фотограмметрических высот точек производились 26-ю исполнителями на одной эталонной стереопаре, на которой нанесены 50 контрольных точек. Высоты контрольных точек определены геометрическим нивелированием и во время измерений исполнителям не были известны.

Ориентирование аэроснимков и горизонтирование стереомодели все исполнители проводили по одним и тем же опорным точкам. Определение высот точек выполняли двумя приемами на стереографе СД. Причем при повторных измерениях исполнители не имели возможности использовать результаты измерений первого приема. Измерения в последующие годы те же

самые исполнители производили на той же самой эталонной стереопаре при тех же условиях.

Числовые характеристики точности определения фотограмметрических высот точек отдельными исполнителями приведены в табл. 4. Из табл. 4 видно, что хорошим стереозрением обладают исполнители, у которых коэффициент  $K$  меньше единицы и сохраняется примерное постоянство на протяжении ряда лет. К таким исполнителям можно отнести: 1, 4, 7, 8, 14, 17, 19, 21, 25.

Таблица 4

Точность определения фотограмметрических высот точек у отдельных исполнителей в зависимости от возраста и стажа работы на стереоприборах

Исполнитель	Возраст	Стаж работы	Кол. точек $n$	1970 г.		1972 г.		1973 г.	
				$m$	$K$	$m$	$K$	$m$	$K$
1	37—40	16—19	50	±0,21	0,75	±0,23	0,82	±0,25	0,89
2	23—26	4—7	50	0,26	0,93	0,32	1,14	0,26	0,93
3	20—23	0—3	50	0,44	1,57	0,30	1,07	0,24	0,86
4	27—29	1—4	50	0,28	1,00	0,26	0,93	0,25	0,89
5	33—36	11—14	50	0,30	1,07	0,27	0,96	0,32	1,14
6	32—35	0—3	50	0,39	1,39	0,32	1,14	0,29	1,04
7	44—47	17—20	50	0,18	0,64	0,20	0,71	0,25	0,89
8	37—40	16—19	50	0,15	0,54	0,19	0,68	0,17	0,61
9	41—44	19—22	50	0,24	0,86	0,28	1,00	0,34	1,21
10	38—41	17—20	50	0,28	1,00	0,37	1,32	0,38	1,36
11	36—38	3—6	50	0,30	1,07	0,28	1,00	0,35	1,25
12	37—39	18—20	50	0,25	0,89	0,30	1,07	0,38	1,36
13	41—44	19—20	50	0,30	1,07	0,25	0,89	0,33	1,18
14	33—36	15—18	50	0,12	0,43	0,15	0,54	0,17	0,61
15	38—41	16—19	50	0,17	0,61	0,28	1,00	0,35	1,25
16	25—27	3—5	50	0,30	1,07	0,28	1,00	0,27	0,96
17	27—29	5—7	50	0,27	0,96	0,24	0,86	0,30	1,07
18	22—24	0—3	50	0,44	1,57	0,30	1,07	0,28	1,00
19	18—20	0—3	50	0,30	1,07	0,25	0,89	0,23	0,82
20	31—34	10—13	50	0,23	0,82	0,31	1,11	0,41	1,46
21	39—41	19—21	50	0,20	0,71	0,23	0,82	0,25	0,89
22	24—26	3—5	50	0,34	1,21	0,28	1,00	0,26	0,93
23	22—24	0—3	50	0,43	1,54	0,35	1,25	0,30	1,07
24	32—35	10—13	50	0,34	1,21	0,30	1,07	0,25	0,89
25	19—22	1—4	50	0,30	1,07	0,28	1,00	0,26	0,93
26	19—22	1—4	50	±0,40	1,43	±0,37	1,32	±0,30	1,07
Среднее			1300	±0,285	1,01	±0,277	0,99	±0,282	1,02

У остальных исполнителей коэффициент  $K$  неустойчив. Это можно объяснить различными причинами: ухудшением стереозрения в связи с развитием возрастной дальновзоркости, неопытностью и т. д. Так, у исполнителей из табл. 4 (10, 12, 15 и 20), имеющих стаж работы от 10 до 20 лет и возраст от 30 до 40 лет, точность работы с каждым годом понижалась и, наоборот, у

молодых, начинающих, работников (3, 19, 23, 25, 26) по мере приобретения опыта точность измерения возрастала.

Иногда у некоторых исполнителей с достаточно большим опытом работы на стереоприборах на отдельных стереопарах резко понижается точность измерения, что можно объяснить резким ухудшением настроения исполнителя, вызванным различными причинами.

Исследование точности определения фотографических высот точек местности, проведенное 80-ю исполнителями, позволяет сделать следующие выводы:

1. Точность стереоизмерений на универсальных приборах на одних и тех же стереопарах и при одинаковых условиях измерений у различных исполнителей сильно колеблется. Различие точности измерений у отдельных исполнителей — результат влияния личных ошибок исполнителей.

2. Личные ошибки вызывают появление систематических ошибок, которые понижают точность измерений.

3. Степень влияния личных ошибок на точность измерений зависит от целого ряда факторов: остроты стереозрения, опыта работы, возраста, самочувствия человека и т. д.

4. Наблюдатели, обладающие хорошим стереозрением, показывают высокую точность измерений.

5. С увеличением возраста у человека развивается дальность и точность измерений постепенно понижается.

6. Опыт наблюдений играет важную роль. Точность измерений у опытного работника значительно выше, чем у неопытного.

7. Плохое настроение человека резко понижает точность измерений.

8. При наличии тех же самых стереофотограмметрических приборов, которые применяют в настоящее время на производстве, можно значительно повысить точность изображения рельефа на топографических картах путем тщательного отбора исполнителей с хорошим стереозрением, правильной научно обоснованной организации труда и создания благоприятной рабочей обстановки, ликвидации всех факторов, вызывающих отрицательные эмоции у человека.

**Список литературы:** 1. Тищенко И. В. Роль физиологических факторов при стереоскопических измерениях. — «Геодезия и картография», 1972, № 11.  
2. Останин Н. И. Исследование измерений остроты стереозрения. — «Геодезия и картография», 1975, № 10.

Работа поступила 22 декабря 1976 года.  
Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.