*Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. XXXVII, вып. 1, 1958 г.*

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРОЙНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ АЭРОСНИМКОВ ПРИ СОЗДАНИИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ

*М. П. Пятницкая*

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРОЙНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ АЭРОСНИМКОВ

**Сущность способа обработки снимков по тройным перекрытиям.** Ошибка определения превышений точек стереофотограмметрическим методом выражается формулой

$$m_h = \frac{H}{b} m_{\Delta p} = \frac{f_к \cdot m}{b} m_{\Delta p}, \qquad (1)$$

где $f_к$ — фокусное расстояние камеры;
$m$ — знаменатель масштаба фотографирования;
$b$ — базис фотографирования в масштабе снимка;
$m_{\Delta p}$ — ошибка определения разности продольных параллаксов.

Повышение точности определения высот точек может быть достигнуто уменьшением фокусного расстояния АФА или увеличением базиса фотографирования $b$. Применение АФА с $f_к < 55$ *мм* едва ли возможно без существенного снижения качества снимка, а увеличение базиса $b$ ограничено предельно допустимым процентом продольного перекрытия снимков.

Таблица 1

**Значения сопоставимых перекрытий**

| Величина продольного перекрытия снимков, % | |
|---|---|
| при обычной обработке | при создании плана по тройным перекрытиям |
| 55 | 70 |
| 60 | 73 |
| 65 | 76 |

В настоящей статье предлагается способ увеличения базиса фотографирования за счет использования тройных перекрытий снимков.

Сущность способа заключается в следующем. Высотная обработка снимков на стереометре или на стереопланиграфе производится по стереопарам, составленным из снимков *1—3, 2—4, 3—5, 4—6* и т. д., что возможно при залете с продольным перекрытием, равным 76% (табл. 1).

Установим минимальное значение двойного перекрытия снимков, при котором возможна обработка стереопар, составленных через снимок, и определим соответствующее увеличение точности получения высотных

отметок точек. При обычном методе обработки снимков по двойным перекрытиям продольное перекрытие составляет около 65%, что дает ширину рабочей части снимков $b = 0{,}35\, l_x = 63$ *мм* ($l_x = 180$ *мм* — размер снимка).

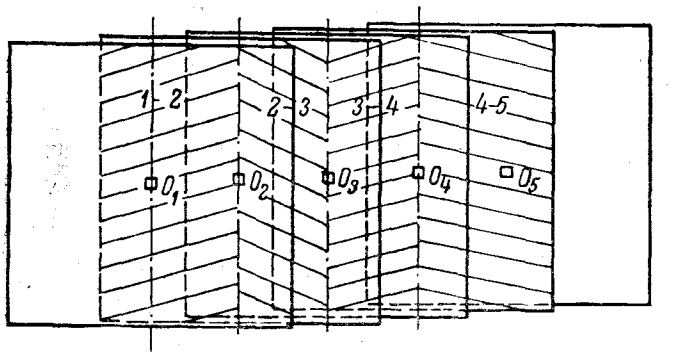



Рис. 1. Схема расположения снимков при продольном перекрытии, равном 65%

Соответствующее тройное перекрытие составит $l_x\,(0{,}65 - 0{,}50) \times 2 = 0{,}30 l_x = 54$ *мм*, так что рабочая часть будет находиться от края снимка в 27 *мм* (рис. 1).

Перекрытию, равному 65%, при обычной обработке соответствует перекрытие, равное 76% при обработке тройных перекрытий. В этом

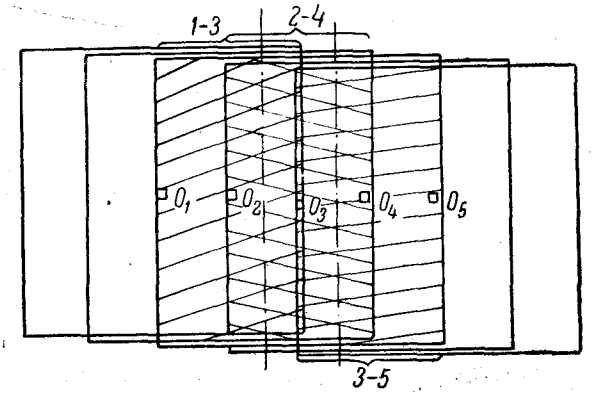



Рис. 2. Схема расположения снимков при продольном перекрытии, равном 76%

случае размер полезной площади при обычной обработке составит $b = (1{,}00 - 0{,}76)\, l_x = 0{,}24 l_x = 44$ *мм*, тройное перекрытие будет равно $0{,}52 l_x = 94$ *мм*, а четвертное $0{,}28 l_x = 50$ *мм* и, следовательно, рабочая часть снимка будет находиться от края в 25 *мм* (рис. 2).

В дальнейшем в расчетах будем принимать продольное перекрытие при обычной обработке равным 65%, а соответствующее ему продольное перекрытие при обработке тройных перекрытий — 76%.

В первом случае базис фотографирования в масштабе снимка будет равен $b_1 = 63$ *мм*, а во втором $b_1 = 44$ *мм* и двойной базис $b_2 = 88$ *мм*.

Согласно формуле (1), отношение ошибок определения высот точек при условии равной точности определения разности продольных параллаксов в указанных выше случаях будет

$$\frac{m_{h_1}}{mh_2} = \frac{b_2}{b_1} = \frac{88}{63} = 1{,}4.$$

Таким образом, при обработке снимков по тройным перекрытиям при прочих равных условиях высоты будут определяться в 1,4 раза точнее, чем при обработке известным способом. Это обстоятельство может быть использовано непосредственно для повышения точности определения высот точек или же явиться основанием для повышения экономичности работ за счет уменьшения масштаба съемки.

Чтобы полнее оценить экономическую эффективность предлагаемого способа, рассмотрим: 1) выбор основных параметров съемки, предварительно установив величину ошибки разности продольных параллаксов; 2) требования, предъявляемые к расположению точек планового и высотного съемочных обоснований.

**Точность определения разности продольных параллаксов.** На точность определения высот точек модели влияют ошибки фотоизображения, измерения продольных параллаксов точек, элементов взаимного ориентирования, геодезического ориентирования стереомодели.

Определим величины ошибок точек по оси $Z$ в зависимости от первых трех указанных выше причин. Одно из решений поставленной задачи предложно Н. Г. Келлем [1], выводами которого и пользуемся.

Для выражения погрешности в высоте некоторой точки в результате влияния ошибок фотоизображения, при направлении оси абсцисс, перпендикулярной базису стереопары, Н. Г. Келль дает следующие формулы:

$$m_{z_1}^2 = \frac{2e^2 f_к^2}{b^2} + \frac{1}{2} e^2 \frac{f_к^2 x^2}{(f_к^2 + x^2)^2}, \qquad (2)$$

где $x$ — абсцисса точки;

$e$ — радиус кружка рассеивания, в пределах которого находится суммарная ошибка фотоизображения.

При $x = b = f_к$ второе слагаемое формулы (2) равно всего лишь $^1/_8\, e^2$ и им можно пренебречь, полагая

$$m_{z_1}^2 = \frac{2e^2 f_к^2}{b^2}. \qquad (3)$$

Ошибка некоторой точки в направлении оси $Z$ от влияния на нее ошибки измерения продольных параллаксов выразится формулой [1]

$$m_{z_2}^2 = \frac{f_к^2}{b^2} m_p^2. \qquad (4)$$

Зависимость ошибки точек от ошибок элементов взаимного ориентирования исследована Н. Г. Келлем при разработке метода базисной плоскости отстояний.

Принимая в нашем случае в качестве плоскости отстояния плоскость левого снимка и выполняя связанные с этим преобразования формулы Н. Г. Келля [1], получим окончательное выражение

$$m_{z_3}^2 = \frac{e_0^2 f_к^2}{r^2 b^2}\left[\left(1 + \frac{r^2}{f_к^2}\right)^2 y_2^2 + \left(1 + \frac{r^2}{b^2}\right) x^2\right] +$$

$$+ \frac{e_0^2 f_к^2 x^2}{4r^2 (f_к^2 + x^2)^2}\left[\left(1 + \frac{r^2}{f_к^2}\right)^2 x^2 + \left(1 + \frac{r^2}{b^2}\right) y_2^2\right], \qquad (5)$$

где $e_0$ — радиус круглого основания конусной ошибки, которая является ошибкой направления главного луча в пространстве вследствие ошибки взаимного ориентирования снимков;

$r$ — расстояние определяемой точки от главной точки снимка.

Пренебрегая вторым членом в формуле (5), который при $x = y = f_к = b$ в 16 раз меньше первого слагаемого, находим с достаточной точностью

$$m_{z_3}^2 = \frac{e_0^2 f_к^2}{r^2 b^2}\left[\left(1+\frac{r^2}{f_к^2}\right)^2 y_2^2 + \left(1+\frac{r^2}{b^2}\right)x^2\right]. \qquad (6)$$

Согласно формулам (3), (4) и (6) суммарная ошибка высоты точки

$$m_z^2 = m_{z_1}^2 + m_{z_2}^2 + m_{z_3}^2 = \left\{2e^2 + m_p^2 + \frac{e_0^2}{r^2}\left[\left(1+\frac{r^2}{f_к^2}\right)^2 y_2^2 + \left(1+\frac{r^2}{b^2}\right)x^2\right]\right\}\frac{f_к^2}{b^2}. \qquad (7)$$

Сравнивая формулу (7) с известной формулой

$$m_h^2 = \frac{f_к^2}{b^2} m_{\Delta p}^2, \qquad (8)$$

находим выражение для суммарной ошибки разности продольных параллаксов в масштабе снимка

$$m_{\Delta p} = \pm\sqrt{2e^2 + m_p^2 + \frac{e_0^2}{r^2}\left[\left(1+\frac{r^2}{f_к^2}\right)^2 y_2^2 + \left(1+\frac{r^2}{b^2}\right)x^2\right]}. \qquad (9)$$

Полагая

$$y_2 = x = 60\ мм;\quad b = 63\ мм;\quad r = \sqrt{y_2^2 + x^2},$$

находим для $f_к = 70$ и $100\ мм$

$$m_{\Delta p} = \sqrt{2e^2 + m_p^2 + 3e_0^2}$$

для $f_к = 200\ мм$

$$m_{\Delta p} = \sqrt{2e^2 + m_p^2 + 2e_0^2} \qquad (10)$$

Полагая $y_2 = x = 60\ мм$, $b = 88\ мм$, $e_0 = e_{0_1}$,

получим для $f_к = 70$ и $100\ мм$

$$m_{\Delta p} = \sqrt{2e^2 + m_p^2 + 2{,}4e_{0_1}^2}$$

для $f_к = 200\ мм$

$$m_{\Delta p} = \sqrt{2e^2 + m_p^2 + 1{,}7e_{0_1}^2} \qquad (10а)$$

Для сравнения значений $e_0$ и $e_{0_1}$ используем выражение

$$e_0^2 = f_к^2 (m_\alpha^2 + m_\omega^2), \qquad (11)$$

где $m_\alpha$ и $m_\omega$ — ошибки определения продольного и поперечного углов наклона снимков.

При обработке обычных стереопар [7]

$$m_\alpha = \frac{f_к}{2xb} m_q \sqrt{2},$$

$$m_\omega = \frac{f_к}{2x^2} m_q \sqrt{3},$$

где $m_q$ — ошибка измерения поперечного параллакса.

При обработке стереопар с использованием тройного перекрытия формула для значения $m_\alpha$ следующая

$$m_{\alpha_1} = \frac{f_к}{2xb_1} m_q \sqrt{5}.^*$$

Пользуясь приведенными формулами, находим

$$\frac{e_0^2}{e_{0_1}^2} = \frac{b_1^2 (2x^2 + 3b^2)}{b^2 (5x^2 + 3b_1^2)}.$$

При $x = 60$ *мм*, $b = 63$ *мм* и $b_1 = 88$ *мм* получим

$$e_0^2 : e_{0_1}^2 = 0{,}9.$$

По имеющимся данным [2] ошибки изображения $e$ колеблются в пределах $\pm 0{,}014$—$0{,}018$ *мм* для $f_к = 200$ *мм* и $\pm 0{,}015$—$0{,}022$ *мм* для $f_к = 70$ и $100$ *мм*.

Ошибка измерения параллакса на топографическом стереометре, по данным ЦНИИГАиК, составляет: при измерении по снимкам, полученным АФА с $f_к = 70$ и $100$ *мм*, от $\pm 0{,}016$ до $\pm 0{,}027$ *мм*, с $f_к = 200$ *мм* — от $\pm 0{,}08$ до $\pm 0{,}014$ *мм*.

Так как ошибка взаимного ориентирования снимков является функцией ошибок измерения, можем с некоторым приближением принять [2]

$$e_0 = m_{0p} = \frac{m_p}{\sqrt{2}}. \qquad (11а)$$

Заменяя в формулах (10) и (10а) $e_{0_1}^2$ отношением $\frac{e_0^2}{0{,}9}$ и вводя в них вместо $e_0$ его значение из (11а), получим:

1) при обработке обычных стереопар с $b = 63$ *мм*:

для $f_к = 100$ и $70$ *мм*, для $f_к = 200$ *мм*

$$\left.\begin{aligned} m_{\Delta p} &= \sqrt{2e^2 + 2{,}5m_p^2} \\ m_{\Delta p} &= \sqrt{2e^2 + 2m_p^2} \end{aligned}\right\}; \qquad (12)$$

2) при обработке тройных перекрытий снимков с базисом $b = 88$ *мм*:

для $f_к = 100$ и $70$ *мм*, для $f_к = 200$ *мм*

$$\left.\begin{aligned} m_{\Delta p} &= \sqrt{2e^2 + 2{,}3m_p^2} \\ m_{\Delta p} &= \sqrt{2e^2 + 2m_p^2} \end{aligned}\right\}. \qquad (13)$$

Таким образом, при обработке снимков по тройным перекрытиям и обычным способом величины ошибок $m_{\Delta p}$ практически равны между собой.

По формулам (12) произведен подсчет ошибок разности продольных параллаксов, которые колеблются для $f_к = 100$ и $70$ *мм* от $\pm 0{,}033$ до $\pm 0{,}053$ *мм*, для $f_к = 200$ *мм* от $\pm 0{,}023$ до $\pm 0{,}035$ *мм*.

При дальнейших расчетах примем ошибки разности продольных параллаксов равными:

для $f_к = 100$ и $70$ *мм*,

$m_{\Delta p} = \pm 0{,}040$—$0{,}050$ *мм*;

для $f_к = 200$ *мм*,

$m_{\Delta p} = \pm 0{,}030$ *мм*.

---

* Вывод формулы см. ниже.

**Выбор масштаба фотографирования и фокусного расстояния камеры АФА при создании планов в масштабах 1 : 5000 и 1 : 2000.** В табл. 2 даны возможные масштабы фотографирования для создания планов в масштабах 1 : 5000 и 1 : 2000, вычисленные по формуле

$$m = \frac{m_h \cdot b}{f_к \cdot m_{\Delta p}}, \qquad (14)$$

где $m$ — знаменатель масштаба съемки;

$m_h$ — средняя квадратическая ошибка определения превышений.

Таблица 2

**Возможные масштабы фотографирования**

| Сечение рельефа, *м* | Средняя квадратическая ошибка $m_h$, *м* | Масштабы фотографирования при обработке снимков | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | обычным способом, $b_1 = 63$ *мм* и $f_к$, равном | | | по тройным перекрытиям, $b_2 = 88$ *мм* и $f_к$, равном | | |
| | | 70 *мм* | 100 *мм* | 200 *мм* | 70 *мм* | 100 *мм* | 200 *мм* |
| 0,50 | ± 0,12 | 1 : 2400 | 1 : 1600 | 1 : 1260 | 1 : 3400 | 1 : 2200 | 1 : 1760 |
| 1 | 0,17 | 1 : 3400 | 1 : 2400 | 1 : 1700 | 1 : 4700 | 1 : 3300 | 1 : 2400 |
| 1 | 0,25 | 1 : 5000 | 1 : 3500 | 1 : 2600 | 1 : 7000 | 1 : 4900 | 1 : 3600 |
| 1 | 0,35 | 1 : 7000 | 1 : 4900 | 1 : 3700 | 1 : 9800 | 1 : 6800 | 1 : 5100 |
| 2 | 0,50 | 1 : 10000 | 1 : 7000 | 1 : 5200 | 1 : 14000 | 1 : 9800 | 1 : 7200 |
| 2 | 0,65 | 1 : 13000 | 1 : 8200 | 1 : 6800 | 1 : 18000 | 1 : 11500 | 1 : 9500 |
| 5 | 1,70 | | 1 : 23900 | 1 : 17800 | | 1 : 33000 | 1 : 25000 |

При съемке равнинных районов следует применять АФА с $f_к = 70$ *мм*, при съемке холмистых районов — АФА с $f = 70$ и 100 *мм* и при съемке горных районов — АФА с большим фокусным расстоянием.

Разрешающая способность современных объективов, эмульсионного слоя и аэроснимков допускает увеличение изображений в 2—3 раза [2]. Поэтому для получения планов в масштабах 1 : 5000 и 1 : 2000 на топографическом стереометре масштаб залета может быть в 2 раза мельче масштаба составляемого плана. В табл. 3 приведены масштабы фотографирования и типы аэрофотоаппаратов, рекомендуемые для создания планов в масштабах 1 : 5000 и 1 : 2000.

При сечении рельефа через 1 и 2 *м* (масштаб плана 1 : 2000) в холмистых и горных районах и при сечении через 2 *м* (масштаб плана 1 : 5000) в горных районах точность стереоскопической рисовки рельефа обеспечивается более мелкими масштабами залета, чем указанные в табл. 3. Поэтому получается излишний запас точности, который позволяет производить разреженную высотную привязку с последующим сгущением высот. Сгущение высот можно выполнять по снимкам основного или специального залетов [3] более мелкого масштаба (табл. 4).

**Требования к расположению точек планового съемочного обоснования.** Рассмотрим этот вопрос для случаев развития плоской фототриангуляции, фотополигонометрии и пространственной фототриангуляции на приборах универсального типа.

Погрешность положения точки в наиболее слабом месте сети плоской фототриангуляции выражается формулой [4]

$$m = \pm 0{,}25 R b m_\varepsilon \sqrt{n^3 + 11{,}3n + 34}, \qquad (15)$$

где $R$ — коэффициент редуцирования;

$m_\varepsilon$ — ошибка направления на снимке;

$n$ — количество базисов между точками съемочного обоснования.

Таблица 3

**Типы аэрофотоаппаратов и масштабы фотографирования**

| Сечение рельефа, м | Средняя квадратическая ошибка высоты $m_h$, м | Предельная ошибка высоты $m_h$, м | Фокусное расстояние $f_к$, мм | Масштабы фотографирования при обработке снимков | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | обычным способом | по тройным перекрытиям | |
| | | | | | на топографическом стереометре | на стереопланиграфе |
| **Планы масштаба 1:5000** | | | | | | |
| 0,5 | ±0,12 | ±0,25 | 70 | 1:2400 | 1:3400 | 1:3400 |
| 1 | 0,17 | 0,34 | 70 | 1:3400 | 1:4700 | 1:4700 |
| 1 | 0,25 | 0,50 | 70 | 1:5000 | 1:7000 | 1:7000 |
| 1 | 0,35 | 0,70 | 100 | 1:4900 | 1:6800 | 1:6800 |
| 2 | 0,50 | 1,00 | 70 | 1:10000 | 1:14000 | 1:14000 |
| 2 | 0,65 | 1,30 | 100 | 1:8200 | 1:11500 | 1:11500 |
| **Планы масштаба 1:2000** | | | | | | |
| 0,5 | ±0,12 | 0,25 | 70 | 1:2400 | 1:3400 | 1:3400 |
| 1 | 0,17 | 0,34 | 70 | 1:3400 | 1:4000 | 1:4700 |
| 1 | 0,25 | 0,50 | 100 | 1:3500 | 1:4000 | 1:4900 |
| 1 | 0,35 | 0,70 | 100 | 1:4000 | 1:4000 | 1:6000 |
| 2 | 0,65 | 1,30 | 200 | 1:4000 | 1:4000 | 1:6000 |

Таблица 4

**Рекомендуемые масштабы специального залета**

| Сечение рельефа, м | Средняя квадратическая ошибка $m_h$, м | Фокусное расстояние $f_к$, мм | Мелкомасштабный залет для планов масштаба | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1:2000 и при обработке снимков | | 1:5000 и при обработке снимков | |
| | | | обычным способом | по тройным перекрытиям | обычным способом | по тройным перекрытиям |
| 1 | ± 0,25 | 100 | — | 1:6500 | — | — |
| 1 | 0,35 | 100 | 1:6500 | 1:9500 | — | — |
| 2 | 0,50 | 70 | — | — | — | 1:19500 |
| 2 | 0,65 | 100 | — | — | — | 1:16000 |
| 2 | 0,65 | 200 | 1:9500 | 1:13000 | — | — |

Согласно существующим требованиям, предъявляемым к планам масштабов 1:5000 и 1:2000, ошибка в положении контуров местности относительно ближайших точек съемочного обоснования не должна превышать 0,4 *мм* на плане [10].

Приняв на этом основании $m = \pm 0{,}4$ *мм* и $m_\varepsilon = \pm 5'$, нами найдена допустимая протяженность сети фототриангуляции для различных значений $R$ и $b$.

Ошибки положения точки в середине фотополигонометрической сети после ее вставки по опорным точкам на концах определяются формулой [5]

$$M = \frac{R}{\sqrt{2}} \sqrt{0{,}25 m_b^2 (n + 3{,}2) + 0{,}04 b^2 \frac{m_\varepsilon^2}{\rho^2} (n^3 + 5{,}5n) + 4{,}22 b^2 \frac{m_\varepsilon'^2}{\rho^2}}, \qquad (16)$$

где $m_\varepsilon$ — ошибка стереоскопического измерения углов между базисами, равная $\pm 2',2$;

$m_\varepsilon'$ — ошибка направлений при графическом их проведении, равная $\pm 5',0$;

$n$ — количество базисов в сети;

$m_b$ — ошибка определения длины базиса в масштабе снимка, равная

$$m_b = \sqrt{m_{b'}^2 + m_{b_д}^2 + m_{b_н}^2 + m_{b_\tau}^2 + m_b'^2},$$

где $m_b'$ — остаточная поправка базиса второго порядка в зависимости от продольных углов наклона, равная $\pm 0{,}03$—$0{,}05$ *мм*;

$m_{b_д}$ — случайная деформация снимка, равная $\pm 0{,}03$ *мм*;

$m_{b_\tau}$ — ошибка, обусловленная погрешностью определения элементов взаимного ориентирования, определяемая по формуле

$$m_{b_\tau} = \frac{b^2}{f_к \cdot \rho} m_\tau;$$

$$m_\tau \approx \pm 2';$$

$m_{b'}$ — точность стереоскопического измерения базисов, характеризующаяся величиной $\pm 0{,}03$ *мм*;

$m_{b_н}$ — ошибка базиса в масштабе съемки, вызываемая погрешностью значения высоты фотографирования, равная

$$m_{b_н} = \frac{b}{H} m_н,$$

где $m_н$ — погрешность высоты фотографирования, равная $\pm 5$ *м*.

Таблица 5

**Ошибки точек фотополигонометрической сети различной протяженности**

| Масштаб залета 1 : $m$ | Ошибка высоты фотографирования $m_H$, *м* | Высота фотографирования $H$, *м* | Фокусное расстояние камеры $f_к$, *мм* | Ошибка базиса $m_b$, *мм* | Ошибка точек сети при различной протяженности сети в базисах | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 3 | 4 | 5 |
| 1 : 4000 | ±5 | 280 | 70 | ±0,96 | 1,20 | — | — |
| 1 : 4000 | 5 | 400 | 100 | 0,67 | 1,16 | — | — |
| 1 : 4000 | 5 | 800 | 200 | 0,33 | 0,67 | — | — |
| 1 : 7500 | 5 | 525 | 70 | 0,39 | 0,54 | — | — |
| 1 : 7500 | 5 | 750 | 100 | 0,27 | 0,35 | — | — |
| 1 : 7500 | 5 | 1500 | 200 | 0,15 | 0,18 | 0,23 | 0,28 |
| 1 : 10000 | 5 | 700 | 70 | 0,90 | 1,27 | — | — |
| 1 : 10000 | 5 | 1000 | 100 | 0,36 | 0,50 | — | — |
| 1 : 10000 | 5 | 2000 | 200 | 0,18 | 0,31 | 0,37 | 0,39 |

На основании вышеприведенных формул составлена табл. 5 значений средних квадратических ошибок при различной протяженности сети.

Из табл. 5 видно, что сгущение плановой основы способом фотополигонометрии целесообразно лишь при $R = 1{,}5$ и съемке АФА с $f_к = 200$ *мм*.

Ошибка $m$ точки в середине плановой сети при сгущении ее на приборах универсального типа после редуцирования и увязки выражается формулой [6]

$$m = \pm 0{,}10 R m_s \sqrt{n^3 + 2n + 15}, \qquad (17)$$

где $R$ — коэффициент редуцирования;
$n$ — число базисов в сети между опорными точками;
$m_s$ — ошибка одной передачи базиса в масштабе снимка, равная

$$m_s = \pm \sqrt{m_{bx}^2 + m_{by}^2},$$

где $m_{by}$ — продольная ошибка одной передачи базиса в масштабе аэроснимка, определяемая по формуле [6]

$$m_{by} = \pm \frac{b\left[1 + \left(\frac{f_к}{b}\right)^2\right]}{2x} m_q,$$

$m_{bx}$ — поперечная ошибка одной передачи базиса в масштабе аэроснимка, равная $\pm 1{,}5 m_q$ [6].

При сгущении сети на мультиплексе [6] ошибки $m_q$ при $f_к = 200$ *мм* равны $\pm 0{,}03$ *мм*, при $f_к = 100$ и 70 *мм* — $\pm 0{,}05$ *мм*.

При сгущении сети на стереопланиграфе $m_q$ равны при $f_к = 200$ *мм* $\pm 0{,}02$ *мм*; при $f_к = 100$ и 70 *мм* — $\pm 0{,}03$ *мм*.

По формуле (17) были предрассчитаны величины средних квадратических ошибок в положении точки в середине сети, на основании которых составлена табл. 6, где показана протяженность плановых сетей при сгущении их различными способами.

Таблица 6

**Расстояния между опознаками по маршруту при сгущении плановой опорной сети различными методами**

| Способ сгущения и фокусное расстояние камеры, *мм* | Протяженность сетей в базисах при создании планов | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | обычным способом, $b_1 = 63$ *мм* и $R$, равном | | | по тройным перекрытиям, $b_2 = 44$ *мм* и $R$, равном | | | | |
| | 1 | 1,5 | 2 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| Графическая фототриангуляция . . . . . | 6 | 4 | 2 | 8 | 5,4 | 4 | 3 | 2 |
| Сгущение на мультиплексе . . . . . | | | | | | | | |
| $f_к = 200$ | 6 | 4,6 | 3,7 | 8 | 6 | 4 | 4 | 3 |
| $f_к = 100$ | 9 | 7 | 6 | 10,8 | 8 | 6,5 | 5,8 | 5 |
| $f_к = 70$ | 11 | 8 | 6,5 | 11,5 | 8,7 | 7 | 6 | 5,6 |
| Сгущение на стереопланиграфе | | | | | | | | |
| $f_к = 200$ | 7 | 3 | 4,3 | 10 | 7 | 6 | 5 | 4,5 |
| $f_к = 100$ | 9 | 9 | 7,3 | 13 | 10 | 8,4 | 7 | 6,5 |
| $f_к = 70$ | 14 | 12 | 9 | 18 | 13 | 11,5 | 10 | 9 |

Из табл. 6 видно, что при создании планов в масштабах 1 : 5000 и 1 : 2000 целесообразно их плановую основу сгущать на универсальных приборах.

В районах с пологим рельефом следует применять способ графической фототриангуляции, используя в нужных случаях в качестве центральных точек точки надира.

**Требования к расположению точек высотного съемочного обоснования при обработке тройных перекрытий аэроснимков.** Учитывая результаты предрасчета ожидаемых высотных ошибок при создании плана дифференцированным способом, можно сказать, что необходимую точность высотной части планов в масштабе 1 : 5000 с сечением рельефа

через 0,5 и 1 *м* и в масштабе 1 : 2000 с сечением рельефа через 0,5 и 1 *м* в равнинных районах можно достигнуть только при сгущении высот в пределах одиночной модели. Поэтому привязка должна быть сплошной, с определением шести высотных точек на стереопару при удовлетворительном качестве фотоснимков и четырех высотных точек на стереопару при отличных и хороших фотоснимках. Во всех остальных случаях можно производить фотограмметрическое сгущение опорной высотной сети по снимкам основного или специального мелкомасштабного залета, если фотографирование производилось в двух масштабах.

При создании планов универсальным способом рекомендуемые масштабы (см. табл. 3) могут обеспечить требуемую точность высотной части планов в масштабе 1 : 5000 и 1 : 2000 (в равнинных и холмистых районах) только при сгущении высот в пределах одной одиночной модели. В этих случаях привязка должна быть сплошной — четыре высотные точки на стереопару (три необходимых и одна контрольная).

Примерная схема расположения высотных опознаков показана на рис. 3.

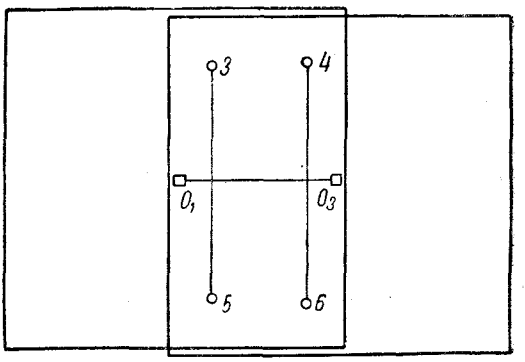



Рис. 3. Схема расположения высотных опознаков при создании плана на стереопланиграфе

В случае создания плана масштаба 1 : 2000 с сечением рельефа через 1 и 2 *м* в горных районах можно производить фотограмметрическое сгущение опорной высотной сети.

При сгущении высотной основы по мелкомасштабным снимкам каждая стереопара мелкого масштаба с двойным базисом должна обеспечиваться шестью высотными опознаками, по которым эти снимки должны ориентироваться на топографическом стереометре. Точки, необходимые для ориентирования крупномасштабных снимков, следует определять на стереометре путем набора пикетов на соответствующих точках мелкомасштабных снимков.

При сгущении высотной основы построением сетей пространственной фототриангуляции нами принимается ориентирование сети по 5 точкам. Результаты предрасчета ожидаемых ошибок высот точек фототриангуляционной сети, построенной по стереопарам *1—3*, *2—4*, *3—5*, приведены в табл. 7.

Таблица 7

**Расстояния между опознаками по маршруту при сгущении высотной опорной сети способом пространственной фототриангуляции**

| Масштаб плана $1 : m_0$ | Масштаб фотографирования $1 : m$ | Фокусное расстояние $f_к$, *мм* | Сечение рельефа, *м* | Допустимая средняя квадратическая ошибка высот $m_h$, *м* | Величина суммарной ошибки $m$ для различного числа базисов $n$ | | | | Максимальная протяженность сети в базисах ($b = 44$ *мм*) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 1 : 2000 | 1 : 4000 | 100 | 1,0 | ±0,35 | — | 0,34 | — | — | 5 |
| 1 : 2000 | 1 : 4000 | 200 | 2,0 | 0,65 | — | 0,55 | 0,62 | — | 6 |
| 1 : 5000 | 1 : 10000 | 70 | 1,0 | 0,50 | 0,50 | — | — | — | 4 |
| 1 : 5000 | 1 : 10000 | 100 | 2,0 | 0,65 | 0,71 | — | — | — | 3 |
| 1 : 5000 | 1 : 10000 | 200 | 5,0 | 1,70 | — | 1,36 | 1,50 | 1,75 | 6 |

При наличии снимков только основного залета сгущение высот можно производить аналитически, определяя в поле высоты лишь 3—4 точек.

Расположение точек, необходимых для ориентирования, должно быть всегда постоянным, но не обычно принятым.

Высотные опознаки должны находиться посередине четвертного перекрытия, тогда точки, обслуживающие стереопару *1—3*, будут обслуживать и стереопару *2—4* (рис. 4).

**Эффективность создания плана по тройным перекрытиям.** Необходимое число снимков для покрытия одной и той же площади при про-

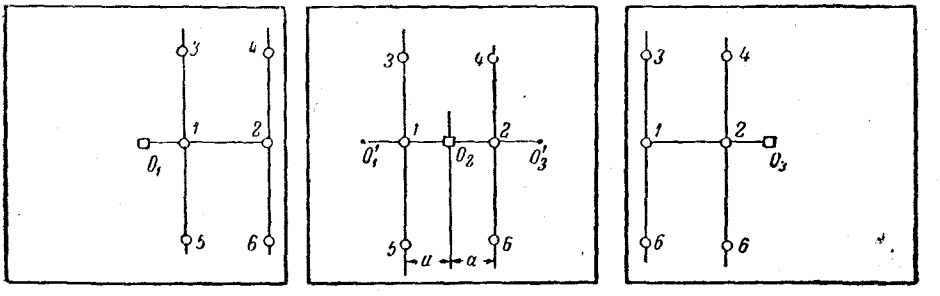



Рис. 4. Схема расположения высотных опознаков при создании плана дифференцированным способом

дольном перекрытии в 65% и обычной обработке и при перекрытии в 76% и обработке тройных перекрытий определяется по формулам

$$M_1 = \frac{NK}{b_1 d m_1^2}; \qquad M_2 = \frac{NK}{b_2 d m_2^2},$$

где $M_1$ — количество снимков при обычной обработке;
$M_2$ — количество снимков при обработке тройных перекрытий;
$N$ — длина маршрута;
$K$ — ширина участка;
$d$ — расстояние между съемочными маршрутами;
$b_1$ и $b_2$ — значения базисов фотографирования;
$m_1$ и $m_2$ — знаменатели масштабов съемки.

Отсюда

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{b_2 m_2^2}{b_1 m_1^2}. \tag{18}$$

Необходимое число снимков и плановых опознаков (в процентах) при двух вариантах создания плана приведено в табл. 8 и 9. Отношение необходимого числа плановых опознаков равно

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{M_1 n_2}{M_2 n_1} = \frac{b_2 m_2^2 n_2}{b_1 m_1^2 n_1}, \tag{19}$$

где $n_1$ и $n_2$ — число базисов в сетях, приведенное в табл. 6.

Расчет необходимого числа высотных опознаков произведен для одинаковой площади при двух вариантах создания плана. При сплошной высотной привязке на каждую стереопару принималось 4—6 высотных точек.

Таблица 8

**Сводная таблица основных показателей при создании плана дифференцированным методом при обработке тройных перекрытий снимков** (продольное перекрытие 76%)*

| Сечение рельефа, м | Средняя квадратическая ошибка высоты $m_h$, м | Фокусное расстояние $f_к$, мм | Масштабы фотографирования при обработке снимков | | | | Сгущение высот по снимкам основного масштаба | | | Сгущение высот по снимкам вспомогательного залета | | Число плановых опознаков при сгущении способом графической фототриангуляции | Стоимость залетов |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | обычным способом | | по тройным перекрытиям | | число снимков | число высотных опознаков при сгущении | | число снимков | число высотных опознаков | | |
| | | | основной | вспомогательный | основной | вспомогательный | | аналитическим путем | путем пространственной фототриангуляции | | | | |
| **Масштаб плана 1:5000** | | | | | | | | | | | | | |
| 0,5 | ±0,12 | 70 | 1:2400 | — | 1:3400 | — | 70 | 70 | — | — | — | 60 | 67 |
| 1,0 | 0,17 | 70 | 1:3400 | — | 1:4700 | — | 70 | 70 | — | — | — | 64 | 57 |
| 1,0 | 0,25 | 70 | 1:5000 | — | 1:7000 | — | 70 | 70 | — | — | — | 70 | 56 |
| 1,0 | 0,35 | 100 | 1:4900 | — | 1:6800 | — | 70 | 70 | — | — | — | 70 | 55 |
| 2,0 | 0,50 | 70 | 1:10000 | — | 1:10000 | 1:19500 | 140 | 70 | 28 | 40 | 40 | 70 | 100 |
| 2,0 | 0,65 | 100 | 1:8200 | — | 1:10000 | 1:16000 | 90 | 60 | 30 | 36 | 36 | 70 | 65 |
| **Масштаб плана 1:2000** | | | | | | | | | | | | | |
| 0,5 | 0,12 | 70 | 1:2400 | — | 1:3400 | — | 70 | 70 | — | — | — | 80 | 68 |
| 1 | 0,17 | 70 | 1:3400 | — | 1:4000 | 1:6500 | 105 | 70 | — | — | — | 100 | 75 |
| 1 | 0,25 | 100 | 1:3500 | — | 1:4000 | 1:6800 | 105 | 70 | 63 | 37 | 37 | 100 | 75 |
| 1 | 0,35 | 100 | 1:4000 | 1:6500 | 1:4000 | 1:9500 | 140 | 100 | 110 | 70 | 70 | 70 | 100 |
| 2,0 | 0,65 | 200 | 1:4000 | 1:9500 | 1:4000 | 1:13000 | 140 | 100 | 110 | 77 | 47 | 70 | 100 |

* Число снимков и опознаков, а также стоимость залетов при обработке снимков по тройным перекрытиям даны в процентах по отношению к соответствующим величинам при обычной обработке снимков, принятых за 100%.

Протяженность сетей фототриангуляции дана в табл. 7. В каждой одиночной сети, ориентируемой по пяти точкам, в поле определяются высоты только трех точек. Число опознаков $k$ на один снимок вычисляется по формуле

$$k = \frac{3}{c},$$

где $c$ — протяженность сети фототриангуляции в базисах.

Необходимое число высотных опознаков при сгущении по снимкам мелкого вспомогательного залета и основного залета приведено в табл. 8 и 9.

Эффективность создания плана по тройным перекрытиям будет особенно очевидной, если учесть, что при этом сокращается число маршрутов на 30%

В табл. 8 и 9 приводятся данные произведенного нами сравнения стоимости залетов на 1 $км^2$ по существующим расценкам в первом и втором вариантах.[1]

Таблица 9

**Сводная таблица основных показателей при создании плана на стереопланиграфе при обработке тройных перекрытий снимков**
(продольное перекрытие 76%)[2]

| Сечение рельефа, $м$ | Средняя квадратическая ошибка высоты $m_h$, $м$ | Фокусное расстояние $f_к$, $мм$ | Масштабы фотографирования при обработке снимков | | Число снимков | Число высотных опознаков | Число плановых опознаков | Стоимость залетов |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | обычным способом | по тройным перекрытиям | | | | |
| | | | Масштаб плана 1 : 5000 | | | | | |
| 0,5 | ±0,12 | 70 | 1 : 2400 | 1 : 3400 | 70 | 70 | 60 | 68 |
| 1,0 | 0,17 | 70 | 1 : 3400 | 1 : 4700 | 70 | 70 | 60 | 57 |
| 1,0 | 0,25 | 70 | 1 : 5000 | 1 : 7000 | 70 | 70 | 70 | 57 |
| 1,0 | 0,35 | 100 | 1 : 4900 | 1 : 6800 | 70 | 70 | 70 | 55 |
| 2,0 | 0,50 | 70 | 1 : 10000 | 1 : 14000 | 70 | 70 | 70 | 54 |
| 2,0 | 0,65 | 100 | 1 : 8200 | 1 : 11500 | 70 | 70 | 77 | 50 |
| | | | Масштаб плана 1 : 2000 | | | | | |
| 0,5 | 0,12 | 70 | 1 : 2400 | 1 : 3400 | 70 | 70 | 70 | 68 |
| 1,0 | 0,17 | 70 | 1 : 3400 | 1 : 4700 | 70 | 70 | 70 | 57 |
| 1,0 | 0,25 | 100 | 1 : 3500 | 1 : 4900 | 70 | 70 | 70 | 52 |
| 1,0 | 0,35 | 100 | 1 : 4900 | 1 : 6000 | 70 | 70 | 70 | 75 |
| 2,0 | 0,65 | 200 | 1 : 6000 | 1 : 6000 | 140 | 100 | 94 | 100 |

Анализируя данные табл. 8, можно сделать следующие выводы:

1. План в масштабе 1 : 5000 с сечением рельефа через 0,5 и 1 $м$ целесообразно создавать по стереопарам, составленным через снимок при продольном перекрытии, равном 76%. В этих случаях число снимков, а следовательно, и объем камеральных работ, уменьшаются в 1,4 раза по сравнению с объемом при создании плана обычным путем.

[1] См. приказ № 4 ГУГВФ от 6 января 1955 г.

[2] Число снимков и опознаков, а также стоимость залетов при обработке снимков по тройным перекрытиям даны в процентах по отношению к соответствующим величинам при обычной обработке снимков, принятых за 100%.

Объем полевых работ по высотной и плановой привязке сократится в 1,4—1,6 раза. Во столько же раз уменьшится и стоимость залета.

2. При создании планов в масштабе 1 : 5000 с сечением рельефа через 2 *м* объем камеральных работ по сравнению с объемом при обычной обработке не изменится при съемке АФА с $f_к = 100$ *мм* или возрастет в 1,4 раза при съемке АФА с $f_к = 70$ *мм*. Применение разреженной высотной привязки уменьшит число высотных опознаков на 30—40% при аналитическом сгущении и на 60% при сгущении способом пространственной фототриангуляции или при сгущении по мелкомасштабным снимкам. Объем плановой привязки уменьшится в 1,2—1,5 раза, стоимость залетов не уменьшится.

3. Создание планов в масштабе 1 : 2000 с сечением рельефа через 0,5 и 1 *м* в равнинных и холмистых районах целесообразно выполнять по тройным перекрытиям. В этом случае объем камеральных работ и число необходимых плановых опознаков практически почти не изменятся, число же необходимых высотных опознаков и стоимость залетов уменьшатся в 1,4 раза.

4. Данные табл. 9 показывают, что при создании планов в масштабах 1 : 2000 и 1 : 5000 по тройным перекрытиям на стереопланиграфе объем полевых и камеральных работ уменьшится в 1,4 раза по сравнению с объемом работ при обычной обработке снимков. Стоимость залетов уменьшится в 1,4—1,6 раза.

5. Применение тройных перекрытий для создания планов в масштабе 1 : 10000 и мельче, по нашему мнению, уменьшит объем камеральных и полевых работ в 1,4—1,5 раза. Значительно снизится и стоимость залетов.

6. Создание планов в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 5000 с сечением рельефа через 5 *м* и в масштабе 1 : 2000 с сечением рельефа через 2 *м* по тройным перекрытиям нецелесообразно.

## Камеральные фотограмметрические работы при создании плана по тройным перекрытиям аэроснимков дифференцированным способом

Процесс составления плана по тройным перекрытиям аналогичен процессу составления плана дифференцированным методом, применяемым в настоящее время. В то же время обработка снимков по тройным перекрытиям имеет ряд существенных особенностей, требующих пояснения. Не излагая технологии создания плана, поясним сущность этих особенностей.

**Определение элементов взаимного ориентирования снимков.** Определение элементов взаимного ориентирования рекомендуем производить по стереопарам, составленным через снимок. В этом случае нельзя выбрать стандартно расположенные точки на прямых, проходящих через главные точки левого и правого снимков, так как тройное перекрытие будет всего лишь около 50%.

Выбранные на снимке шесть точек должны занимать положение, указанное на рис. 5, и иметь следующие координаты:

точка *1* $x = 0$, $y = b_1$,
точка *2* $x = 0$, $y = b_1 + b_0$,
точка *3* $x = +a$, $y = b_1$,
точка *4* $x = +a$, $y = b_1 + b_0$,
точка *5* $x = -a$, $y = b_1$,
точка *6* $x = -a$, $y = b_1 + b_0$,

$$b_1 + b_0 + b_2 = b.$$

Определение элементов взаимного ориентирования снимков производится по формулам, выведенным для обработки стереопары с продольным перекрытием менее 50% [8].

В этих формулах по сравнению с формулами для определения элементов взаимного ориентирования по стандартным точкам [7] изменились лишь выражения для продольных углов наклона снимков, которые приняли следующий вид:

$$\alpha' = \frac{f_к \cdot \rho'}{2abb_0}[(b_0 + b_2)(q_6 - q_4) - b_2(q_5 - q_3)],$$
$$\alpha = \frac{f_к \cdot \rho'}{2abb_0}[(b_0 + b_1)(q_5 - q_3) - b_1(q_6 - q_4)], \qquad (20)$$

откуда

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha' = \frac{f_к \cdot \rho}{2ab_0}[(q_5 - q_3) - (q_6 - q_4)].$$

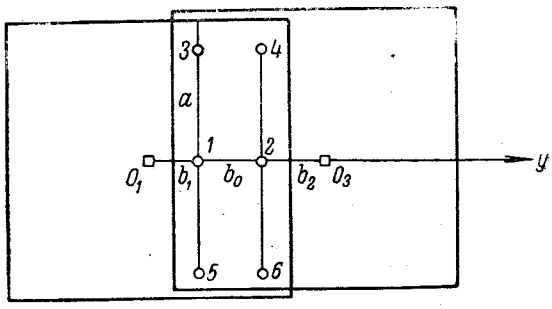



Рис. 5. Схема расположения ориентирных точек при обработке тройных перекрытий снимков

Для определения погрешности продольных углов наклона снимков продифференцируем формулу (20) по $q_i$, приняв

$$dq_3 = dq_4 = dq_5 = dq_6.$$

Предположив, что $b_1 = b_2$, и переходя к средним квадратическим ошибкам, получим

$$m'_\alpha = m_\alpha = \frac{f_к\sqrt{2}\,\rho'}{2abb_0} m_q \sqrt{(b_0 + b_1)^2 + b_1^2}. \qquad (21)$$

Приняв

$$b_0 = \frac{b}{2},$$

получим

$$m_{\alpha'} = m_\alpha = \frac{f_к \rho'}{2ab} m_q \sqrt{5}. \qquad (22)$$

Следовательно, при $2b_0 = b$,

$$m_{\Delta\alpha} = \frac{f_к \rho'}{ab_0} m_q = \frac{f_к \rho'}{ab} 2m_q. \qquad (22а)$$

Из формулы (21) можно получить выражение ошибки продольного угла наклона при продольном перекрытии снимков больше 50%.

Принимая $b_1 = b_2 = 0$ и $b_0 = b'$, получим

$$m_{\alpha_1} = \frac{f_к \cdot \rho'}{2ab'} m_q \sqrt{2}$$

и взаимный продольный угол наклона, равный

$$m_{\Delta\alpha_1} = \frac{f_к \cdot \rho'}{ab'} m_{q_1}. \qquad (22б)$$

При условии $b = 88$ *мм* и $b' = 63$ *мм*

$$m_{\Delta\alpha} = 1{,}4\ m_{\Delta\alpha_1}.$$

Определять элементы взаимного ориентирования стереопар, составленных через снимок, можно и другим способом, т. е. суммируя разности взаимных углов наклона стереопар, составленных из соседних снимков. Но этот способ принять в нашем случае нецелесообразно, так как точность определения взаимных продольных углов наклона оказывается в 1,4 раза ниже, чем в первом случае.

**Сгущение плановой основы способом графической фототриангуляции.** Если за вершину пучка направлений принять условную точку надира, то при работе на тройных перекрытиях нужно различать два случая сгущения плановой основы: а) когда элементы взаимного ориентирования получают первым из разобранных выше способов; б) когда эти элементы определяют вторым способом.

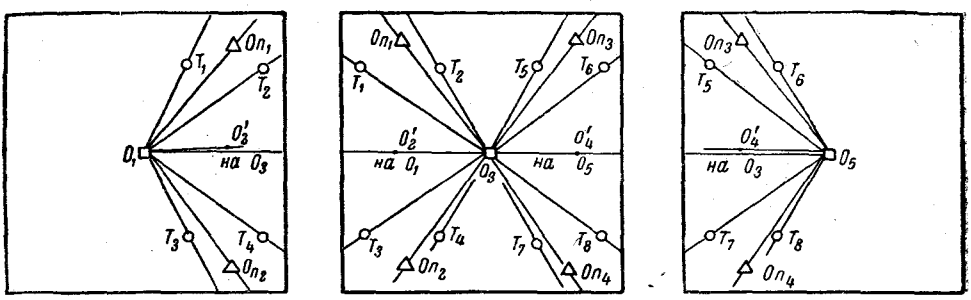



Рис. 6. Схема монтажа фототриангуляционной сети, составленной из нечетных снимков

Во втором случае условные углы наклона определяются в одной условной плоскости и поэтому процесс построения сетей плановой фототриангуляции обычен. При определении элементов взаимного ориентирования первым способом необходимо составлять два журнала вычисления условных углов наклона снимков и координат точек надира: один — для снимков *1, 3, 5, 7* и т. д., другой — для снимков *2, 4, 6, 8*.

Так как две системы снимков ничем не связаны между собой (имеем две независимые условные плоскости), то проводить фототриангуляцию обычным способом здесь не представляется возможным.

При необходимости построения сети в пределах двух базисов следует пользоваться только четными или только нечетными снимками. Продольное перекрытие между нечетными снимками равно 52%, а тройное перекрытие практически отсутствует. Поэтому можно пользоваться лишь связующими точками, которыми при построении сети будут плановые опознаки, расположенные друг от друга на расстоянии двух нормальных базисов. Они должны выбираться примерно на перпендикуляре к линии базисов в главных точках четных снимков.

Схема монтажа фототриангуляционной сети по нечетным снимкам показана на рис. 6. Для получения на основе центров четных снимков последние подстраивают к сети (рис. 7).

Если сеть необходимо строить в пределах нескольких базисов, то дополнительно нужно определить элементы взаимного ориентирования стереопары *1—2* для связи двух систем. Тогда условные продольные

углы наклона для четных и нечетных снимков можно вычислить в единой системе, а координаты условных точек надира вычислить относительно одной условной плоскости.

**Ориентирование снимков на стереометре.** При определении базиса фотографирования на основе планшета должно быть измерено расстояние между центрами. Результат этого измерения нужно умножить на отношение $\frac{m_0}{m}$ (где $m_0$ — знаменатель масштаба основы; $m$ — знаменатель масштаба первого снимка на высоте точки, принимаемой при ориентировании за начальную).

При работе на топографическом стереометре правый снимок стереопары *1—3* нужно установить в кассете прибора так, чтобы его главная точка совпала с центром вращения кассеты. Левый снимок расположить по центру нельзя, так как нехватает параллактического винта. Его нужно передвинуть влево по начальному направлению. При таком перемещении изменится лишь отсчет по параллактическому винту, разность же параллаксов останется неизменной.

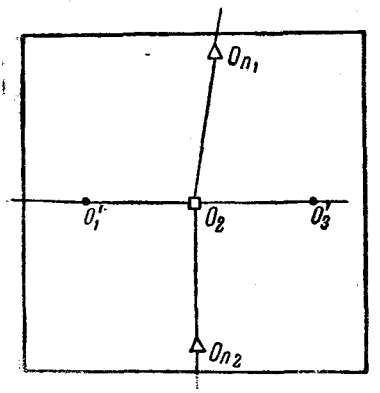



Рис. 7. Расположение плановых опознаков на четных снимках

При ориентировании по шести точкам за начало измерения параллаксов принимаем точку *2* (см. рис. 5), находящуюся на линии базиса и имеющую координаты $y = y_0$, $x = 0$.

В этом случае аналитическим выражением работы коррекционных приспособлений стереометра является формула

$$\delta_p' = \frac{y - y_0}{f_к} \Delta H_0 + \frac{y^2 - y_0^2}{f_к} \Delta\alpha + \frac{xy}{r} \Delta\rho + x\Delta\varkappa_0. \qquad (23)$$

При ориентировании стереопары по четырем точкам за начальную принимаем точку *4* (рис. 8) с координатами $y = y_0$, $x = x$. Формула, выражающая работу корректоров, в этом случае запишется так

$$\delta_p' = \frac{y}{f_к} \Delta H_0 - \frac{y_0}{f_к} \Delta H_0 + \frac{y^2 - y_0^2}{f_к} \Delta\alpha + \frac{xy}{r} \Delta\rho - \frac{xy_0}{r} \Delta\rho + x\Delta\varkappa_0. \qquad (24)$$

Член $\frac{y^2 - y_0^2}{f_к} \Delta\alpha$ исключается установкой вычисленного $\Delta\alpha$ на коррекционном приспособлении.

Процесс ориентирования по четырем точкам, расположенным на тройном перекрытии, мало отличим от известного.

Порядок ориентирования остается прежним, но так как в формуле (24) по сравнению с формулой, выражающей работу коррекционных приспособлений в обычном случае [7], возникают дополнительные члены, то увеличивается число приближений. Так, после устранения параллакса на точках *4—6* и *3—5* в соответствии с пятым членом формулы (24) на точках *4—6* вновь возникает ошибка $\delta_p'$, обратная по знаку уничтоженной на точках *3—5* и во столько раз меньшая, во сколько раз ордината точки *4* меньше ординаты точки *3*. Возникшую ошибку на точках *4—6* уничтожаем корректором $\rho$. Дополнительное приближение возникает и при установке корректора $\Delta H_0$. Для установки корректора $\Delta H_0$ к отсчету по параллактическому винту на точке *4* прибавляем

разность продольных параллаксов $\Delta p$, вычисленную для точек *4—3*, и предвычисленный отсчет устанавливаем на параллактическом винте.

Наведение на точку *3* осуществляется передвижением каретки стереометра по оси *YY* и изменением установки коррекционного приспособления $\Delta H_0$. В соответствии со вторым членом формулы (24) на точке *4* отсчет по параллактическому винту несколько изменится, поэтому весь процесс нужно повторить.

Процесс ориентирования по шести точкам, схема расположения которых приведена на рис. 5, выполняется еще проще и быстрее, чем при ориентировании по четырем точкам, так как отсутствует член $\frac{xy_0}{r}\Delta p$ формулы (24). Процесс ориентирования отличается от описанного [11]

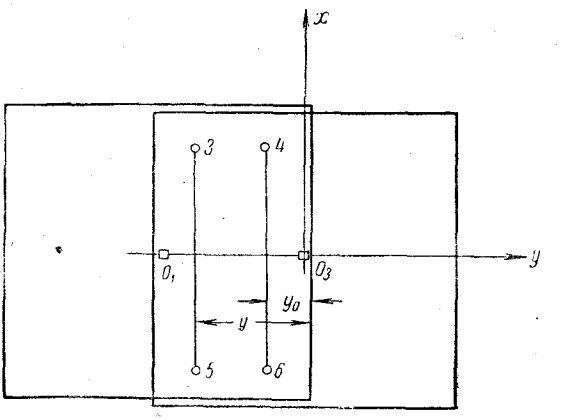



Рис. 8. Схема расположения точек при ориентировании стереопары на топографическом стереометре по четырем точкам

только тем, что согласно члену $\frac{y_0}{f_к}\Delta H_0$ формулы (23), при установке корректора $\Delta H_0$ увеличится число приближений.

## Камеральные фотограмметрические работы при создании топографического плана по тройным перекрытиям на стереопланиграфе

**Сгущение высотной основы.** Создать общую модель из одиночных моделей *1—3, 3—5, 5—7* нельзя, так как между ними нет тройного перекрытия и выбрать связующие точки невозможно.

В этом случае сгущение высот будет производиться по стереопарам, составленным через снимок (*1—3, 2—4* и т. д.), а стереопары, составленные из соседних снимков (*2—3, 3—4* и т. д.), будут служить для связи.

Для построения сети в прибор устанавливают диапозитивы первой одиночной стереомодели (снимки *1—3*). После определения и установки $b_y$ производят взаимное ориентирование снимков *1* и *3* первой модели путем устранения поперечных параллаксов на пяти точках стереомодели по схеме, приведенной на рис. 9.

При ориентировании стереопары, составленной через снимок, порядок устранения поперечных параллаксов и рабочие движения на каждой точке обычны, незначительно увеличивается лишь число приближений при устранении поперечных параллаксов на точках *1* и *2*. Затем

известными методами [7] выполняют геодезическое ориентирование. По окончании ориентирования первой модели измеряются высоты и отмечаются на планшете положения определяемых и связующих точек (в соответствии с рис. 10). Далее вместо первого снимка устанавливают второй снимок. Не изменяя положения оставшегося третьего сним-

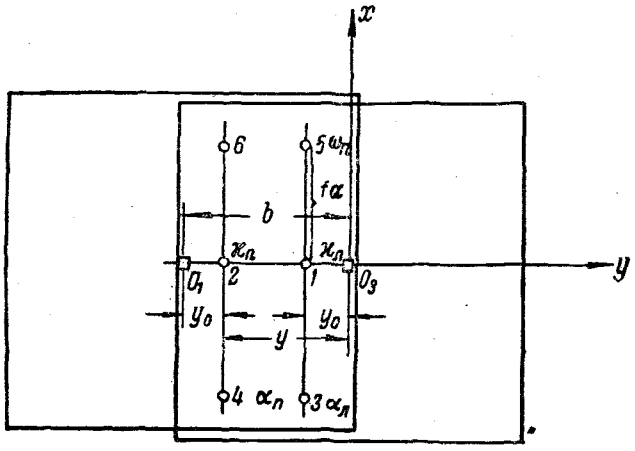



Рис. 9. Схема устранения поперечных параллаксов на стереопланиграфе при вращении обеих камер

ка и не отключая счетчика высот, вращением $\alpha_x(\omega), \alpha_y$ и $\varkappa$ и изменением базисных установок $b_x$ и $b_z$ в соответствии со схемой, приведенной на рис. 11, вновь установленный второй снимок подориентируют к оставшемуся, чем и осуществляют взаимное ориентирование второго и третьего снимков. Масштабирование осуществляется известным путем.

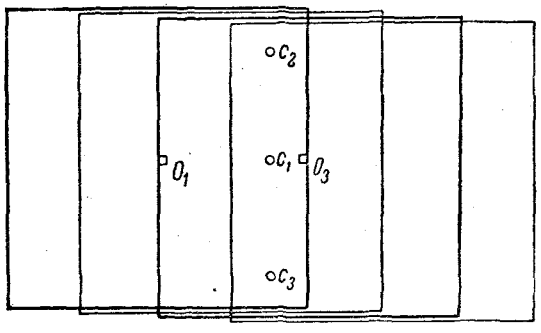



Рис. 10. Схема расположения связующих точек

По второй модели сгущение высот не производится.

После проделанной работы на место третьего снимка устанавливается четвертый, и описанным выше способом производится подориентирование его по точкам второго снимка, показанным на рис. 12.

Геодезическое ориентирование модели *2—4* производится по тем же точкам $c_1$, $c_2$ и $c_3$, которые использовались при геодезическом ориентировании модели *2—3* (см. рис. 10).

После окончания геодезического ориентирования модели *2—4* измеряют высоты и отмечают на планшете положение определяемых точек

(необходимых в дальнейшем для геодезического ориентирования одиночных моделей) и связующих точек для модели *3—4*, которые являются связующими и для модели *3—5*.

Аналогично описанному строятся модели *3—4*, *3—5* и т. д., пока сеть не будет замкнута на точках геодезической основы последней модели данной сети.

**Построение одиночных моделей. Изображение рельефа и контуров.** В снимкодержателе проектирующих камер центрируют диапозитивы первой одиночной модели *1—3*. В проектирующих камерах устанавливают величину фокусного расстояния, исправленную за деформацию пленки. Если первоначально была выполнена фототриангуляция, то снимки можно установить во взаимно ориентированное положение. Для этого пользуются значениями установочных элементов проектирующих камер ($\omega$, $\alpha_y$, $\varkappa$), базисных составляющих ($b_x$, $b_y$ и $b_z$) и общего поперечного наклона.

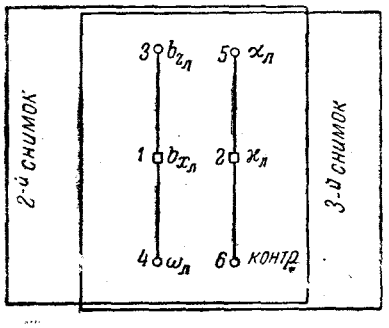



Рис. 11. Схема устранения поперечных параллаксов при вращении одной камеры стереопланиграфа

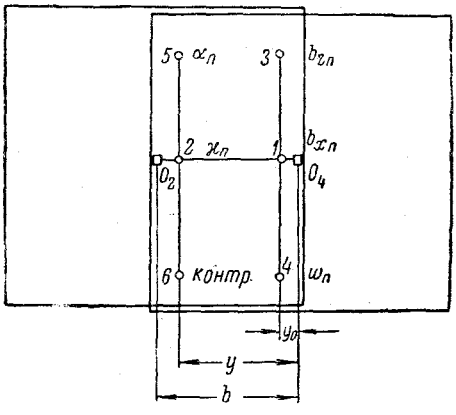



Рис. 12. Схема подориентирования снимка *4* по снимку *2*

Взаимное ориентирование приходится несколько уточнять, уничтожая поперечные параллаксы движениями обеих камер на точках, указанных на рис. 9. После обработки стереопары *1—3* обрабатывают стереопару *2—4*, затем *3—5*, *4—6* и т. д. Рельеф рисуют приемами, изложенными в работе Л. Н. Келля и С. В. Чистякова [9].

## Экспериментальные работы

Материалом для экспериментальных работ служили плановые аэроснимки масштаба 1 : 5000 Лаборатории аэрометодов АН СССР, снятые АФА «Скорый» с $f_к = 100{,}8$ *мм*. Продольное перекрытие снимков — 70%. Основной задачей экспериментальных работ было сравнение фактической точности стереофототопографической обработки снимков по тройным перекрытиям с точностью обработки стереопар, составленны из соседних снимков обычным путем.

Были проведены следующие экспериментальные работы:

1) обработано пять стереопар обычным способом по двойным перекрытиям аэроснимков дифференцированным методом (табл. 10);

2) обработано четыре стереопары, составленные через снимок, на топографическом стереометре и создан план масштаба 1 : 2000 (табл. 10, 11);

3) создан план масштаба 1 : 2000 на стереопланиграфе по четырем стереопарам, составленным через снимок (табл. 12). Привязка снимков

была сплошной. При обработке снимков на стереометре по тройным перекрытиям применялись те же снимки, что и при обработке обычным путем, поэтому определение взаимного продольного угла наклона стереопар, составленных через снимок, произведено вторым из описанных выше способов. Точность его определения в $\sqrt{2}$ раз ниже, чем при обработке обычным путем. Элементы взаимного ориентирования определялись по формулам, учитывающим члены второго порядка малости. Ориентирование на стереометре производилось по шести точкам, пикеты набирались дважды.

Для характеристики точности полученных результатов были определены средние квадратические и наибольшие ошибки изображения рельефа.

Значения ошибок определены: а) по разностям геодезических и фотограмметрических высот контрольных точек; б) по результатам сравнения стереоплана с мензульным.

Таблица 10

**Ошибки высот точек местности в результате сравнения геодезических и фотограмметрических высот**
*Снимки масштаба 1:5000, $f_к = 100{,}8$ мм*

| Набор пикетов на топографическом стереометре | Число контрольных точек $n$ | Средняя квадратическая ошибка $m_h$, м | Наибольшая ошибка высоты $\Delta_h$, м | Систематическая ошибка $dh$, м |
|---|---|---|---|---|
| Обычным способом . . . . . | 66 | ±0,38 | ±1,3 | +0,01 |
| По тройным перекрытиям . . . | 36 | ±0,22 | −0,5 | +0,01 |

Таблица 11

**Точность изображения рельефа по результатам сравнения стереоплана, составленного дифференцированным способом, с мензульным планом**

| Углы наклона местности, град. | Общее число сравниваемых точек | Число $\Delta h$ / % к общему числу | | | | Средние квадратические ошибки рельефа $m_h$, м |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | от 0 до 0,2 | от 0,3 до 0,5 | от 0,5 до 0,7 | больше 0,7 | |
| 0—2 | 581 / 45,3 | 474 / 37,0 | 97 / 7,6 | 10 / 0,7 | — | ±0,22 |
| 2—6 | 553 / 43,2 | 336 / 26,2 | 202 / 15,9 | 15 / 1,1 | — | ±0,28 |
| >6 | 145 / 11,5 | 18 / 1,5 | 47 / 3,7 | 51 / 40,0 | 29 / 2,3 | ±0,33 |
| Итого | 1279 / 100% | 828 / 64,7 | 346 / 27,2 | 76 / 5,8 | 29 / 2,3 | ±0,26 |

Примечание. Максимальное значение разности высот $\Delta h = h_ф - h_ч$ равно +1,2 м.

Таблица 12

**Точность изображения рельефа по результатам сравнения стереоплана, полученного на стереопланиграфе, с мензульным планом**

| Углы наклона местности, град. | Общее число сравниваемых точек | Число $\Delta h$ / % к общему числу | | | | Средняя квадратическая ошибка, $m_h$, *м* | Максимальное значение разности $\Delta h = h_{ф} - h_{г}$, *м* | Систематическая ошибка $dh$, *м* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | от 0 до 0,2 | от 0,3 до 0,5 | от 0,6 до 0,7 | 0,7 | | | |
| 0—2 | 431 / 32,4 | 345 / 26,0 | 69 / 5,2 | 8 / 0,5 | 9 / 0,7 | ±0,20 | +1,4 | 0 |
| 2—6 | 749 / 52,5 | 458 / 34,4 | 203 / 15,2 | 50 / 3,8 | 38 / 2,9 | ±0,30 | —1,5 | —0,07 |
| > 6 | 15,2 / 11,4 | 75 / 5,5 | 60 / 4,5 | 7 / 0,5 | 10 / 0,7 | ±0,31 | +1,2 | —0,04 |
| Итого | 1332 / 100% | 878 / 65,9 | 332 / 24,9 | 65 / 4,9 | 57 / 4,3 | ±0,27 | — | — |

Проведенные исследования показали возможность создания плана по тройным перекрытиям с точностью определения высот большей, чем при создании плана обычным путем. В данном случае высокая точность получена за счет того, что перекрытие было равно 70% и двойной базис $b = 108$ *мм*.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА


1. Келль Н. Г. Ошибки положения точек фотограмметрической модели. Тр. *Лабор. аэрометодов* АН СССР, 1954, т. III.

2. Соколова Н. А. Точность стереофотограмметрического определения высот точек местности в равнинных районах на топографическом стеореометре. Сб. рефератов. Изд. ЦНИИГАиК, вып. 5, 1955.

3. Соколова Н. А. Требования к летносъемочным работам. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 100, Геодезиздат, 1952.

4. Соколова Н. А., Крашенинников Г. Д., Кожевников Н. П. Требования к расположению точек планового обоснования. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 100, Геодезиздат, 1954.

5. Кожевников Н. П. Фотополигонометрия. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 100, Геодезиздат, 1954.

6. Крашенинников Г. Д. Сгущение планового обоснования на приборах универсального типа. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 100, Геодезиздат, 1954.

7. Скиридов А. С. Стереофотограмметрия. Геодезиздат, 1951.

8. Информационно-технический сборник ВТС, вып. XXV, 1952.

9. Келль Л. Н., Чистяков С. В. Руководство по топографической съемке стереофотограмметрическим способом в масштабе 1 : 5000. Углетехиздат, 1952.

10. Основные технические требования к аэрофотосъемке для создания топографических планов в масштабах 1 : 25 000—1 : 2000. Геодезиздат, 1951.

11. Наставления по камеральным фотограмметрическим работам при топографической съемке в масштабах 1 : 5000 и 1 : 2000. Геодезиздат, 1952.

12. Келль Л. Н. К оценке точности высотных определений. Зап. ЛГИ, т. XXV, вып. 1, 1951.