

ЛЕКЦИЯ № 5 «ТЕОРИЯ СТЕРЕОПАРЫ СНИМКОВ»

- 5.1 Элементы ориентирования стереопары*
- 5.2 Формулы координат и превышений для стереопары горизонтальных снимков*
- 5.3 Взаимное ориентирование снимков*
- 5.4 Элементы внешнего ориентирования геометрической модели*
- 5.5 Понятие об аналитическом способе внешнего ориентирования модели*

5.1 Элементы ориентирования стереопары

По одиночному снимку можно получить лишь две пространственные координаты X, Y . Для определения третьей координаты Z необходимо взять второй независимый снимок, полученный с другой точки пространства.

Каждый снимок в отдельности имеет девять элементов ориентирования, из которых три f, x_0, y_0 – элементы внутреннего ориентирования и шесть $X_s, Y_s, Z_s, \alpha, \omega, \chi$ ($X_s, Y_s, Z_s, \alpha, \omega, \chi$) – элементы внешнего ориентирования. Следовательно, стереопара снимков должна иметь элементов ориентирования в два раза больше.

На практике фотографирование с двух точек базиса чаще всего выполняют одной и той же фотокамерой, поэтому обычно считают, что элементы внутреннего ориентирования обоих снимков стереопары одинаковы.

Запишем элементы внешнего ориентирования пары снимков:

$X_{S1}, Y_{S1}, Z_{S1}, \alpha_1, \omega_1, \chi_1$ – элементы внешнего ориентирования левого снимка

$X_{S2}, Y_{S2}, Z_{S2}, \alpha_2, \omega_2, \chi_2$ – элементы внешнего ориентирования правого снимка

Вычтем из величин нижней строки аналогичные элементы верхней строки и получим:

$$\begin{aligned} \Delta X_S &= X_{S2} - X_{S1} & \Delta Y_S &= Y_{S2} - Y_{S1} & \Delta Z_S &= Z_{S2} - Z_{S1} \\ \Delta \alpha &= \alpha_2 - \alpha_1 & \Delta \omega &= \omega_2 - \omega_1 & \Delta \chi &= \chi_2 - \chi_1 \end{aligned}$$

Записанные разности характеризуют взаимное расположение правого снимка стереопары относительно левого.

Разности координат ΔX_S , ΔY_S , ΔZ_S представляют собой проекции базиса фотографирования B на соответствующие координатные оси. Их называют базисными составляющими и обозначают B_X , B_Y , B_Z . Вместо базисных составляющих B_Y и B_Z можно использовать направляющие углы:

$$\operatorname{tgi}_y = B_Y/B_X \quad \operatorname{tgi}_z = B_Z/B_X$$

которые определяют направление базиса B в системе координат XYZ .

Составляющая B_X характеризует длину базиса.

Таким образом, элементы внешнего ориентирования стереоскопической пары снимков можно представить в виде следующих двенадцати величин:

$X_{SP}, Y_{SP}, Z_{SP}, \alpha_P, \omega_P, \chi_P, B_X$ - элементы геодезического ориентирования;

$i_y, i_z, \Delta\alpha, \Delta\omega, \Delta\chi$ – элементы взаимного ориентирования.

Элементы взаимного ориентирования обладают важным свойством, широко используемым в фотограмметрии. Среди них нет линейных величин, а это значит, что правый снимок можно подориентировать к левому и получить геометрическую модель сфотографированного объекта при любой величине базиса.

5.2 Формулы координат и превышений для стереопары горизонтальных снимков

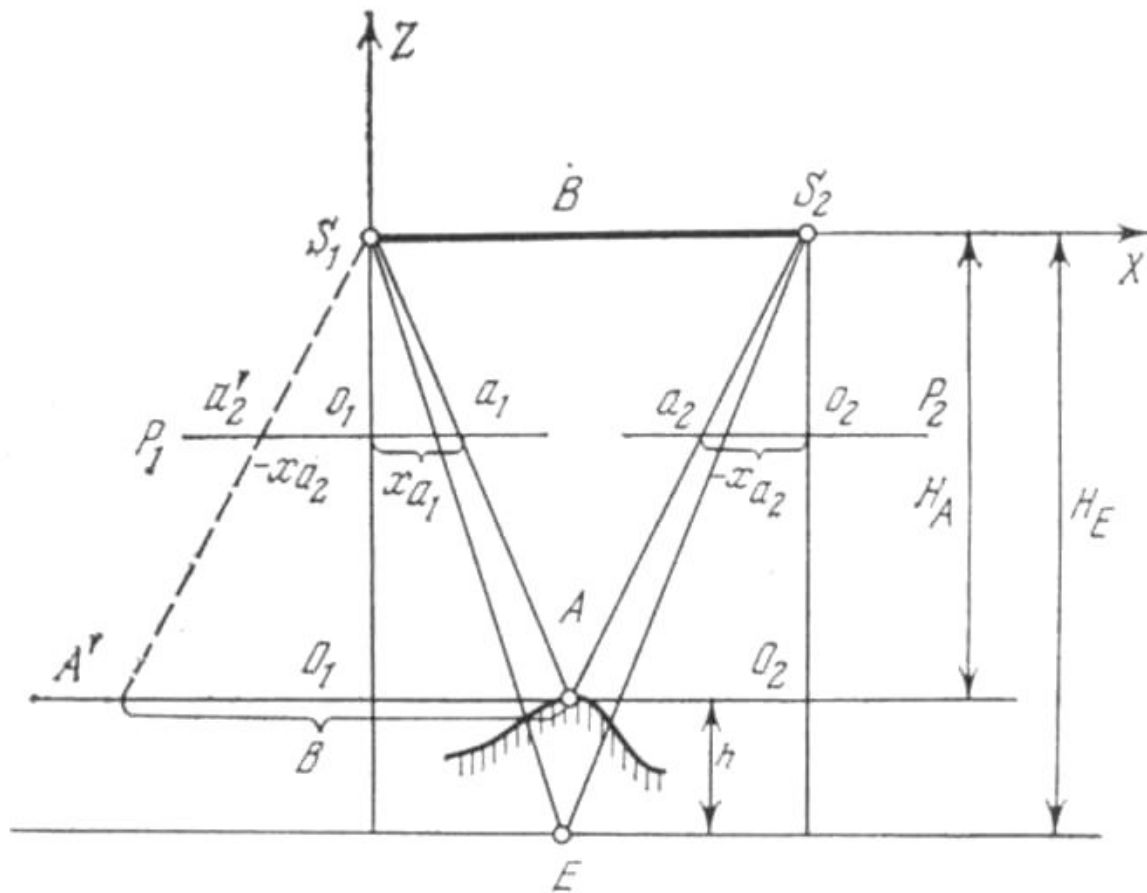


Рисунок 5.1 – К выводу формул координат и превышений для стереопары горизонтальных снимков

Найдем связь между пространственными координатами точек стереопары и пространственными координатами точек местности для идеального случая съемки, когда снимки $P1$ и $P2$ и базис фотографирования B горизонтальны, а оси xx снимков параллельны базису (рисунок 5.1).

Из подобия треугольников S_1S_2A и $S_1a_1a_2'$ получим высоту H_A левого центра фотографирования над точкой:

$$H_A = -Z_A = \frac{Bf}{(x_{a1} - x_{a2})} = \frac{Bf}{p_A}. \quad (5.1)$$

Разность абсцисс $x_1 - x_2 = p$ одной и той же точки на левом и правом снимках стереопары носит название продольного параллакса и имеет фундаментальное значение в фотограмметрии.

Абсциссу X_A точки A получим из подобия треугольников S_1AO_1 и $S_1a_1o_1$:

$$X_A = \frac{H_A x_{a1}}{f} \quad (5.2)$$

А затем, подставив значение H_A из (1), определим окончательно:

$$X_A = \frac{B}{p_A} x_{a1} \quad (5.3)$$

Аналогично можно определить ординату Y_A точки A :

$$Y_A = \frac{H_A y_{a1}}{f} = \frac{B}{p_A} y_{a1} \quad (5.4)$$

Рассмотрим величину продольного параллакса p . Из (1) можно записать:

$$p_A = B \frac{f}{H_A} = B \frac{1}{m_A} = b_A \quad (5.5)$$

откуда следует, что продольный параллакс данной точки есть базис фотографирования, выраженный в масштабе изображения ($1/m_A$) этой точки.

Формулы (5.1), (5.3) и (5.4) являются формулами связи координат точек стереопары горизонтальных снимков и пространственных координат точек сфотографированного объекта (местности).

Формулы превышений для стереопары горизонтальных снимков

Пусть на стереопаре идеального случая съемки (рисунок 5.1) кроме точки A изобразилась еще одна точка местности E . Примем эту точку за начальную и определим по стереопаре превышение h точки A над точкой E .

Из рисунка следует, что превышение h равно разности высот фотографирования H_E и H_A над точками E и A :

$$h = H_E - H_A. \quad (5.6)$$

Обращаясь к формуле (5.1), получаем:

$$h = \frac{Bf}{p_E} - \frac{Bf}{p_A} = Bf \frac{p_A - p_E}{p_E p_A} = Bf \frac{\Delta p}{p_E p_A} \quad (5.7)$$

где величина $p_A - p_E = \Delta p$ носит название разности продольных параллаксов точек A и E , откуда $p_A = p_E + \Delta p$.

Согласно (5.5) $p_E = b_E$. Кроме того $H_E = Vf/p_E$, поэтому перепишем (5.7) в следующем общем виде, опустив в обозначениях индексы:

$$h = H \frac{\Delta p}{b + \Delta p}, \quad (5.8)$$

где H – высота фотографирования над начальной точкой; b – базис фотографирования в масштабе изображения начальной точки; Δp – разность продольных параллаксов относительно начальной точки.

В отдельных случаях для приближенного определения превышений формулу (5.8) упрощают, опуская в знаменателе Δp как малую величину по сравнению с b :

$$h = \frac{H}{b} \Delta p. \quad (5.9)$$

5.3 Взаимное ориентирование снимков

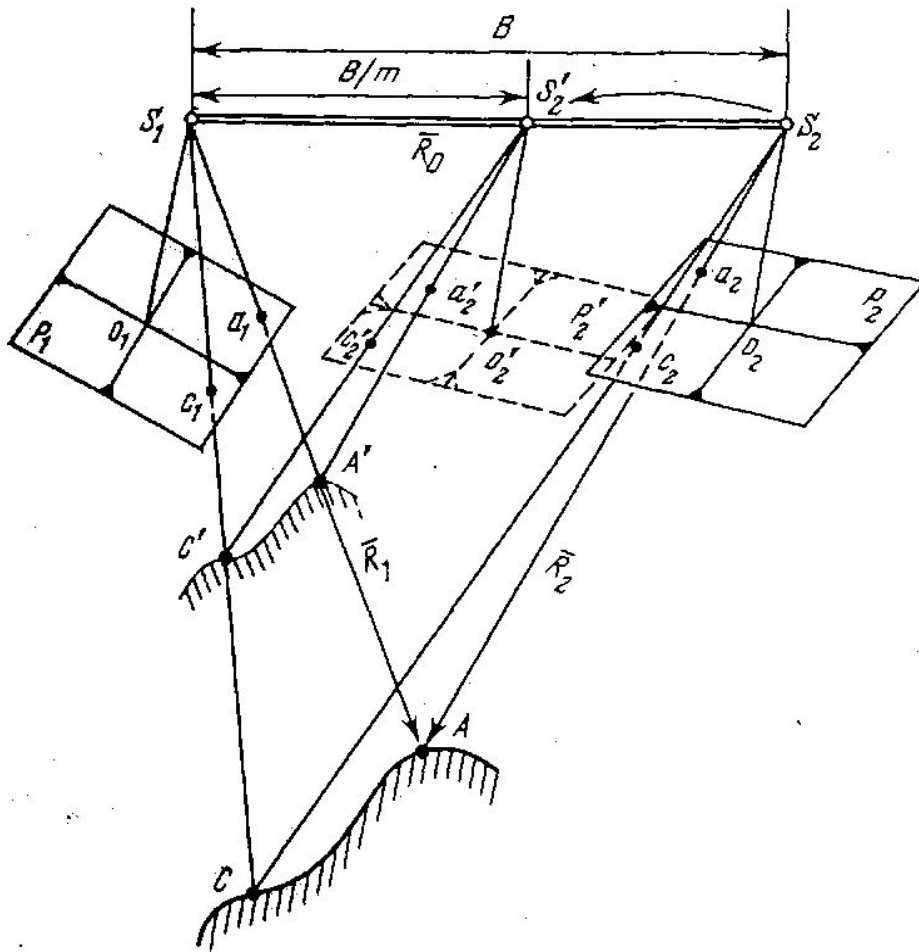


Рисунок 5.2 – Условие
взаимного
ориентирования

Условие взаимного ориентирования снимков

Важное свойство элементов взаимного ориентирования состоит в том, что, зная их, можно расположить правый снимок относительно левого так, как это было в момент фотографирования.

Тогда проектирующие лучи, проходящие через центры фотографирования левого S_1 и правого S_2 снимков (рисунок 5.2) и соответственные точки a_1 на левом и a_2 на правом снимке в пересечении определяют точку местности A . То же будет справедливо и для какой-либо другой точки и для всех остальных точек.

Таким образом, зная элементы взаимного ориентирования, можно построить *геометрическую модель местности* как совокупность точек пересечения соответственных лучей.

Таким образом, элементами взаимного ориентирования следует считать величины, определяющие взаимное положение пары снимков в пространстве, при котором выполняется условие пересечения всех соответственных проектирующих лучей, что обеспечивает построение геометрической модели.

Взаимное ориентирование двух снимков стереопары можно выполнить двумя основными способами:

- 1) оставив левый снимок P_1 неподвижным, развернуть правый снимок относительно левого; при этом, как следует из рисунка 2, величина базиса B не имеет значения;
- 2) оставив базис B неподвижным (условно горизонтальным), угловыми движениями левого и правого снимков развернуть их относительно базиса.

В связи с этим различают две системы элементов взаимного ориентирования, из которых первая носит название *системы координат левого снимка* (рисунок 5.3), а другая — *базисной системы* (рисунок 5.4).

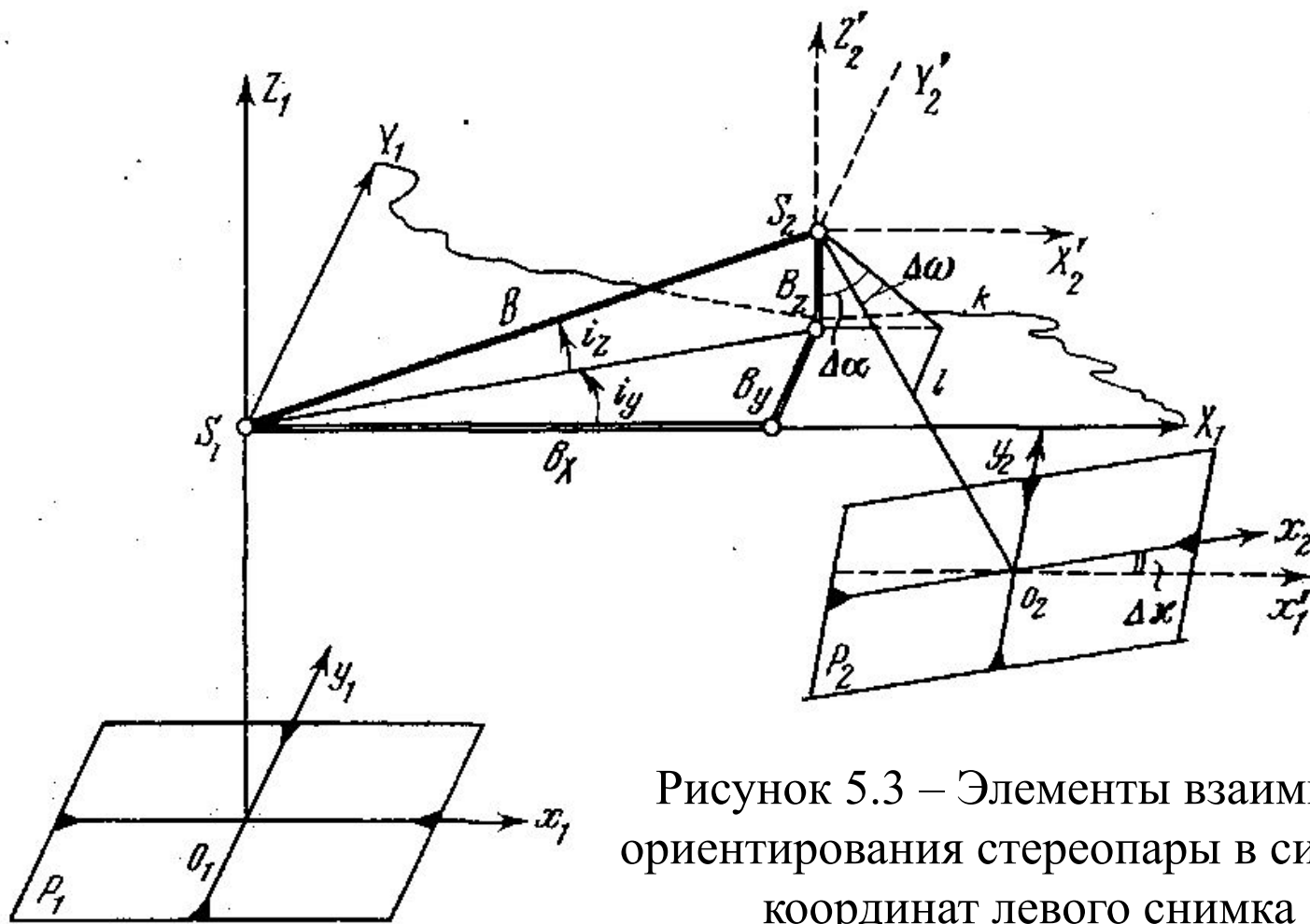


Рисунок 5.3 – Элементы взаимного ориентирования стереопары в системе координат левого снимка

В системе координат левого снимка за начало координат принимают центр проекции S_1 левого снимка (рисунок 5.3). Координатные оси $X_1 Y_1$ направляют параллельно осям x_1, y_1 плоской прямоугольной системы координат левого снимка, ось Z_1 совмещают с главным лучом $S_1 O_1$ левого снимка.

Элементами взаимного ориентирования в этой системе принимают:

i_y – угол между осью X_1 и проекцией базиса B на координатную плоскость $X_1 Y_1$;

$i_z = \nu$ – угол наклона базиса относительно плоскости левого снимка P_1 ;

$\Delta\alpha$ – взаимный продольный угол наклона правого снимка;

$\Delta\omega$ – взаимный поперечный угол наклона правого снимка;

$\Delta\chi$ – взаимный угол разворота правого снимка.

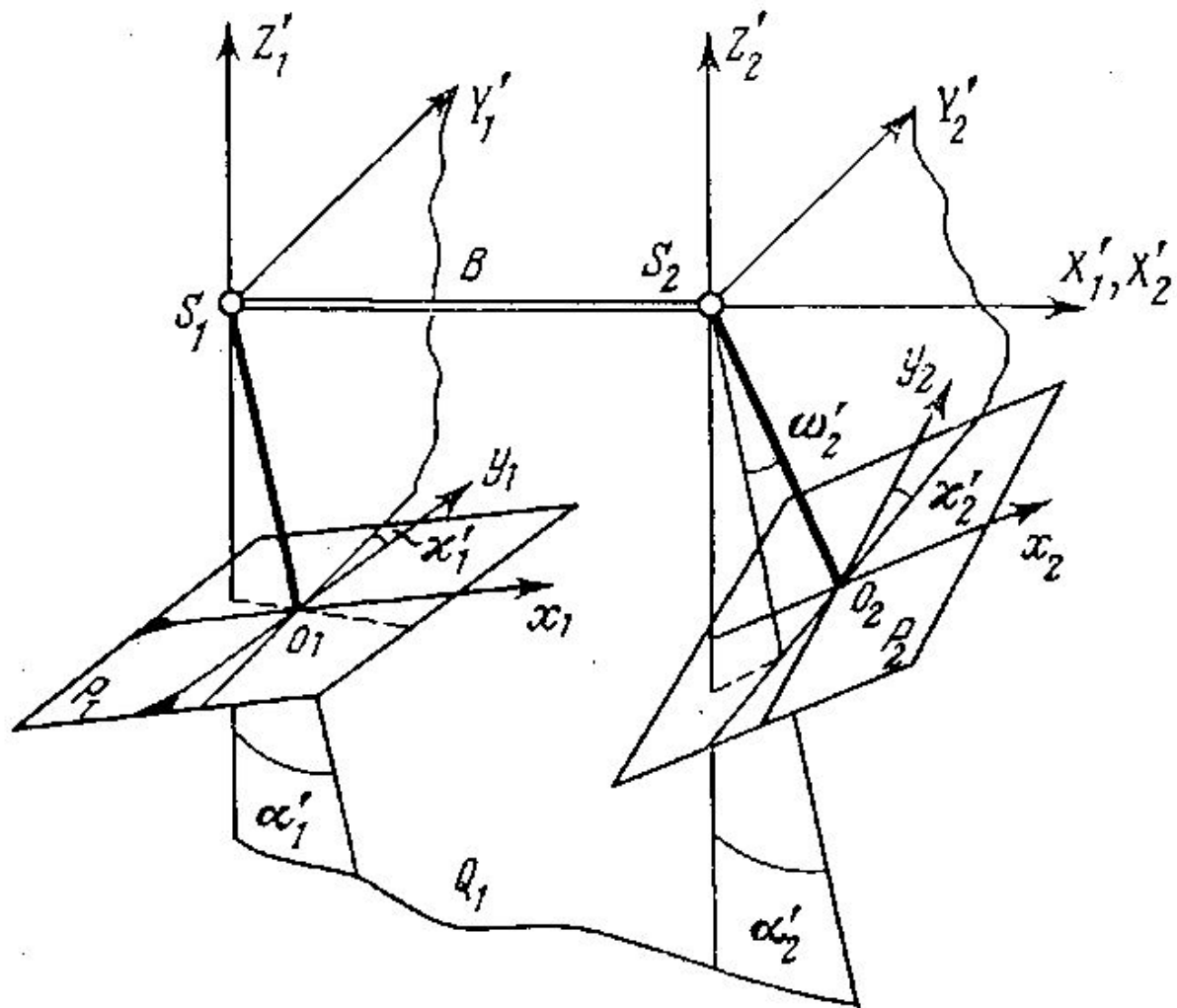


Рисунок 5.4 – Элементы взаимного ориентирования стереопары в базисной системе

В базисной системе (рисунок 5.4) элементами взаимного ориентирования являются:

α_1' - угол в главной базисной плоскости левого снимка между перпендикуляром к базису фотографирования и главным лучом левого снимка;

χ_1' - угол в плоскости левого снимка между осью y_1 и следом плоскости $S_1O_1Y_1'$, проходящей через левый центр S_1 ;

α_2' - угол в главной базисной плоскости левого снимка между перпендикуляром к базису и проекцией главного луча правого снимка;

ω_2' - угол между проекцией главного луча правого снимка на базисную плоскость левого снимка и главным лучом S_2O_2 ;

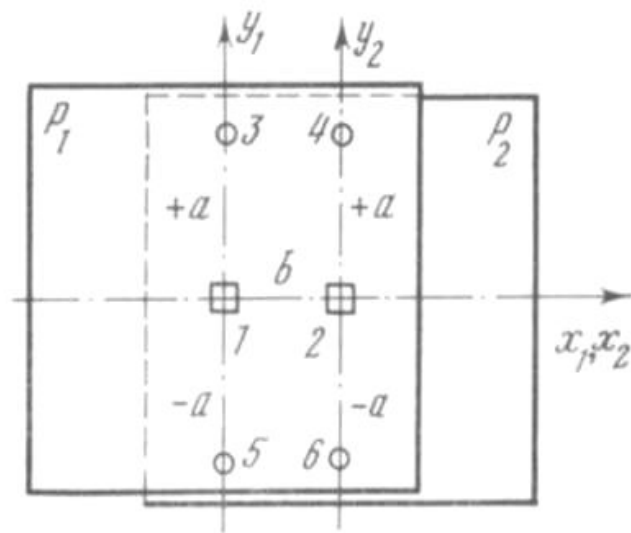
χ_2' - угол в плоскости правого снимка между его осью y_2 и следом плоскости, проходящей через главный луч правого снимка и ось S_2Y_2' .

Углы α_1' и χ_1' определяют положение левого снимка относительно неподвижного базиса, а углы α_2' , ω_2' и χ_2' - положение правого снимка относительно базиса и левого снимка.

Определение элементов взаимного ориентирования по стандартно расположенным точкам

Аналитическое решение задачи взаимного ориентирования сводится к совместному решению системы уравнений по измеренным поперечным параллаксам q и координатам x, y на минимум пяти точках стереопары.

Измерения поперечных параллаксов q на шести точках ведут на стереокомпараторе.



1 и 2 – главные точки; 3, 5 и 4, 6 – точки, расположенные на перпендикулярах к базису b , восстановленных в главных точках на одинаковых расстояниях $\pm a$.

Рисунок 5.5 – Схема стандартного расположения точек на стереопаре

Вычисляют элементы взаимного ориентирования:

$\Delta\alpha$ – разность продольных углов наклона левого и правого снимков;

$\Delta\omega$ – разность поперечных углов наклона снимка;

$\Delta\chi$ – разность углов поворота снимков в своей плоскости
по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\alpha &= f \cdot \frac{[(q_5 - q_3) - (q_6 - q_4)]}{2ab} \\ \Delta\omega &= f \cdot \frac{[(q_3 + q_4 + q_5 + q_6 - 2q_1 - 2q_2)]}{4a^2} \\ \Delta\chi &= \frac{[(q_2 + q_4 + q_6) - (q_1 + q_3 + q_5)]}{3b} \end{aligned} \right\} (5.10)$$

где f – фокусное расстояние; q_i ($i = 1 \dots 6$) – поперечные параллаксы;

$$a = 0,25 \cdot [(y_3 - y_1) + (y_4 - y_2) + (y_1 - y_5) + (y_2 - y_6)]$$

$$b = \frac{1}{3} \cdot [(x_2 - x_1) + (x_4 - x_3) + (x_6 - x_5)]$$

Для базисной системы вычисляют элементы взаимного ориентирования по формулам:

$$\alpha_1' = \frac{f}{ab}(q_6 - q_4)$$

$$\alpha_2' = \frac{f}{ab}(q_5 - q_3)$$

$$\omega_2' = \frac{f}{2a^2}(q_3 + q_5 - 2q_1) = \frac{f}{2a^2}(q_4 + q_6 - 2q_2)$$

$$\chi_1' = \frac{f}{b}\omega_2' - \frac{q_2}{b} - \frac{\omega}{6b}$$

$$\chi_2' = \frac{f}{b}\omega_2' - \frac{q_1}{b} + \frac{\omega}{6b}$$

(5.11)

Геометрическая модель, получаемая в результате выполнения процесса взаимного ориентирования стереопары снимков, произвольно расположена относительно геодезической системы координат и имеет произвольный масштаб. Происходит это потому, что при взаимном ориентировании никак не используют геодезические опорные точки, а базис проектирования выбирают произвольно.

Дальнейшей задачей является *внешнее (геодезическое) ориентирование* построенной модели, т.е. приведение ее к заданному масштабу и ориентирование ее относительно геодезической системы координат.

5.4 Элементы внешнего ориентирования геометрической модели

Ранее показано, что для стереопары аэрофотоснимков имеется семь элементов внешнего ориентирования $X_{SP}, Y_{SP}, Z_{SP}, \alpha_P, \omega_P, \chi_P, B_X$. При этом имеется ввиду, что в результате взаимного ориентирования правый снимок подоориентирован к неподвижному левому. Иными словами, использованы элементы взаимного ориентирования в системе координат левого снимка.

Если при взаимном ориентировании снимков использовалась базисная система, то в этом случае в качестве элементов внешнего ориентирования геометрической модели следует взять иную систему элементов геодезического ориентирования:

$$X_{SP}, Y_{SP}, Z_{SP}, i_y, i_z, \omega_P, B_X.$$

И в том и в другом случае внешнее ориентирование сводится к определению семи элементов внешнего ориентирования, три из которых $\alpha_P, \omega_P, \chi_P$ (i_y, i_z, ω_P) являются угловыми величинами, а остальные $X_{SP}, Y_{SP}, Z_{SP}, B_X$ — линейными.

5.5 Понятие об аналитическом способе внешнего ориентирования модели

Если элементы внешнего ориентирования модели известны, то геодезические координаты X_2, Y_2, Z_2 любой точки на этой модели можно определить по формулам:

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= X_{sl} + (a_1X + a_2Y + a_3Z) m, \\ Y_2 &= Y_{sl} + (b_1X + b_2Y + b_3Z) m, \\ Z_2 &= Z_{sl} + (c_1X + c_2Y + c_3Z) m, \end{aligned} \right\} (5.12)$$

где X_{sl}, Y_{sl}, Z_{sl} , — геодезические координаты левого центра проектирования S_1 являющегося началом фотограмметрической пространственной системы координат модели;

X, Y, Z — фотограмметрические координаты точки модели;

m — знаменатель масштаба модели;

a_i, b_i, c_i — направляющие косинусы, определяющие угловые повороты фотограмметрической системы координат модели относительно геодезической системы координат (на углы ось $\alpha_i, \omega_i, \chi_i$ или i_y, i_z, ω_i).

В формулах 5.12 семь неизвестных элементов внешнего ориентирования.

Одна опорная геодезическая точка, имеющая три пространственные координаты X_2, Y_2, Z_2 , позволяет составить три уравнения с семью неизвестными.

Следовательно, для решения задачи необходимо иметь не менее трех геодезических точек. Причем достаточно, чтобы две из них имели по три пространственные координаты. А третья имела бы только высоту.

***Спасибо за
внимание!***