



Лабораторная работа 6. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЭРОФОТОСНИМКА

Исходные данные и материалы: контактный аэрофотоснимок (масштаба 1:5000 – 1:20000); фотоплан и топографическая карта; измеритель, масштабная линейка, геодезический транспортёр, треугольник, линейка, калькулятор. В методических целях фокусное расстояние аэрофотоаппарата f , высота фотографирования над уровнем моря H_0 и угол наклона аэрофотоснимка α_p выдаются преподавателем по вариантам приведенным в табл. 6.1.

Задание: выполнить анализ искажений фотоизображения на аэрофотоснимке и отработать технические приемы их учета. При этом необходимо:

- 1) определить положение главной точки аэрофотоснимка o , а также положение на аэрофотоснимке главной вертикали v_oi и главной горизонтали h_oh_o ;
- 2) определить на аэрофотоснимке положения точки нулевых искажений s , точки надира n и горизонтали h_ch_c ;
- 3) выбрать на аэрофотоснимке и фотоплане (топографической карте) контурные точки;
- 4) определить высоту фотографирования H над средней плоскостью аэрофотоснимка;
- 5) вычислить и ввести поправки за угол наклона аэрофотоснимка в положение контурных точек;
- 6) вычислить и ввести поправки за рельеф в положение контурных точек на аэрофотоснимке;
- 7) определить главный, средний и частные масштабы аэрофотоснимка;
- 8) построить клиновой масштаб;
- 9) выполнить анализ искажений площадей контуров на аэрофотоснимке;
- 10) вычислить пространственные координаты точек местности по измеренным координатам точек на снимке.

выполнить геометрический анализ аэрофотоснимка

Таблица 6.1. Варианты заданий для выполнения лабораторной работы

| Варианты | f , мм | α_p , ° | H_0 , м |
|----------|----------|----------------|-----------|
| 0 | 100 | 2°10' | 1000 |
| 1 | 140 | 2°50' | 1100 |
| 2 | 75 | 1°30' | 1200 |
| 3 | 150 | 1°50' | 1300 |
| 4 | 70 | 1°40' | 1400 |
| 5 | 110 | 1°30' | 1500 |
| 6 | 300 | 0°50' | 1600 |

| | | | |
|----|-----|-------|------|
| 7 | 140 | 1°40' | 1700 |
| 8 | 100 | 0°50' | 1800 |
| 9 | 75 | 1°10' | 1900 |
| 10 | 150 | 2°10' | 2000 |
| 11 | 200 | 1°40' | 2100 |
| 12 | 110 | 2°00' | 2200 |
| 13 | 300 | 2°00' | 2400 |
| 14 | 140 | 1°20' | 2500 |
| 15 | 150 | 2°30' | 2600 |
| 16 | 70 | 2°40' | 2700 |
| 17 | 350 | 0°30' | 2800 |
| 18 | 500 | 1°10' | 2900 |
| 19 | 200 | 2°20' | 3000 |
| 20 | 150 | 2°00' | 3100 |

Порядок и методика выполнения

1. Определение главной точки аэрофотоснимка, главной вертикали и главной горизонтали

Для определения положения главной точки аэрофотоснимка необходимо провести остро заточенным карандашом линии через координатные метки аэрофотоснимка 1 – 2 и 3 – 4 (рис. 6.1). Полученная на пересечении точка и будет главной точкой аэрофотоснимка o , которая накалывается острой иглой. Диаметр отверстия должен быть равным 0,1 мм.

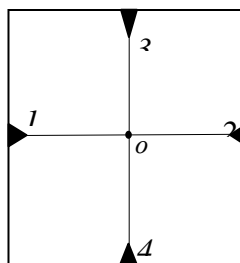


Рис. 6.1. Определение положения главной точки аэрофотоснимка

Положение главной вертикали можно определить приблизительно по изображению круглого уровня, расположенного в углу аэрофотоснимка. Для этого необходимо провести линию ab через центр изображения пузырька круглого уровня и его нуль-пункта, которая будет параллельна главной вертикали (рис. 6.2).

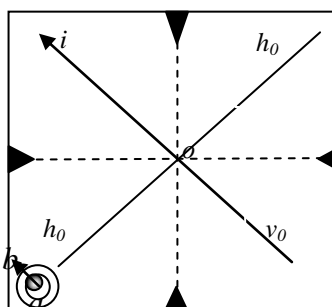


Рис. 6.2. Определение на снимке положения главной вертикали

При помощи треугольника и линейки проводят через главную точку аэрофотоснимка o линию параллельную линии ab и тем самым определяют на нем положение главной вертикали vo_i с достаточной для геометрического анализа снимка точностью.

Перпендикулярно к главной вертикали в точке o проводят главную горизонталь h_0h_0 .

2. Определение положения на аэрофотоснимке точки нулевых искажений, точки надира и линии неискаженных масштабов

Вычисляют расстояние от главной точки аэрофотоснимка o до точки нулевых искажений c и точки надира n по формулам:

$$oc = f \cdot \operatorname{tg}(\alpha_p / 2); \quad (6.1)$$

$$on = f \cdot \operatorname{tg}\alpha_p, \quad (6.2)$$

где f – фокусное расстояние аэрофотоаппарата;

α_p – угол наклона аэрофотоснимка.

Значения f и α_p выбирают из табл. 1 согласно варианта. Наносят на аэрофотоснимок точки c и n от точки o в сторону, противоположную направлению на точку схода i .

Проводят через точку c линию неискаженных масштабов h_ch_c перпендикулярно главной вертикали vo_i аэрофотоснимка. Таким образом, на аэрофотоснимке будет определена система плоских координат с началом в точке нулевых искажений (рис. 6.3). За ось абсцисс берется главная вертикаль, а за ось ординат – горизонталь h_ch_c . Данная система координат является правой.

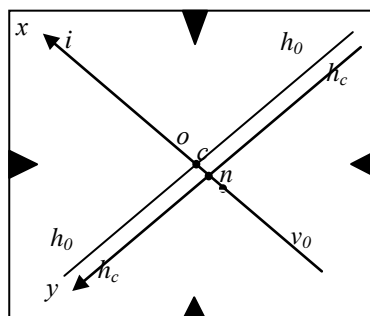


Рис. 6.3 Определение положения на аэрофотоснимке точки нулевых искажений, точки надира и горизонтали h_ch_c .

Выполнять необходимые измерения на обратной стороне аэрофотоснимка более удобно, однако следует учитывать, что изображение будет зеркальным (все формулы и расчеты приведены для лицевой стороны).

3. Определение базисов на аэрофотоснимке и фотоплане

Для определения среднего масштаба снимка выбирают два взаимно перпендикулярных базиса AB и DF . При выборе базисов должны соблюдаться следующие требования:

1. Точки A , B , D и F – четкие контурные точки, хорошо опознаваемые на аэрофотоснимке и фотоплане;

2. Контурные точки A , B , D и F выбирают и накалывают не ближе 1 см от края аэрофотоснимка.

3. Концы базисов AB и DF должны быть симметричны относительно точки их пересечения. При этом базисы AB и DF должны проходить через окружность радиусом 2 см с центром в точке o (рис. 4).

Для определения частных масштабов в зонах точек A , B , D и F выбирают взаимно перпендикулярные базисы AA_1 и AA_2 , BB_1 и BB_2 , DD_1 и DD_2 , FF_1 и FF_2 (рис. 6.4).

Длины базисов должны составлять 2-3 см. Точки A_1 , A_2 , B_1 , B_2 , D_1 , D_2 , F_1 и F_2 – четкие контурные точки. Каждую накалотую точку отмечают штрихами длиной 5 мм. На аэрофотоснимке контурные точки оформляются черной тушью.

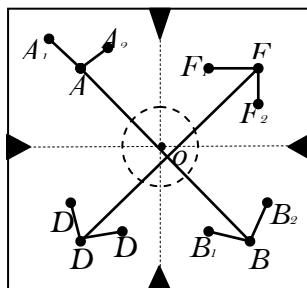


Рис. 6.4. Выбор базисов на аэрофотоснимке

4. Определение высоты фотографирования над средней плоскостью

По топографической карте определить высоты контурных точек A , B , D , F с точностью до 1 м. Значение высоты средней плоскости аэрофотоснимка A_0 вычислить по формуле

$$A_0 = \frac{A_A + A_B + A_D + A_F}{4}, \quad (6.3)$$

а высоту фотографирования H над средней плоскостью по формуле

$$H = H_0 - A_0, \quad (6.4)$$

где H_0 – абсолютная высота фотографирования.

Значение абсолютной высоты фотографирования H_o выбирают из табл. 1 в соответствии с номером варианта.

5. Смещения контурных точек за угол наклона аэрофотоснимка. Введение поправок в положение контурных точек

Смещение точек аэрофотоснимка вызванное углом наклона вычисляют по формуле

$$\delta_{\alpha} = -\frac{r_c^2 \sin \alpha_p \cos \varphi}{f - r_c \sin \alpha_p \cos \varphi}, \quad (6.5)$$

где r_c – длина радиус-вектора от точки нулевых искажений до контурной точки;

φ – угол, измеряемый от положительного направления главной вертикали против хода часовой стрелки до направления на контурную точку.

В том случае, если угол наклона аэрофотоснимка $\alpha_p \leq 2^\circ$ вторым членом знаменателя формулы (6.5) можно пренебречь и вычисления выполнять по следующей формуле:

$$\delta_{\alpha} = -\frac{r_c^2 \sin \alpha_p \cos \varphi}{f}. \quad (6.6)$$

Если две точки на плановом снимке равнинной местности расположены симметрично на концах отрезка, проходящего через точку нулевых искажений, то для этих точек углы φ отличаются на 180° . Величины смещений δ_{α} , вычисленные по формуле (6.6), будут практически одинаковые по величине и разные по знаку. Поэтому совместное влияние таких смещений на длину отрезка компенсируется, и длины таких отрезков отображаются практически без искажений (эти отрезки называют неискаженными отрезками).

В лабораторной работе студенты вычисляют смещение за угол наклона четырех контурных точек аэрофотоснимка A, B, D и F .

Расстояния r_c измеряют на аэрофотоснимке с точностью до 1 мм между точкой нулевых искажений и соответствующими контурными точками. При помощи геодезического транспорта измеряем углы φ между осью абсцисс и направлениями на контурные точки против хода часовой стрелки (рис. 6.5).

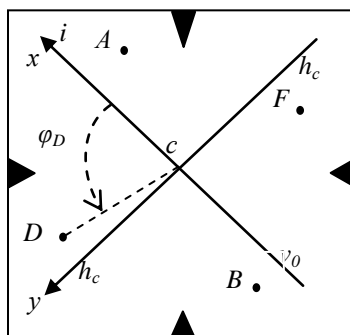


Рис. 6.5. Измерение радиус-вектора r_c и полярного угла φ

Результаты измерений и вычислений сводят в табл. 6.2.

Таблица 6.2. **Определение смещений контурных точек за угол наклона**

| Название точки | $r_c, \text{мм}$ | φ° | $\delta_\alpha, \text{мм}$ |
|----------------|------------------|-----------------|----------------------------|
| A | 75 | 11 | 4,1 |
| B | 65 | 175 | -3,1 |
| D | 69 | 274 | 0,2 |
| F | 64 | 95 | -0,3 |

Необходимо выполнить анализ смещений контурных точек A, B, D и F за угол наклона аэрофотоснимка.

Исправленные за угол точки A', B', D' и F' оформляются на аэрофотоснимке синей тушью аналогично контурным точкам. На основе полученных результатов выполняется анализ смещения контурных точек при использовании главной точки аэрофотоснимка o вместо точки нулевых искажений c .

В настоящее время аэрофотосъемка выполняется с использованием гиросtabilизированной платформы для установки аэрофотоаппарата. Для гиросtabilизированных аэрофотоснимков углы наклона не превышают $\alpha_p \leq 10'$. Определим максимальное искажение, вызванное углом наклона аэрофотоснимка в пределах рабочей площади при следующих исходных данных: $r_c \approx 70 \text{ мм}$ (б.при формате снимков 18 x 18 см и продольном перекрытии 60%) и фокусном расстоянии $f = 70 \text{ мм}$:

$$\delta_{\alpha \max} = \pm \frac{r_c^2 \sin \alpha_p}{f} = \frac{70^2 \sin 0^\circ 10'}{70} = \pm 0,2 \text{ мм}.$$

Таким образом, искажения точек за угол наклона гиросtabilизированного аэрофотоснимка не превышают величины $\alpha_p \geq |0,2| \text{ мм}$ и искажение фотоизображения будут вызваны в основном рельефом местности.

Таким образом, если смещение точки за угол наклона аэрофотоснимка превышает $\alpha_p \geq |0,2| \text{ мм}$, то вводится поправка в ее положение. При положительном значении смещения поправка вводится по направлению к точке нулевых искажений, а при отрицательном значении - от точки нулевых искажений.

Исправленные за угол наклона точки A', B', D' и F' оформляются на аэрофотоснимке синей тушью аналогично контурным точкам. На основе полученных результатов выполняется анализ смещений контурных точек при использовании главной точки аэрофотоснимка o вместо точки нулевых искажений c .

6. Смещения контурных точек за рельеф местности аэрофотоснимка. Введение поправок в положение контурных точек

Смещение точек за рельеф местности для наклонного снимка вычисляют по формуле

$$\delta_h = \frac{r_n h}{H + \left[(H - h_1) \frac{x_n \cos \alpha_p}{f \sec \alpha_p - x_n \sin \alpha_p} \right] \operatorname{tg} \alpha_p}, \quad (6.7)$$

где x_n – абсцисса точки на снимке, измеряемая в системе координат nxy , мм;

r_n – расстояние от точки надира до контурной точки, мм;

H – высота фотографирования над средней плоскостью, м;

h – превышение точки над средней плоскостью, м.

Для наклонного снимка смещения точек за рельеф местности δ_h будут направлены по направлению к точке надира аэрофотоснимка или от нее.

Для горизонтального аэрофотоснимка смещение точек за рельеф местности δ_h вычисляют по формуле

$$\delta_h = \frac{r_o h}{H}, \quad (6.8)$$

где r_o – расстояние от главной точки аэрофотоснимка до контурной точки, мм.

Для гиостабилизированного аэрофотоснимка можно считать, что точки o , s и n совпадают. Таким образом, смещения точек за рельеф местности δ_h будут направлены по направлению к главной точке аэрофотоснимка или от нее.

Разность между величинами δ_h , вычисленными по формулам (6.7) и (6.8), при $\alpha_p = 2^\circ$, высоте фотографирования $H = 1000$ м, $h = 50$ м, $f = 100$ мм и $r_n = r = 70$ мм составляет менее 0,1 мм. Таким образом, при работе с плановыми аэрофотоснимками для вычисления смещений за рельеф местности можно использовать более простую формулу (6.8) и считать, что смещение изображения точки за рельеф происходит вдоль радиуса вектора r , исходящего из главной точки аэрофотоснимка [1].

В лабораторной работе необходимо вычислить смещение за рельеф для точек $A, A_1, A_2, B, B_1, B_2, D, D_1, D_2, F, F_1$ и F_2 . Расстояние r_o от точки надира до соответствующей точки измеряем на снимке, округляя его до 1 мм. Высоты всех контурных точек определяют по топографической карте (высоты точек A, B, D и F высота средней плоскости A_o определены ранее при выполнении раздела 2.4). Результаты измерений и вычислений записывают в табл. 6.3.

Таблица 6.3. Определение смещений за рельеф

| Название точки | A , м | $h=A-A_0$, м | r_0 , м | δ_h , мм |
|----------------|---------|---------------|-----------|-----------------|
| A | 205 | 3,8 | 75 | 0,3 |
| A ₁ | 207 | 5,8 | 63 | 0,4 |
| A ₂ | 209 | 7,8 | 62 | 0,5 |
| B | 196 | -5,2 | 69 | -0,4 |
| B ₁ | 206 | 4,8 | 61 | 0,3 |
| B ₂ | 206 | 4,8 | 65 | 0,3 |
| F | 200 | -1,2 | 66 | -0,1 |
| F ₁ | 202 | 0,8 | 41 | 0,0 |
| F ₂ | 204 | 2,8 | 61 | 0,2 |
| D | 204 | 2,8 | 65 | 0,2 |
| D ₁ | 199 | -2,2 | 60 | -0,1 |
| D ₂ | 205 | 3,8 | 34 | 0,1 |

В соответствии с требованиями Инструкции по фотограмметрическим работам [1], смещение δ_h точки вследствие влияния рельефа местности не должно превышать 0,3 мм на плане для цифровых ортофотопланов и 0,4 мм для графических. Таким образом, если величина смещения за рельеф местности δ_h больше 0,4 мм, то необходимо вводить поправку в положение точки. Если значение δ_h положительное, то поправка вводится по направлению к главной точке аэрофотоснимка, а если отрицательное – то от нее.

Поправки за рельеф вводятся во все контурные точки аэрофотоснимка. Исправленные за рельеф контурные точки оформляются аналогично контурным точкам тушью красного цвета и обозначаются A'' , A_1'' , A_2'' , B'' , B_1'' , B_2'' и т.д.

Примечание. Для точек A , B , D , F аэрофотоснимка поправки за рельеф вводятся в точки, предварительно исправленные за угол наклона, т.е. в точки A' , B' , D' , E' .

7. Определение главного, среднего и частных масштабов аэрофотоснимка

2.7.1. Определение главного масштаба аэрофотоснимка

Главный масштаб аэрофотоснимка вычисляют по формуле

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}, \quad (6.9)$$

где H – высота фотографирования над средней плоскостью.

Например, значение главного масштаба аэрофотоснимка:

$$\frac{1}{m} = \frac{200 \text{ мм}}{2400 \text{ м}} = \frac{1}{12000}.$$

2.7.2. Определение среднего масштаба аэрофотоснимка

Для определения среднего масштаба планового аэрофотоснимка с относительно ровным рельефом необходимо измерить длины первоначально выбранных отрезков (б.базисов) AB и DF на снимке и фотоплане (рис. 4).

Для каждого из отрезков вычисляют масштаб по формуле

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{L \times M}, \quad (6.10)$$

где m – знаменатель масштаба;

l – длина отрезка, измеренная по аэрофотоснимку, мм;

L – длина отрезка, измеренная по фотоплану, мм;

M – знаменатель масштаба фотоплана.

Из формулы (6.10) знаменатель масштаба для каждого из базисов равен:

$$m_{AB} = \frac{L_{AB} \times M}{l_{AB}}; \quad m_{DF} = \frac{L_{DF} \times M}{l_{DF}}. \quad (6.11)$$

Средний масштаб аэрофотоснимка вычисляют как среднее из масштабов по базисам AB и DF :

$$m_{\text{ср}} = \frac{m_{AB} + m_{DF}}{2}. \quad (6.12)$$

Результаты определения среднего масштаба аэрофотоснимка сводят в табл. 6.4.

Таблица 6.4. Определение среднего масштаба аэрофотоснимка

| Отрезки | l , мм | L , мм | m | Δm | $m_{\text{ср}}$ |
|---------|----------|----------|-------|------------|-----------------|
| AB | 20,5 | 25,0 | 12195 | 121 | 12134 |
| DF | 21,7 | 26,2 | 12074 | | |

Выполним оценку точности определения среднего масштаба аэрофотоснимка, вычислив расхождение масштабов аэрофотоснимка полученного по двум базисам:

$$\Delta m = |m_{AB} - m_{DF}|. \quad (6.13)$$

А так же найдем относительную погрешность определения среднего масштаба как отношение Δm к $m_{\text{ср}}$.

В нашем примере она будет равна:

$$\frac{\Delta m}{m_{\text{cp}}} = \frac{135}{11920} = \frac{1}{88}.$$

Относительная погрешность измерения длин линий по аэрофотоснимку и относительная погрешность определения среднего масштаба находятся в следующей зависимости:

$$\frac{\Delta l}{L} = \frac{\Delta m}{m_{\text{cp}}}. \quad (6.14)$$

Используя формулу (6.14), вычислить предельную длину линии, которая может быть измерена по аэрофотоснимку с требуемой точностью при использовании среднего масштаба:

$$L = \frac{m_{\text{cp}}}{\Delta m} \Delta l. \quad (6.15)$$

Например, требуется измерить линию с погрешностью $\Delta l = 0,5$ м, тогда предельная длина линии, вычисленная по формуле (6.15), будет равна:

$$L = \frac{1}{88} \times 0,5 = 44 \text{ м.}$$

На основании этих расчетов можем сделать вывод, что длины неискаженных отрезков (базисов), по которым определяется масштаб снимка, должна быть больше длины линий, которые будут измеряться на аэрофотоснимке.

Если превышения точек A , B , D и F над средней плоскостью больше величины

$$\Delta h = f \frac{\Delta l}{l}, \quad (6.16)$$

то для измерений длин неискаженных отрезков на аэрофотоснимке используют точки A'' , B'' , D'' и F'' , исправленные за рельеф.

2.7.3. Определение частных масштабов аэрофотоснимка

Для определения частных масштабов в зонах точек A , B , D и F на аэрофотоснимке и фотоплане с точностью до 0,1 мм измеряют базисы AA_1 и AA_2 , BB_1 и BB_2 , DD_1 и DD_2 , FF_1 и FF_2 .

Знаменатели масштабов для каждого базиса вычисляют по формуле (6.11) и записывают в графу 4 (см. табл. 5).

Вычисляем среднее значение частного масштаба для зон A , B , D и F , взяв среднее из значений частных масштабов соответствующих отрезков.

Значение частного масштаба для всего аэрофотоснимка вычисляем по формуле

$$m_{\text{cp}} = \frac{m_A + m_B + m_D + m_F}{4}. \quad (6.17)$$

Результаты всех измерений и вычислений записываем в табл. 6.5.

Таблица 6.5. **Определение частных масштабов аэрофотоснимка**

| Отрезки | l , мм | L , мм | m | Δm | $m_{\text{ф}}$ ЗОНЫ | $m_{\text{ср}}$ |
|---------|----------|----------|-------|------------|---------------------|-----------------|
| AA_1 | 20,5 | 25,0 | 12195 | 121 | 12134 | 11840 |
| AA_2 | 21,7 | 26,2 | 12074 | | | |
| BB_1 | 22,8 | 26,5 | 11623 | 100 | 11673 | |
| BB_2 | 20,9 | 24,5 | 11722 | | | |
| CC_1 | 31,5 | 37,0 | 11746 | 43 | 11767 | |
| CC_2 | 24,6 | 29,0 | 11789 | | | |
| DD_1 | 20,9 | 24,5 | 11722 | 123 | 11784 | |
| DD_2 | 40,1 | 47,5 | 11845 | | | |

Сравнивая частное значение масштаба, вычисленное по формуле (6.17), с главным масштабом аэрофотоснимка и средним масштабом выполнить анализ расхождения по каждой зоне.

Определить минимальную длину линии на местности, измерение которой можно выполнять по аэрофотоснимку, используя его средний масштаб, по формуле (6.15).

Пусть $m_{\text{ср}} = 11920$, $\Delta l = 1$ м, $\Delta m = 135$, тогда минимальная длина линии на местности будет равна:

$$L = \frac{11920}{135} \times 1 \text{ м} = 88,3 \text{ м.}$$

Таким образом, если длина линии на местности меньше 88 м, то ее длину можно измерять по аэрофотоснимку с использованием среднего масштаба, в противном случае необходимо определять частный масштаб зоны, в которой располагается данная линия, и применять его.

8. Построение клинового масштаба

При дешифрировании снимков, производстве инженерных и сельскохозяйственных изысканий достаточно часто приходится решать задачу по пересечению объектов с аэрофотоснимка на план (карту). Как правило, она решается методом линейной засечки с трех четких контурных точек, отображенных на аэрофотоснимке и карте. Наиболее эффективно для решения данного класса задач использовать клиновой масштаб.

Для построения клинового масштаба необходимо взять миллиметровую бумагу на горизонтальной прямой отложить в масштабе плана отрезок максимальной длины, который будет измеряться по плану (например, 500 м). Отрезок необходимо разбить на миллиметры и оцифровать его. В правом конце отрезка провести вертикальную линию и отложить отрезок 500 м в главном масштабе аэрофотоснимка.

Например, если главный масштаб аэрофотоснимка 1:12000 то отрезок 500 м на аэрофотоснимке будет иметь длину равную $\frac{500}{12000} \times 1000 = 41,7 \text{ мм.}$

Соединив конец вертикального отрезка с левым концом горизонтального, получаем клиновой масштаб. Для более удобного использования провести вертикальные прямые, как показано на рис. 6.б.

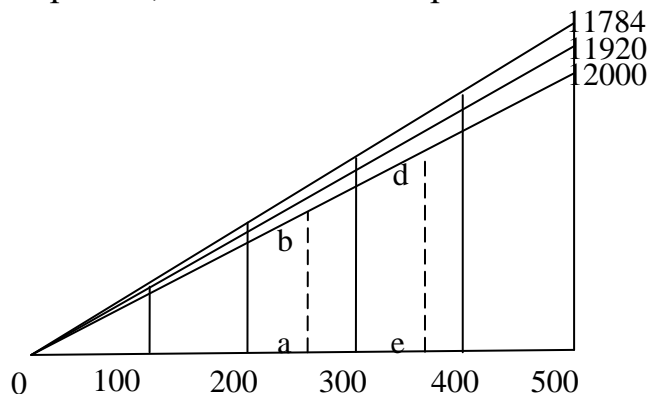


Рис. 6.б. Клиновой масштаб

Для определения длины линии с помощью клинового масштаба необходимо измерить ее при помощи циркуля на аэрофотоснимке. Установить циркуль на клиновом масштабе так, чтобы одна игла находилась на горизонтальной линии, а вторая – на наклонной (отрезок *ab*). По горизонтальной шкале можно отсчитать длину отрезка на местности (260 м). Повернув циркуль вокруг точки *a* и установив иглу, которая была на наклонной линии в точке 0, получаем в растворе циркуля длину линии, которую требуется отложить на плане.

Если линия измерена на местности или на плане (например, 370 м), то для определения ее длины в масштабе аэрофотоснимка отложить ее измерителем на горизонтальной шкале (см. рис. б). Одна игла измерителя будет находиться в точке 0, а вторая – в точке *e*. Повернув циркуль вокруг точки *e*, установить иглу, которая находилась в точке 0, на наклонную линию. Отрезок *ed* будет длиной линии в главном масштабе аэрофотоснимка (см. рис. б).

Аналогично построить клиновой масштаб для среднего масштаба аэрофотоснимка и частных масштабов.

9. Анализ искажений площади контуров на аэрофотоснимке

На аэрофотоснимках площади контуров местности искажены. Искажения, обусловленные физическими факторами (дисторсией объектива, случайной деформацией снимков, атмосферной рефракцией и др.), существенно меньше геометрических искажений, вызванных углом наклона снимка α_p и рельефом местности.

Относительное максимальное искажение площади участка на снимке вследствие совместного влияния угла наклона снимка (при $\alpha_p \leq 2^\circ$) и рельефа местности можно определить по формуле

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\left[\cos(\alpha_p + \nu) - \frac{x_k}{f} \sin(\alpha_p + \nu) \right]^3}{\left[\cos \nu \frac{x_k}{f} \sin \nu \right]^2 \cos \nu} - 1, \quad (6.18)$$

где ν – угол наклона ската местности в центре контура, град;

x_k – абсцисса центра участка на снимке (за начало координат на снимке принимают главную точку 0), мм.

Формула (6.18) справедлива для случая тогда, когда наклон участка местности совпадает с направлением главной вертикали аэрофотоснимка. Эта формула может быть использована для оценки искажения площади участка произвольной формы с центром тяжести фигуры в точке k .

Про анализируя формулу (6.18).

1. Для случая, когда $\alpha_p \neq 0^\circ$, местность в пределах контура близкого к горизонтальной ($\nu = 0$):

$$\frac{\Delta p}{p} = \left(\cos \alpha_p - \frac{x_k}{f} \sin \alpha_p \right)^3 - 1. \quad (6.19)$$

После преобразования получена следующая формула:

$$\frac{\Delta p}{p} \approx 3 \frac{x_k}{f} \sin \alpha_p. \quad (6.20)$$

2. Для случая, когда $\alpha_p = 0^\circ$, а ($\nu \neq 0$):

$$\frac{\Delta p}{p} = \left| \frac{x_k}{f} \operatorname{tg} \nu \right|. \quad (6.21)$$

2.9.1. Искажение площади контура на плановом аэрофотоснимке

Для оценки искажения площади контуров, вызванных углом наклона аэрофотоснимка, выбираем на плановом аэрофотоснимке четырехугольный контур так, чтобы центр контура находился на расстоянии 5–6 см от главной точки, а местность в пределах контура близко к горизонтальной. Центр контура определим на пересечении диагоналей (рис. 6.7).

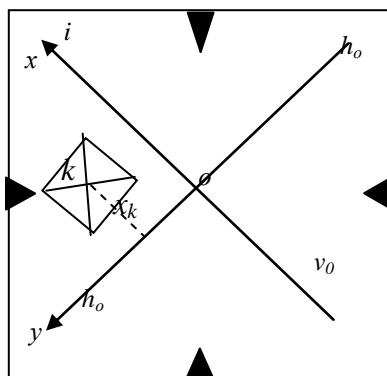


Рис. 6.7. Искажение площади контура, вызванных углом наклона аэрофотоснимка

Для расчетов необходимо измерить абсциссу x_k центра контура с точностью до 0,1 мм. Затем вычислим относительную ошибку искажения площади контура по формуле (6.20).

Например, для нулевого варианта $f=100$ мм, $\alpha_p=2^\circ 10'$. Пусть на аэрофотоснимке измеренное значение $x_k=52,2$ мм. Тогда относительная погрешность искажения площади для этого контура составит

$$\frac{\Delta p}{p} = \left| 3 \times \frac{x_k}{f} \sin \alpha_p \right| = \left| 3 \times \frac{52,2}{100} \sin 2^\circ 10' \right| = \frac{1}{17}.$$

Далее требуется вычислить для данного аэрофотоснимка радиус круга, в пределах которого должен размещаться центр контура, чтобы относительная погрешность искажения площади не превышала 1/100. Преобразовав формулу (6.20) можно вычислить допустимый радиус по следующей формуле:

$$R_{\text{доп}} = \frac{1}{3} \frac{f}{\sin \alpha_p} \frac{\Delta p}{p}. \quad (6.22)$$

Подставив в формулу (6.21) соответствующие значения, получим $R_{\text{доп}}$ равным 8,8 мм.

$$R_{\text{доп}} = \frac{1}{3} \frac{100}{\sin 2^\circ 10'} \times \frac{1}{100} = 8,8 \text{ мм.}$$

2.9.2. Искажение площади контура на гиросtabilизированном аэрофотоснимке

Для анализа искажения площади контура на гиросtabilизированном аэрофотоснимке необходимо определить радиус практически неискаженной площади (6.22).

Значение α_p примем равным $10'$, относительную погрешность искажения площади – $1/200$, значение f по варианту задания (б.для первого варианта

$f=100$ мм). Значение $R_{\text{доп}}$, вычисленное по формуле (6.22), будет равно 57,3 мм, т. е. практически в пределах большей части аэрофотоснимка искажение площадей контуров будет незначительным. Основным фактором искажения площадей на гиостабилизированном аэрофотоснимке будет рельеф местности.

Выбрать на аэрофотоснимке четырехугольный контур, центр которого располагается в пределах круга радиусом $R_{\text{доп}}$, а сам контур располагается на скате. Измерить на плане угол наклона ската ν в центре контура.

Относительную погрешность искажения площади контура, вызванную рельефом местности, за рельеф местности вычислить по формуле (6.21).

Пусть $r_k=50$ мм, $f=100$ мм и $\nu=2^\circ$. Тогда вычисленная по формуле (6.21) относительная погрешность искажения площади контура за рельеф местности составит 1/67.

$$\frac{\Delta p}{p} = \left| \frac{x_k}{f} \operatorname{tg} \nu \right| = \left| \frac{50}{100} \operatorname{tg} 2^\circ \right| = \frac{1}{67}.$$

Если точность определения площади недостаточна, то необходимо вводить в точки границы контура поправки за рельеф.

10. Связь координат точек аэрофотоснимка и местности

При изучении геометрических свойств аэрофотоснимка и его использования для измерительных целей необходимо знать элементы ориентирования, определяющие положение снимка в пространстве относительно принятой пространственной системы координат. Наиболее удобно в данном случае использовать первую систему элементов внешнего ориентирования $X_s, Y_s, Z_s, \alpha_p, \chi, t$, полагая при этом, что $t = \chi = 0, X_s = Y_s = 0$.

Выбирая те или иные системы координат аэрофотоснимка и местности (например, с началами в главной точке снимка и ее проекции, в точке нулевых искажений и ее проекции) можно получить различные зависимости между координатами точек снимка и местности.

Полагая, что начало системы плоских прямоугольных координат находится в точке нулевых искажений, то формулы связи плоских координат точек аэрофотоснимка и пространственных фотограмметрических координат соответствующих точек местности будут записаны в следующем виде:

$$\begin{aligned} X_c &= H \frac{x_c}{f - x_c \sin \alpha_p}, \\ Y_c &= H \frac{y_c}{f - x_c \sin \alpha_p}. \end{aligned} \quad (6.23)$$

В качестве исходных точек необходимо взять контурные точки A, B, D и F аэрофотоснимка. Измерить плоские координаты этих точек в системе координат с началом в точке нулевых искажений. Измерения выполняются при помощи измерителя и поперечного масштаба с точностью до 0,1 мм.

Результаты измерений и вычислений сводят в табл. 6.6.

Таблица 6.6. **Вычисление пространственных координат точек**

| Название точки | x , м | y , мм | X , м | Y , м |
|----------------|---------|----------|---------|---------|
| A | 74,9 | -4,2 | 937,5 | -52,6 |
| B | 4,50 | -70,0 | 54,6 | -849,8 |
| C | -5,0 | 64,5 | -60,5 | 779,9 |
| D | -64,0 | 5,1 | -754,9 | 60,2 |

Для этих же точек измерить на аэрофотоснимке координаты x_o, y_o в системе плоских прямоугольных координат с началом в главной точке. Формулы связи плоских координат точек аэрофотоснимка и пространственных фотограмметрических координат соответствующих точек местности в этом случае будут преобразованы к следующему виду:

$$X_o = H \frac{x_o}{(f \cos \alpha_p - x_o \sin \alpha_p) \cos \alpha_p}, \quad (6.24)$$

$$Y_o = H \frac{y_o}{f \cos \alpha_p - x_o \sin \alpha_p}.$$

Результаты измерений и вычислений сводят в таблицу, аналогичную табл. 6.