

Системы координат и элементы ориентирования снимков

ЛИТЕРАТУРА

Краснопевцев Б.В. Фотограмметрия. М.: МИИГАиК, 2008.
Запрос в интернете: фотограмметрия краснопевцев.

Системы координат, применяемые в фотограмметрии

При фотограмметрической обработке снимков используют следующие прямоугольные системы координат:

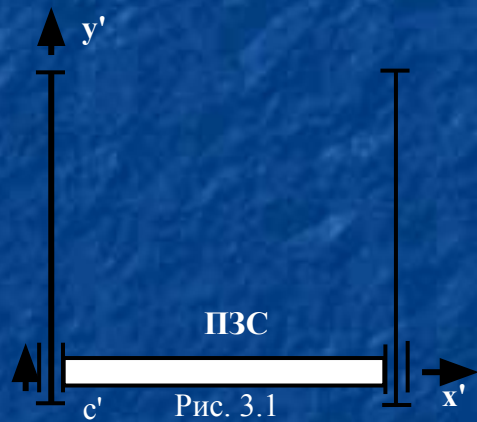
- система координат **сканера**;
- две системы координат **снимка**;
- система координат **сфотографированного объекта**;
- система координат **модели объекта**.

Т.к. в основе фотограмметрической обработки снимков лежит преобразование координат из одной системы координат в другую, необходимо обратить особое внимание на данный раздел.

Запомнив, как задаётся положение каждой из указанных систем координат, и каково их взаимное положение, легче понять описываемые в дальнейшем процессы перехода из одной системы координат в другую.

В большинстве случаев используются приведённые в справочниках по математике формулы преобразования пространственных координат. В фотограмметрии в эти формулы добавляют масштабный коэффициент, т.к. системы координат находятся в разных масштабах.

Система координат фотограмметрического сканера



Система координат сканера $c'x'y'$ задаётся направляющей y' и перемещающейся по ней кареткой x' , расположенной под углом 90° к направляющей.

На каретке закреплена светочувствительная **линейка ПЗС**.

С целью учёта инструментальных погрешностей: разномасштабность, неперпендикулярность и др., сканер периодически калибруют по контрольной сетке, представляющей собой стеклянную пластинку с выгравированными на ней взаимно перпендикулярными линиями, отстоящими друг от друга на расстоянии 10 или 5 мм.

Точность нанесения линий равна 1 мкм. Инструментальные погрешности записывают в память сканера и при сканировании снимков используют для введения поправок в координаты точек снимков.

В результате сканирования получается цифровой снимок, координаты точек которого записаны в системе координат сканера. Их необходимо преобразовать в систему координат снимка. При этом используют две системы координат.

Две системы координат аналогового снимка. Элементы внутреннего ориентирования снимка

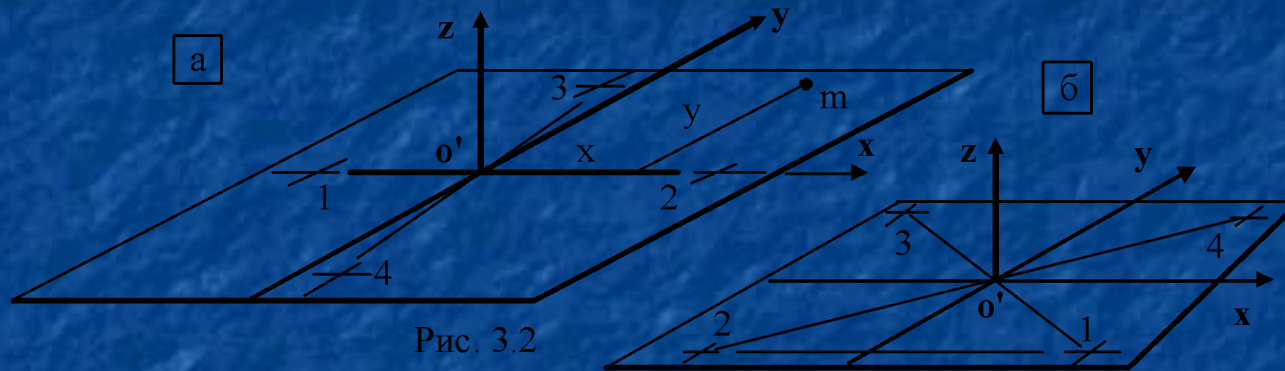


Рис. 3.2

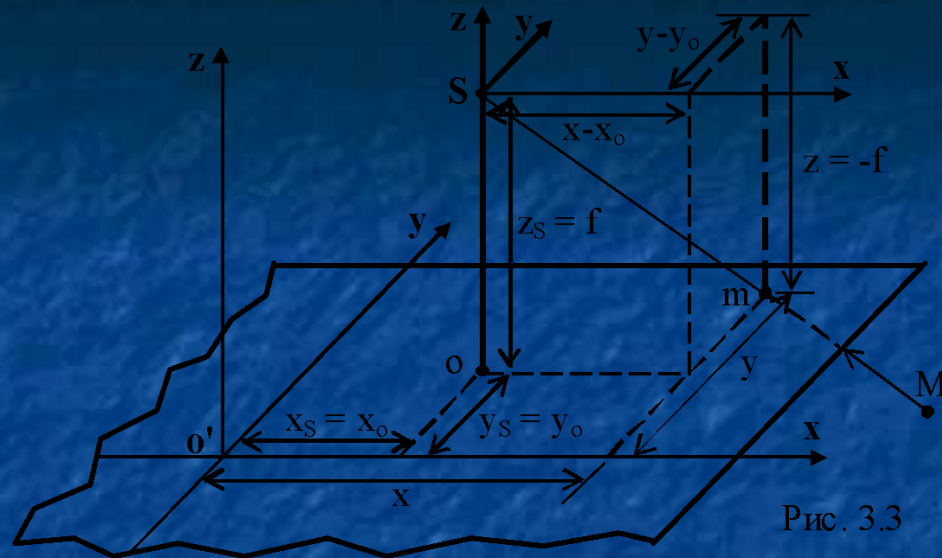
первая система: Закрепляется на снимке четырьмя **координатными метками**, которые могут располагаться посередине каждой стороны снимка (рис. 3.2, а) или в его углах (рис. 3.2, б)

В первом варианте ось x проходит через координатные метки 1 и 2. Началом системы координат служит точка o' пересечения оси x линией, соединяющей метки 3 и 4.

Ось y проходит через точку o' перпендикулярно к оси x , а ось z - через точку o' перпендикулярно к плоскости xy .

Во втором варианте началом системы координат o' служит точка пересечения линий, соединяющих метки 1, 3 и 2, 4. Ось x проходит через точку o' параллельно линии, соединяющей координатные метки 1 и 2. Оси y и z проходят так же, как и в первом варианте.

В результате измерения снимка положения его точек в системе координат $o'xyz$ будут определяться координатами $x, y, z = 0$



начало второй системы находится в **центре проекции S снимка**.

Ось z этой системы координат совмещена с **главным оптическим лучом So**.

Оси x и y параллельны соответствующим осям системы координат $o'xyz$ и имеют такие же положительные направления.

Переход к системе координат $Sxyz$ заключается **только в переносе начала отсчёта координат из точки o' в точку S**.

Для этого нужно знать координаты x_S, y_S, z_S центра проекции S в системе координат $o'xyz$. Ими являются координаты x_o, y_o **главной точки o** снимка и **фокусное расстояние f фотокамеры**, т.е. $x_S = x_o, y_S = y_o, z_S = f$.

Вычитая координаты центра проекции из координат точек снимка, измеренных в системе координат

$o'xyz$, получают **координаты точек в системе координат $Sxyz$** : $x - x_S = x - x_o, y - y_S = y - y_o, z - z_S = -f$, т.е. точка m снимка имеет координаты: **$x - x_o, y - y_o, z = -f$** .

Величины **x_o, y_o, f** называют **элементами внутреннего ориентирования снимка**.

Определив с их помощью положение центра проекции относительно снимка, можно провести проектирующие лучи через центр проекции и точки снимка, например, луч S_mM .

В результате будет восстановлена **связка проектирующих лучей, существовавшая в момент экспонирования изображения.**

Элементы внутреннего ориентирования



Система координат цифрового снимка

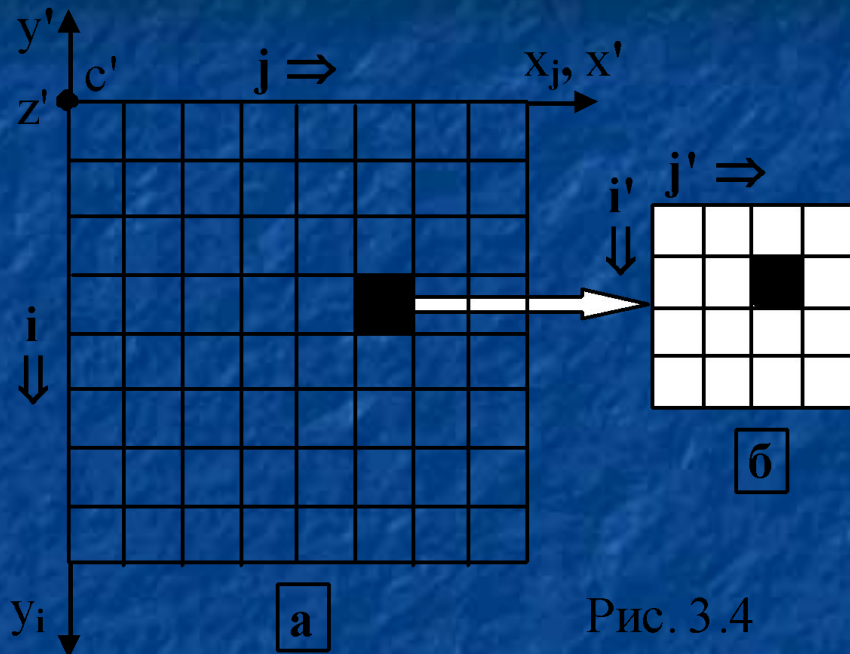


Рис. 3.4

используют **систему пиксельных координат $c'x_jy_i z'$** (рис. 3.4, а) и **систему метрических координат $c'x'y'z'$**

У этих систем координат направления осей совпадают, но начало отсчёта координат могут быть разные.

Первый пиксель является **нулевым**, т.е. у него $j = 0$ и $i = 0$. Для закрашенного на рисунке пикселя $j = 5$ и $i = 3$.

Пиксельные координаты центров пикселей рассчитывают по формулам:

$$x_j = j + 0,5, y_i = i + 0,5.$$

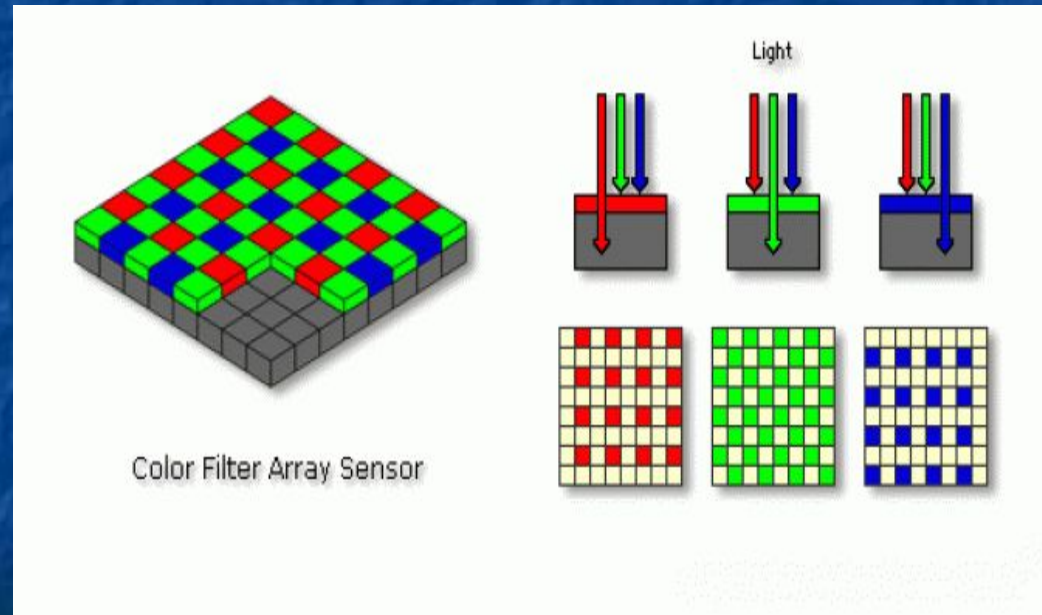
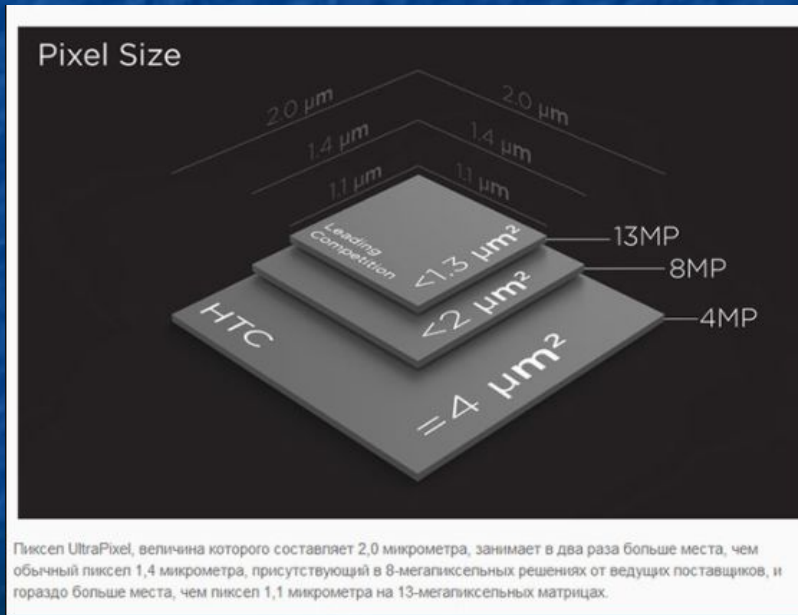
Следовательно, для нулевого пикселя пиксельные координаты $x_j = 0,5$ и $y_i = 0,5$, а для закрашенного пикселя - $x_j = 5,5$ и $y_i = 3,5$.

Для перехода от **пиксельных** координат к **метрическим** координатам, которые участвуют в дальнейших преобразованиях, используют формулы:

$$x' = \Delta x x_j \quad \text{и} \quad y' = -(\Delta x y_i),$$

где Δ - метрический размер стороны пикселя, заданный при сканировании снимка или при изготовлении матрицы цифровой фотокамеры.

Например, при $\Delta = 20$ мкм метрические координаты покрашенного пикселя будут $x' = 5,5 \times 20$ мкм = **110 мкм** и $y' = -(3,5 \times 20)$ мкм = **-70 мкм**.



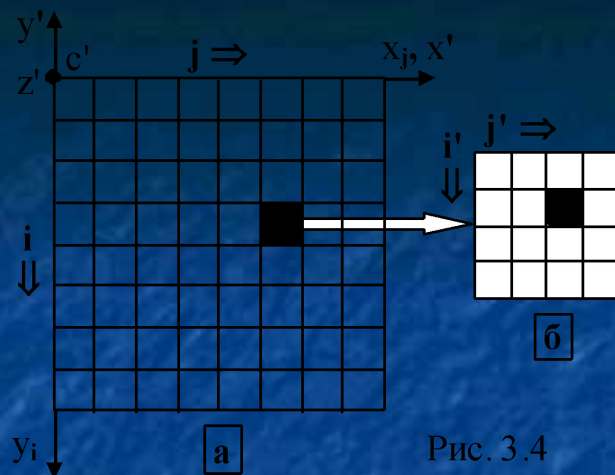


Рис. 3.4

Если при выводе снимка на экран монитора пиксель снимка будет совмещаться с пикселем монитора, то точность наведения марки на точки снимка будет находиться в пределах одного пикселя.

С целью увеличения размера изображения на экране монитора заменяют пиксель матрицы подматрицей $n \times n$ из пикселей меньшего размера (рис. 3.4, б).

Это позволяет увеличить изображение на экране монитора в n раз и выполнить измерения с точностью $1/n$ исходного размера пикселя.

На рисунке показана подматрица размером 4×4 закрашенного пикселя исходной матрицы, т.е. изображение увеличено в 4 раза.

Подматрица имеет свою систему счёта координат: j' - номер столбца и i' - номер строки, и координаты центров пикселей рассчитывают по формулам:

$$x_j = j + \frac{j'+0,5}{n}, \quad y_i = i + \frac{i'+0,5}{n}$$

На исходной матрице закрашенный пиксель имеет нумерацию $j = 5$, $i = 3$. На подматрице закрашенный пиксель имеет нумерацию $j' = 2$, $i' = 1$. Следовательно, пиксельные координаты центра закрашенного пикселя подматрицы будут

$x_j = 5 + (2 + 0,5)/4 = 5,625$, $y_i = 3 + (1 + 0,5)/4 = 3,375$, а метрические координаты при $\Delta = 20$ мкм будут $x' = 112,5$ мкм, $y' = -67,5$ мкм.

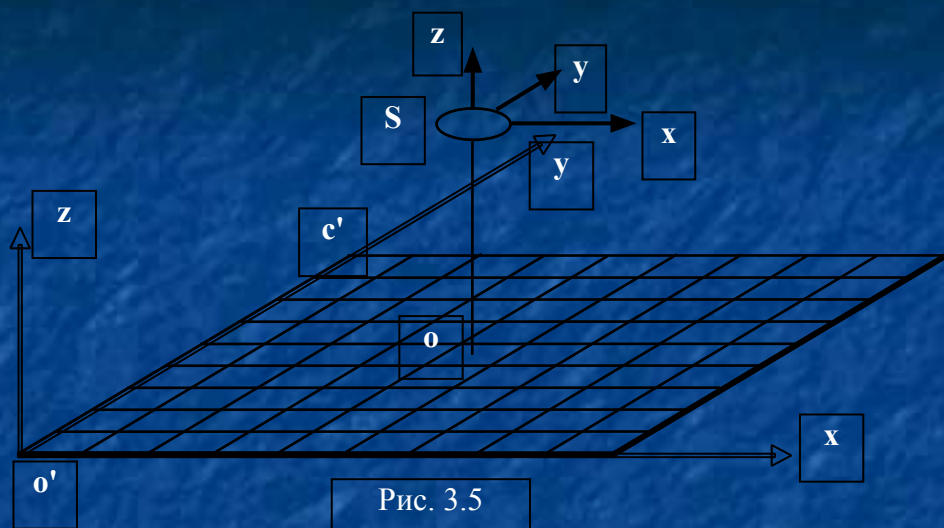


Рис. 3.5

В результате измерения цифрового снимка каждая точка в системе метрических координат $s'x'y'z'$ получает координаты $x', y', z' = 0$.

В ходе калибровки цифровой фотокамеры определяют элементы внутреннего ориентирования: x_0, y_0, f .

При этом начало системы метрических координат смещают в левый нижний угол (точка o') матрицы ПЗС (рис. 3.5) путём вычитания из координат y' расстояния $o'c'$.

В результате, координаты x_0 и y_0 главной точки o снимка будут равны половинам соответствующих сторон матрицы.

Переход к системе координат $Sxyz$ с началом в центре проекции снимка осуществляется также, как и у аналоговых снимков, путём вычитания элементов внутреннего ориентирования из координат, полученных в системе координат $o'xyz$, т.е. точки снимка будут иметь координаты: $x-x_0, y-y_0, z = -f$.

Продольный и поперечный параллаксы

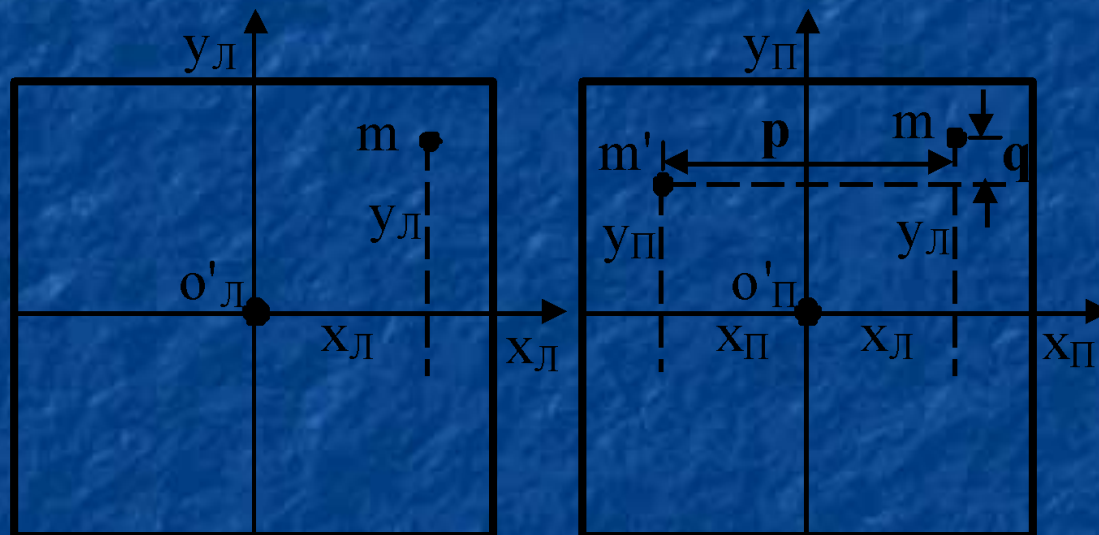


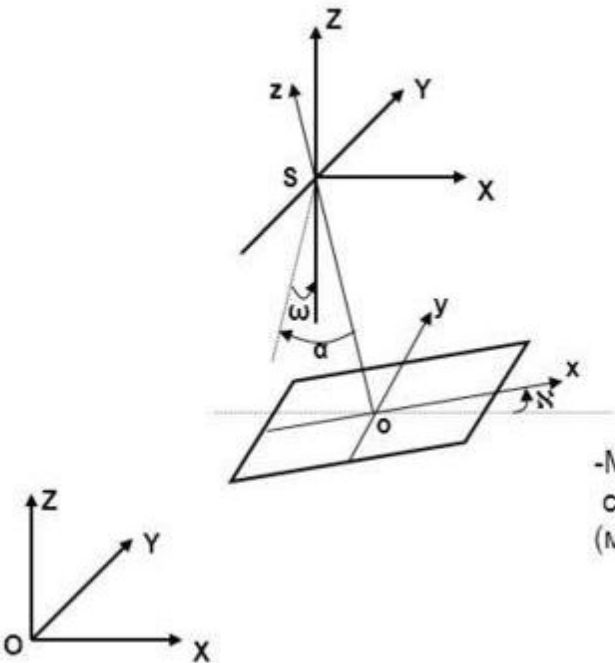
Рис. 3.6

При измерении стереопары кроме координат точек используют разности этих координат на обоих снимках, называемые **параллаксами**.

продольный: $p = x_л - x_п$,

поперечный: $q = y_л - y_п$

Система координат объекта. Элементы внешнего ориентирования снимка и пары снимков



$X_s, Y_s, Z_s, \omega, \alpha, \kappa$ - ЭВО

X_s, Y_s, Z_s - Координаты центра проекции

ω, α, κ - Углы поворота

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos Xx & \cos Xy & \cos Xz \\ \cos Yx & \cos Yy & \cos Yz \\ \cos Zx & \cos Zy & \cos Zz \end{pmatrix}$$

-Матрица поворота системы координат снимка относительно системы координат объекта (матрица направляющих косинусов)

В результате фотограмметрической обработки снимков координаты точек объекта должны быть получены в его **системе координат OXYZ**.

Если положение системы координат объекта не задано, например, при съёмке фасада здания, то координаты точек объекта определяют в **условной системе координат O'X'Y'Z'**, ориентацию которой задают с учётом конструкции объекта, или в **системе координат $S_L X_M Y_M Z_M$ фотограмметрической модели объекта**

Положение пары снимков в координатной системе OXYZ

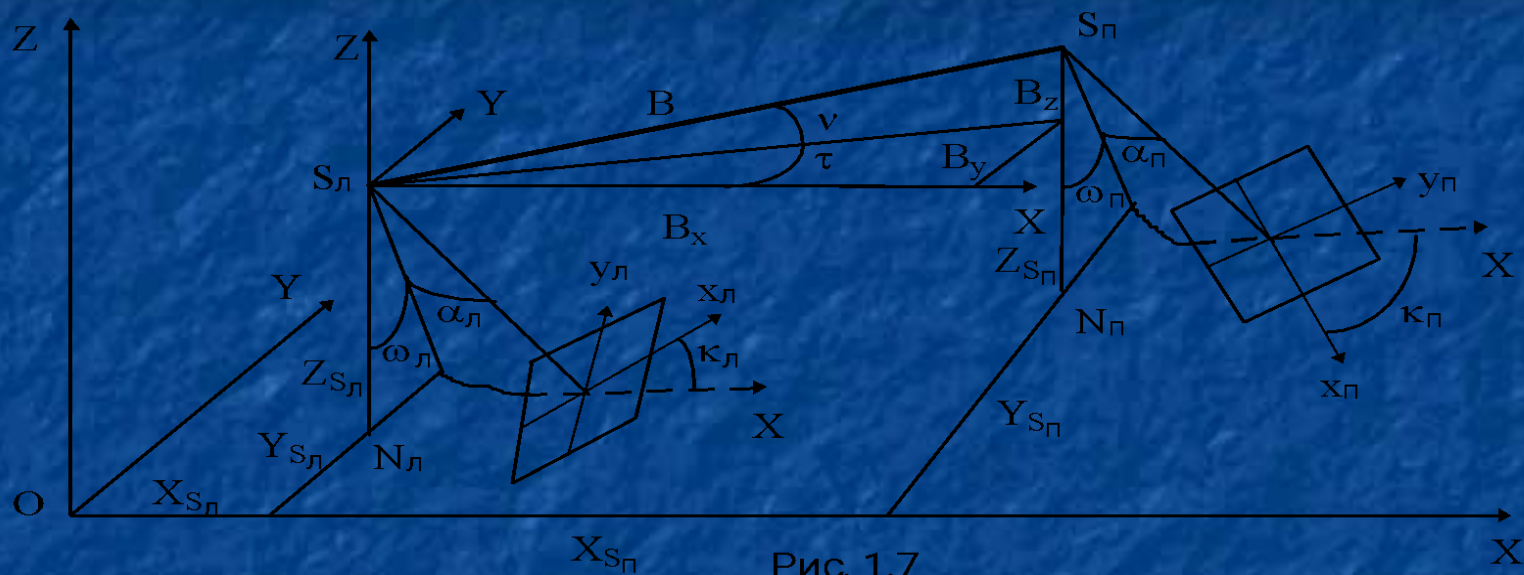


Рис. 1.7

12 элементов внешнего ориентирования:

шесть элементов внешнего ориентирования левого снимка и
шесть элементов внешнего ориентирования правого снимка:

$X_{сл'}$ $Y_{сл'}$ $Z_{сл'}$ $w_{л'}$ $a_{л'}$ $k_{л'}$ $X_{сп'}$ $Y_{сп'}$ $Z_{сп'}$ $w_{п'}$ $a_{п'}$ $k_{п'}$.

Координаты правого центра проекции можно вычислить через координаты левого центра проекции и проекции **базиса фотографирования** на координатные оси: $X_{S_{\text{П}}} = X_{S_{\text{Л}}} + B_X$, $Y_{S_{\text{П}}} = Y_{S_{\text{Л}}} + B_Y$, $Z_{S_{\text{П}}} = Z_{S_{\text{Л}}} + B_Z$. Вычисление базисных составляющих производится по формулам

$$\begin{bmatrix} B_X \\ B_Y \\ B_Z \end{bmatrix} = BA_{\nu\tau} = B \begin{bmatrix} \cos \nu \cos \tau \\ \cos \nu \sin \tau \\ \sin \nu \end{bmatrix}. \quad (3.2)$$

На основе (3.2) значения углов ν и τ можно вычислить по формулам

$$\nu = \arcsin \frac{B_Z}{B} = \arctg \frac{B_Z}{\sqrt{B_X^2 + B_Y^2}}, \quad \tau = \arctg \frac{B_Y}{B_X}. \quad (3.3)$$

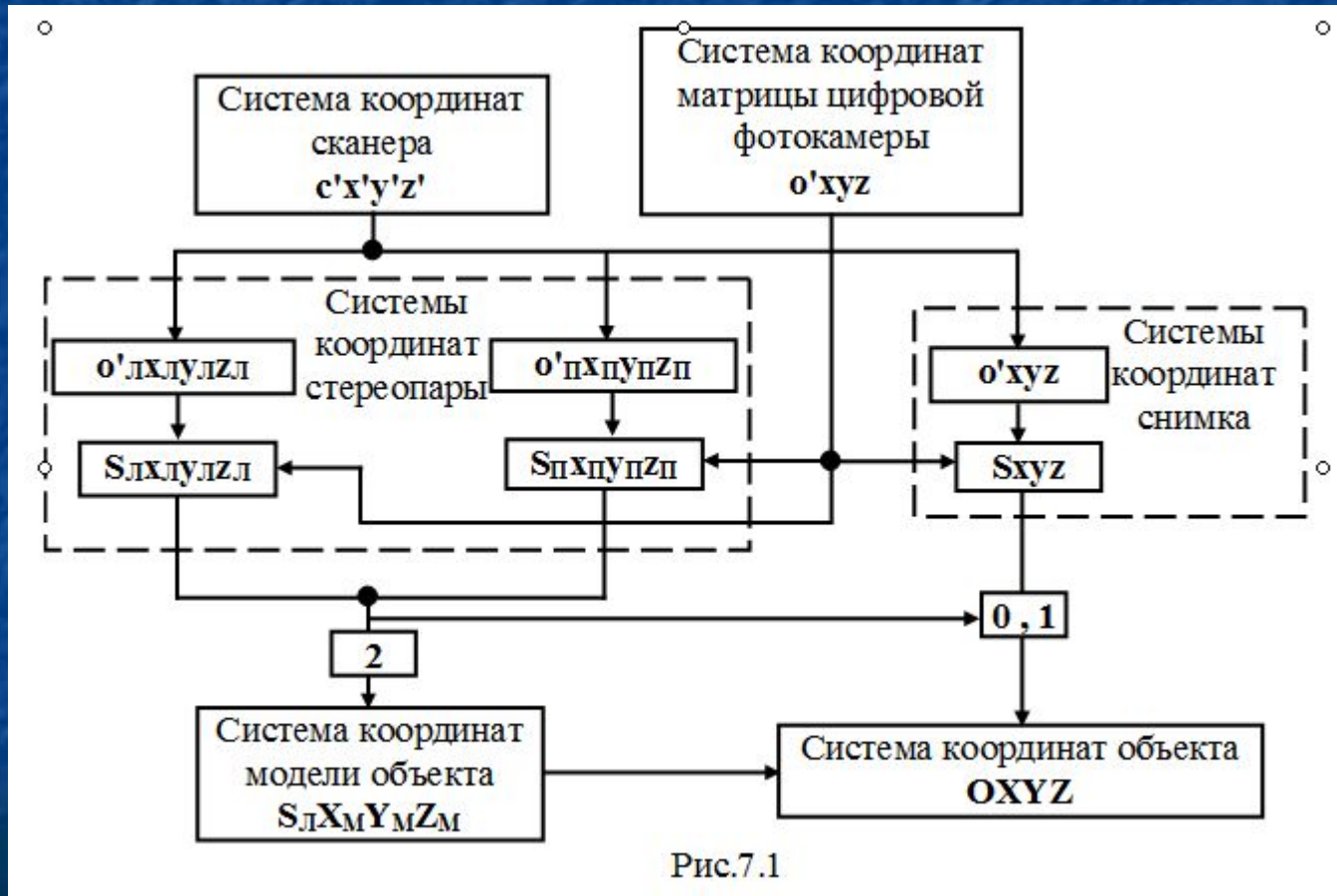
С учётом элементов ориентирования базиса **12 элементов внешнего ориентирования (3.1)** пары снимков в координатной системе $OXYZ$ можно записать в виде:

$$X_{S_{\text{Л}}}, Y_{S_{\text{Л}}}, Z_{S_{\text{Л}}}, \omega_{\text{Л}}, \alpha_{\text{Л}}, \kappa_{\text{Л}}, B, \nu, \tau, \omega_{\text{П}}, \alpha_{\text{П}}, \kappa_{\text{П}}. \quad (3.4)$$

В системе координат $S_{\text{Л}}XYZ$, параллельной координатной системе $OXYZ$, начало отсчёта координат расположено в центре проекции левого снимка, поэтому $X_{S_{\text{Л}}} = Y_{S_{\text{Л}}} = Z_{S_{\text{Л}}} = 0$. В результате для пары снимков в координатной системе $S_{\text{Л}}XYZ$ из **12 элементов внешнего ориентирования (3.4)** не равными нулю будут девять:

$$\omega_{\text{Л}}, \alpha_{\text{Л}}, \kappa_{\text{Л}}, B, \nu, \tau, \omega_{\text{П}}, \alpha_{\text{П}}, \kappa_{\text{П}}. \quad (3.5)$$

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИСТЕМ КООРДИНАТ



Технологическая схема преобразования систем координат

