

Г. Н. ТИМУШЕВ

О ПРИБОРАХ ДЛЯ МАРКИРОВКИ ТОЧЕК НА АЭРОФОТОСНИМКАХ

Для уменьшения ошибок опознавания и отождествления одноименных точек на аэрофотоснимках в международной фотограмметрической практике применяют различные способы, в том числе используют специальные приборы для маркировки точек на снимках.

Появлению маркирующих приборов способствовало внедрение за рубежом в фотограмметрическое производство упрощенных по конструкции приборов для измерения координат точек на снимках — однокареточных компараторов (монокомпараторов). Предложения использовать однокареточный способ для измерения координат точек на снимках имеются и в Советском Союзе (2).

Для маркировки и переноса точек с одного диапозитива на другой применяются различные приборы. Например, в Советском Союзе В. Ф. Марков предложил специальную стереоскопическую наконечник в виде насадки к прецизионному стереомеру СМ-4, которая используется для маркировки точек на снимках при построении фотограмметрических сетей на универсальных приборах [3, 4].

Принцип работы маркирующих приборов основан на том, что после стереоскопического отождествления какой-либо точки в эмульсионном слое снимка различными методами (механическим, химическим, электрическим, тепловым) прокалывают [3, 4, 7], высверливают [10, 15], выжигают [1, 8, 10, 12] или выдавливают [6, 10] отверстие. Существуют приборы, посредством которых точка на эмульсионном слое обозначается краской.

Таким образом, при использовании большинства маркирующих приборов эмульсионный слой полностью уничтожается в центре маркируемой точки (диаметр отверстия 25—50 мк) и деформируется в ее окрестности на значительной площади диаметром до 500 мк. В связи с этим невозможно точно стереоскопически навести измерительную марку прибора на центр обозначенной точки для измерений разностей продольных параллаксов и высот.

Выполненные исследования [10] показали, что при использовании маркирующих приборов могут возникать дополнительные ошибки отождествления в связи с параллаксом от неоднородной маркировки точек на смежных диапозитивах. Не удается добиться положения, при котором отверстия имели бы одинаковые размеры и форму, что зависит от многих причин: плотности и толщины эмульсии; диаметра шарика или фрезы прибора; силы удара по шарик, игле или скорости вращения фрезы; температуры, влажности и т. д. При этом шарик, фреза или игла со временем деформируются, а сделанное ими отвер-

ствие постепенно исчезает в связи с текучестью эмульсии и попаданием в отверстие пыли.

Недостатком маркирующих приспособлений является необходимость привлекать для наковки точек более квалифицированных специалистов, чем требуется при измерениях на монокомпараторах. Некоторые маркирующие приборы конструктивно сложны, громоздки и требуют специальных условий при их использовании [8].

Маркирующие приборы используются не только для обозначения на снимках связующих точек [13], но и для наковки геодезических точек [5]. Наоборот, отмечены случаи, когда связующие точки заведомо выбирались и маркировались на местности [14]. В связи с этим представляется интересным сравнить использование маркирующих приборов с маркировкой точек на местности.

С этой целью выполнена практическая работа, состоящая из четырех отдельных экспериментов.

В экспериментальной работе использованы стеклянные диапозитивы снимков масштабов 1:9000 и 1:14000, произведенных аэрофотоаппаратом АФА-ТЭ с $f_k = 100$ мм с изобразившимися на них точками, замаркированными на местности белыми квадратными знаками со стороной 1—1,4 мм. В зонах привязки замаркированных опознаков (радиус зоны — 0,5 см в масштабе снимка) были наколоты контуры. Для этой цели использовалась наковка, предложенная В. Ф. Марковым.

Точки в зависимости от их типа — замаркированные на местности или наколотые на снимках — распределены в двух группах по тридцать точек в каждой. Во всех экспериментах координаты точек измерялись двумя исполнителями. Всего в экспериментальной работе выполнено 480 приемов наблюдений и произведено около двух тысяч наведений измерительной марки прибора на центры изображений замаркированных точек и наколотых контуров.

После вычисления средних результатов в каждом приеме определялись разности значений координат (Δx , Δy), полученных соответственно первым (x_1 , y_1) и вторым (x_2 , y_2) наблюдателями:

$$\Delta x = x_1 - x_2; \quad \Delta y = y_1 - y_2. \quad (1)$$

Средние квадратические ошибки соответствующих координат вычислены по формулам (2):

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{[\Delta x^2]}{2(n-1)}}; \quad m_y = \pm \sqrt{\frac{[\Delta y^2]}{2(n-1)}}, \quad (2)$$

а средние квадратические ошибки местоположения центров точек — по формуле (3):

$$m_c = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2}. \quad (3)$$

Эксперимент 1. Выполнен на стереографе СД-2, имеющем черную точечную измерительную марку и цену наименьшего деления счетчиков координат x и y 0,1 мм, однако применение несложного приспособления позволило при проведении эксперимента брать отсчеты координат с точностью 0,003 мм. Измерения выполнены по диапозитивам снимков масштаба 1:9000, произведенных аэрофотоаппаратом АФА-ТЭ с $f_k = 100$ мм. Результаты измерений сведены в табл. 1.

Здесь $m_{см}$ и $m_{сн}$ — соответственно средние квадратические ошибки определения местоположения маркированных и наколотых точек, а Δx , Δy — максимальные разности соответствующих координат, определенных разными исполнителями.

Ошибки наведения марки СД-2 (в микронах) на центры замаркированных и наколотых точек (масштаб 1:9000)

Тип точек	Ошибки				
	Δx	m_x	Δy	m_y	m_c
Маркированные Наколотые	-16	± 7	+15	+5	± 9
	-23	9	-32	10	14
$m_{сн} : m_{см}$		1,3		2,0	1,6

По данным табл. 1 можно сделать вывод, что в проведенном эксперименте наибольшая точность получена для знаков, замаркированных на местности, для которых средние квадратические ошибки местоположения оказались в 1,6 раза меньше, чем для наколотых точек.

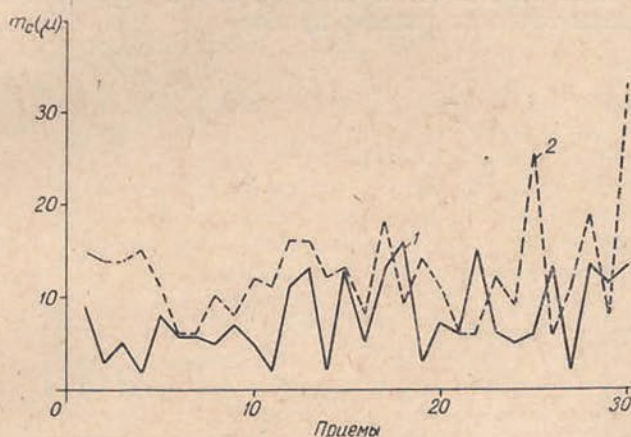


Рис. 1. Точность определения на СД-2 местоположения маркированных (1) и наколотых (2) точек по снимкам масштаба 1 : 9 000.

На рис. 1 представлены диаграммы, показывающие точность определения местоположения (m_c) замаркированных и наколотых точек.

При точности отсчета координат x и y на данном приборе, равной 0,02 мм, можно принять, что в одиночном приеме при ограниченном количестве наведений марки прибора на знак

$$m_c = \pm 0,02 \sqrt{2} \approx \pm 0,03 \text{ мм.} \quad (4)$$

Тогда из рис. 1 следует, что ошибка местоположения в отдельных приемах и для маркированных и для наколотых точек не превышают допустимых ошибок для данного прибора, однако с использованием замаркированных на местности точек обеспечивается большая точность определения планового положения.

Эксперимент 2. Выполнен на стереографе СД-2 по диапозитивам снимков масштаба 1 : 14000 с сохранением прочих условий предыдущего эксперимента. Результаты наблюдений представлены в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что результаты этого эксперимента хорошо согласуются с результатами предыдущего: точность определения планового положения маркированных точек оказалась также в 1,6 раза выше, чем для наколотых точек.

Ошибки наведения марки СД-2 (в микронах) на центры замаркированных и наколотых точек (масштаб 1 : 14000)

Тип точек	Ошибки				
	Δx	m_x	Δy	m_y	m_c
Маркированные	-27	± 8	+15	± 7	± 11
Наколотые	+30	11	+36	13	17
$m_{сн} : m_{см}$		1,4		1,9	1,6

На рис. 2 показаны диаграммы распределения ошибок определения местоположения точек, полученных в отдельных приемах. Очевидно, что маркированные точки обеспечивают большую точность измерений, чем наколотые, хотя ошибки измерений по тем и другим контурам не выходят за пределы точности данного прибора.

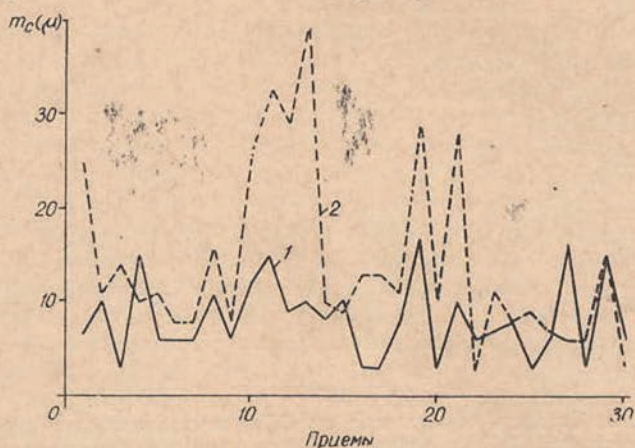


Рис. 2. Точность определения на СД-2 местоположения маркированных (1) и наколотых (2) точек по снимкам масштаба 1 : 14 000.

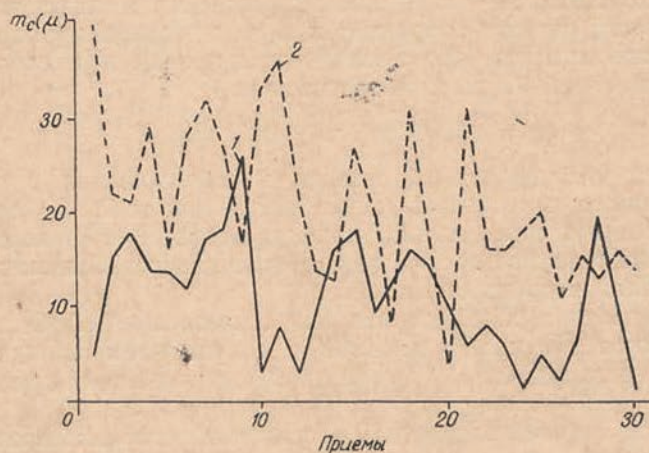


Рис. 3. Точность определения на СПР-2 местоположения маркированных (1) и наколотых (2) точек по снимкам масштаба 1 : 9 000.

Эксперимент 3. Выполнен на стереопроекторе СПР-2, имеющем цветную светящуюся точечную измерительную марку, по диапозитивам снимков масштаба 1:9000 с сохранением прочих условий предыдущих экспериментов. Результаты наблюдений сведены в табл. 3. На рис. 3 представлены диаграммы, показывающие точность определения планового положения маркированных и наколотых точек в отдельных приемах.

Таблица 3

Ошибки наведения марки СПР-2 (в микронах) на центры замаркированных и наколотых точек (масштаб 1:9000)

Тип точек	Ошибки				
	Δx	m_x	Δy	m_y	m_c
Маркированные	-21	± 10	-19	+9	± 13
Наколотые	+30	17	+30	17	23
$m_{сн} : m_{см}$		1,7		1,9	1,7

Как следует из данных табл. 3 и графиков рис. 3, при выполнении измерений на СПР-2 лучшие результаты получены при использовании маркированных точек, точность измерений по которым в 1,7 раза выше, чем при использовании наколотых точек. Значительная часть (около 20%) ошибок, полученных в отдельных приемах для наколотых точек, выходит за пределы точности измерений на СПР-2. Из сравнения результатов эксперимента с данными предыдущих видно, что точность измерений на СПР-2 по наколотым точкам оказалась ниже, чем на СД-2, что можно объяснить трудностью наведения сравнительно большой светящейся марки прибора на просвечивающийся центр наколотой точки.

Эксперимент 4. Выполнен на СПР-2 по диапозитивам снимков масштаба 1:14000 с сохранением прочих условий предыдущих экспериментов. Результаты наблюдений сведены в табл. 4 и показаны на диаграмме рис. 4.

Таблица 4

Ошибки наведения марки СПР-2 (в микронах) на центры замаркированных и наколотых точек (масштаб 1:14000)

Тип точек	Ошибки				
	Δx	m_x	Δy	m_y	m_c
Маркированные	+20	± 10	+22	± 11	± 15
Наколотые	-36	18	36	16	24
$m_{сн} : m_{см}$		1,8		1,5	1,6

Как видно из данных табл. 4 и на рис. 4, результаты данного и предыдущего экспериментов, выполненных на СПР-2, хорошо согласуются.

Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают, что точность планового положения маркированных точек оказалась в 1,6 раза выше точности наколотых точек. Представляет трудность сравнение точности определения превышений по маркировочным и наколотым контурам, так как невозможно стереоскопически измерить

разность продольных параллаксов на центре наколотой точки. Но с учетом того, что при однокартеточном способе измерений параллаксы вычисляются как разности абсцисс левого и правого снимков и, таким образом, вычисляются разности продольных параллаксов точек, можно сделать вывод, что точность измерений превышений по маркированным

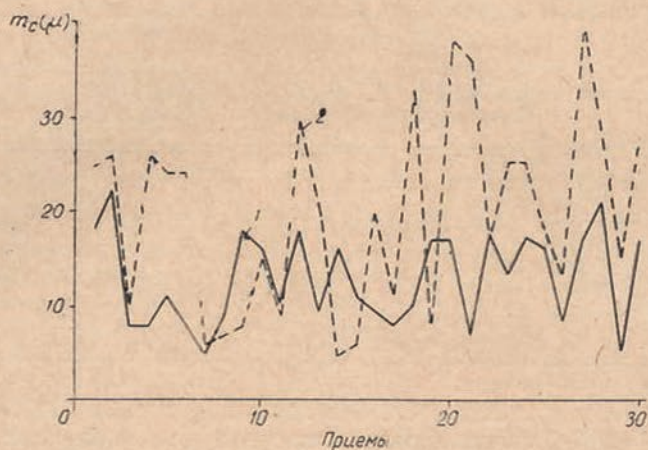


Рис. 4. Точность определения на СПР-2 местоположения маркированных (1) и наколотых (2) точек по снимкам масштаба 1:14 000.

Таблица 5

Сравнение точности измерений по точкам, замаркированным на местности и нанесенным на снимки маркирующими приборами

Фотограм. прибор и вид марки	Маркирующий прибор	Масштаб снимка K и f	Ошибки в мк		$\frac{m_H}{m_M}$
			m_H	m_M	
Стереокompatop PSK Точечная	PUG-2	1:61000	± 19	± 12	1,6 ^v
Стереометрограф Светящаяся	Приставка к стереокompatop. 1818	1:4500 210 мм	55	38	1,4
"	"	"	81	59	1,4
Стереокompatop STK-1 Кольцеобразная	PUG-3	1:12000 100 мм	6,1	3,5	1,7
"	Snapmarker		4,1	3,5	1,2

Примечание: в работах [1—3] показаны ошибки местоположения точек, полученные в результате построения и уравнивания фототриангуляционных сетей; в работах [4, 5] измерения проводились в одиночной модели. Величины ошибок выражены в масштабе снимка.

точкам должна быть выше, чем по наколотым. Из таблиц 1—4 следует, что ошибки измерения абсцисс наколотых точек во всех экспериментах оказались большими, чем ошибки абсцисс маркированных точек.

В табл. 5 для сравнения приведены данные, представляющие собой результат анализа значительного экспериментального материала, накопленного при аэротриангуляционных работах с использованием маркированных точек и контуров, обозначенных на снимках с применением маркирующих приборов различной конструкции [11, 16, 15].

Таким образом, независимо от точности измерений, типа маркирующего прибора, масштаба снимка и фокусного расстояния аэрофотоаппарата, точность определения планового положения маркированных точек в 1,5 раза выше, чем наколотых.

Отмечено, что наколка точек требует значительных затрат времени [5, 9].

В результате выполнения экспериментальной работы выяснилось, что нанесение точек с использованием маркирующих приборов, в частности прибора В. Ф. Маркова, может выполняться только на стеклянных диапозитивах, так как игла рвет пленку и бумагу. Точки же, замаркированные на местности, изображаются на любом светочувствительном материале, на нескольких аэрофотоснимках (в продольном и поперечном перекрытиях снимков), в то время как накальвать точки необходимо на каждом диапозитиве в отдельности, что ведет к дополнительным ошибкам.

В настоящее время принято производить аэрофотосъемку в двух масштабах. При этом съемка для аэротриангуляции выполняется с продольным перекрытием около 80%. Тогда для обозначения связующей точки с помощью маркирующего прибора ее необходимо накальвать отдельно в четырех стереотипах, а при однокареточном способе измерений — на восьми снимках.

С учетом подготовительных работ и взаимного ориентирования пары снимков на производство одного накола затрачивается в среднем 4—5 минут. Таким образом, для нанесения одной точки на четырех стереотипах квалифицированный исполнитель затрачивает 15—20 минут времени. Тогда, включая амортизацию оборудования и накладные расходы, стоимость одной наколотой точки составит 30—35 копеек. Фактическая же стоимость одного опознака, полученная при предварительной маркировке на местности при съемке в масштабе 1:14000, составила 40—45 копеек. Точки, замаркированные на местности, могут использоваться при обработке снимков других масштабов, на которых они изобразились, без дополнительных затрат на маркировку, в то время как при использовании маркирующих приборов наколку точек в этом случае надо производить вновь.

Более высокая точность измерений по маркированным точкам при практически одинаковых затратах денежных средств в сравнении с использованием маркирующих приборов дает основание отдельным авторам вносить предложения производить предварительную маркировку связующих точек на местности при крупномасштабных съемках [11, 14].

Однако при современном состоянии техники аэрофотосъемочного самолетовождения и значительной стоимости маркировки точек местности при съемках в средних и мелких масштабах преждевременно рекомендовать маркировку связующих точек на местности при фотограмметрических работах в Советском Союзе, хотя в отдельных обоснованных случаях этот способ может быть применен. Например, удачный эксперимент по маркировке на местности связующих точек был выполнен в июле 1965 г. во Львовском ордена Ленина политехническом институте.

Результаты выполненной экспериментальной работы и анализ зарубежных работ позволяют сделать следующие выводы и предложения:

1. Маркирующие приборы различных типов находят применение за рубежом, особенно при измерениях на простых по конструкции и относительно дешевых приборах — монокомпараторах с последующим использованием результатов измерений в аналитической фототриангуляции. В Советском Союзе заслуживает внимания и дальнейшего конструктивного совершенствования стереоскопическая наколка, предложенная В. Ф. Марковым и используемая при фототриангулировании на универсальных приборах.

2. Фототриангуляционные работы с использованием наколки В. Ф. Маркова целесообразно производить на универсальных приборах, у которых измерительная марка не светится, например, на стереографах Ф. В. Дробышева.

3. Точность измерений по точкам, нанесенным на снимки маркирующими приборами не на много выше, чем при использовании четких естественных контуров и в 1,5 раза ниже, чем по точкам, замаркированным на местности, однако в сравнении с естественными контурами наколотые точки дают большую уверенность при их отождествлении.

4. Маркирующие приборы, деформирующие эмульсионный слой снимка, следует применять при однокареточном способе измерений. Наиболее выгодно в этом случае кольцеобразная марка с диаметром внутреннего кольца, равным 1,5—2 диаметрам наколки.

5. Для повышения надежности и точности отождествления связующих точек при обработке мелкомасштабных снимков малоконтурной местности на стереофотограмметрических приборах, не оборудованных фотоприставками, желательно сконструировать маркирующие приборы, печатающие на снимках краской знаки в виде кольца с внутренним диаметром не более 0,3 мм в масштабе снимка или креста с непересекающимися лучами.

6. Нецелесообразно использовать маркирующие приборы для обозначения геодезических точек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайбрехт О. Устройство для маркировки точечных изображений на фотограммах. Реферат. журнал «Геодезия», 1968, № 5, 5.52.139П.
2. Малявский Б. К., Федоровский Б. И. Фотоприставка к стереокомпаратору СК-2 для измерения координат однокареточным способом. «Геодезия и картография», № 1, 1964.
3. В. Ф. Марков. К вопросу о стереотопографической съемке в масштабе 1:2000. «Геодезия и картография», № 6, 1966.
4. Фотограмметрические методы сгущения опорной сети. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 172, «Недра», М., 1967.
5. Ackermann F. A progress report on the practice of analytical aerial triangulation on commercial base with Pricking Device and Mono-Comparator in Japan. «Photogrammetria», 19, N 7, 1962—1964.
6. Brucklacher W. Instruments for marking natural points and producing artificial points in the preparation of aerial photography for aerotriangulation. «Photogramm. Engng», 1963, 29, N 5.
7. Demeter E. Latest advantageces in automatic mapping. «Photogramm. Engng», 1963, 29, N 6.
8. Dvorin M. The C-D method of point marking. «Photogramm. Engng.», 1966, 32, N 6.
9. Eden J. Measuring instruments for analytical photogrammetry. «Conf. Commonwealth Surv. Officers, 1963, Part. 1». London, H.M.S.O. 1964.
10. Hemenius S. Physical investigations on pricked points used in aerial triangulation. «Photogrammetria», 1962—1964, 19, N 7.
11. Korhonen U. The influence of the relative orientation and scale transfer on the coordinates determined by the analytical aerial triangulation. «Maanmittaus», 40, 1—2, 1965.

12. Roos M. Varyscale Stereo Point Marking Instrument. «Photogramm. Engng», 1967, 33, N 11.
13. Scogings D. Some bridging attachments for the Wild A-8 stereoplotter. «S. Afric. F. Photogram», 1967, 3, N 1.
14. Suzuki T., Kakishita S., Mori K. Results of the precise aerial triangulation for the national large scale mapping project. «Bull. Geogr. Surv. Insts», 1964, 9, N 1—2.
15. Visser F. Tests on the precision of observing plate-coordinates and parallaxes in a stereocomparator a) on artificial points; b) on signalized points. «Photogrammetria», 1962—1964, 19, N 7.
16. Zafiroff P. Aerotriangulation am Stereometrographen mit Kunstlichen Paßpunkten und blockweiser-Ausgleichung. «Vermessungstechnik», 1966, 16, N 2.

Работа поступила
17 сентября 1968 г.