

# Стереοфотограмметрическая съёмка

# Теория стереофотограмметрической обработки топографических снимков

## *Возможности зрительного аппарата человека*

- линейное (геометрическое) разрешение (острота зрения, разрешающая сила зрения) — способность воспринимать (обнаруживать) мелкие элементы в натуре или на снимках;
- линейная (геометрическая) разрешающая способность — возможность раздельного восприятия ряда одинаковых элементов, например линий;
- энергетическое разрешение — способность воспринимать яркостные (тоновые) контрасты на снимке.

Выделяют три вида зрения — монокулярное, бинокулярное и стереоскопическое. Монокулярным называют зрение одним глазом, бинокулярным — двумя глазами. Зрение стереоскопическое — частный случай бинокулярного зрения. Наблюдатель при этом воспринимает пространственное расположение разноудаленных объектов.

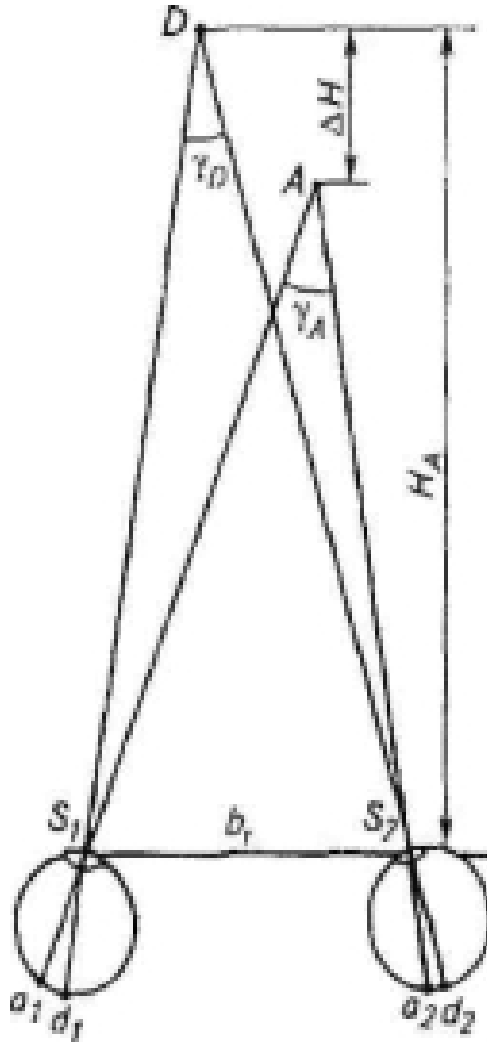
Линейное разрешение бинокулярного зрения при наблюдении контрастных деталей примерно в два раза больше, чем монокулярного.

- *Остротой стереоскопического зрения первого рода* называют минимальную разность параллактических углов двух точек  $\gamma_B - \gamma_D = \Delta\gamma$ , при которой эти точки воспринимаются разноудаленными. Она равна примерно 30".
- Аналогичное определение имеет *острота стереоскопического зрения второго рода*, но наблюдаемыми деталями здесь будут две параллельные линии. Численно острота стереоскопического зрения второго рода составляет 10".

# Стереозэффект и условия его получения

- Метод стереофотограмметрической обработки снимков при создании планов и карт основан на использовании пары перекрывающихся снимков, называемых *стереопарой*. Стереопара обладает уникальными возможностями. Первое - при определённых условиях наблюдения пары снимков возможно получение виртуального (в голове человека) объёмного изображения из двух плоских изображений в зоне перекрытия. Второе - совместная фотограмметрическая обработка стереопары позволяет получить пространственные координаты точек (X,Y,Z), изобразившихся в зоне перекрытий снимков. Получение виртуального объёмного изображения из двух плоских называют *стереозэффектом*. Принцип получения стереоскопического зрения представлен на слайде.

## Геометрическая интерпретация принципа стереоскопического зрения



$B_r$  — глазной базис;  $A$  — точка фиксации бинокулярного взора;  $S_1A$  и  $S_2A$  — лучи;  $\gamma_A$  — угол конвергенции,  $\gamma_A = S_1AS_2/HA$  — расстояние от точки фиксации до глазного базиса;  $D$  — точка, расположенная от точки  $A$  по глубине на некотором расстоянии  $\Delta H$ .

## Условия получения стереоскопического эффекта

- - наличие пары снимков, полученных с концов базиса фотографирования (пара перекрывающихся аэроснимков соответствует данному условию, так как аэрофотосъёмка - частный случай стереофотосъёмки);
- - разномасштабность снимков не должна превышать 16%;
- - базисы фотографирования снимков должны лежать на одной прямой, параллельной главному базису наблюдателя;
- - условие разделения зрения - левый глаз наблюдателя должен видеть только левый снимок, правый глаз - правый снимок. Раздельное восприятие изображений достигается различными способами.

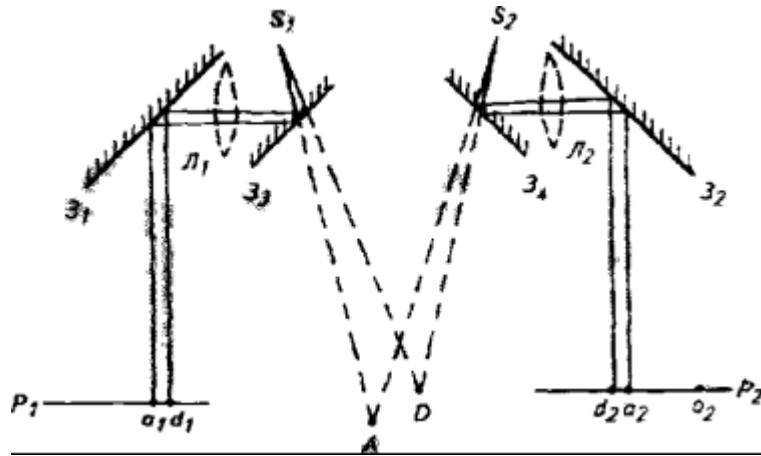
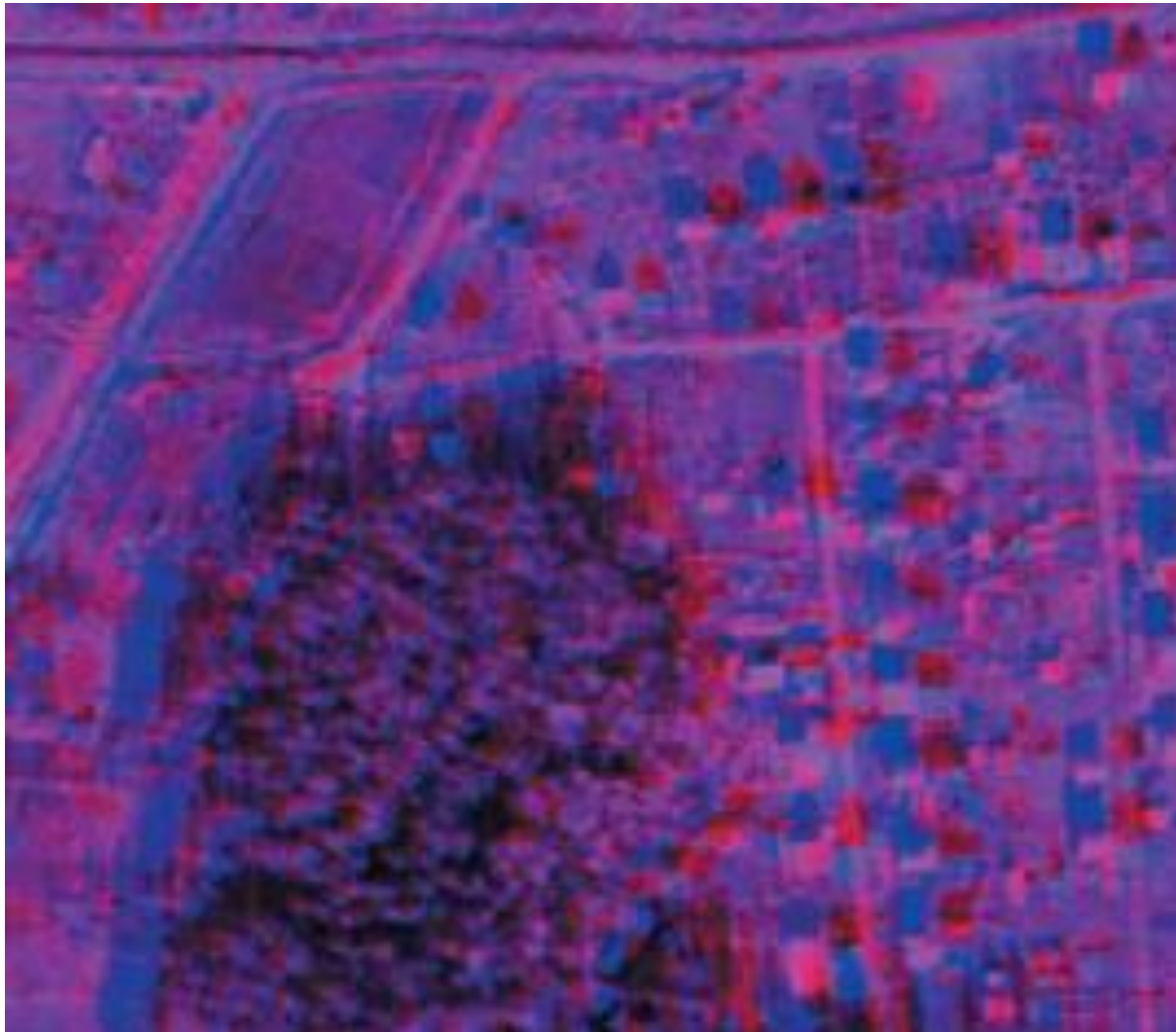


Схема левой и правой связки проектирующих лучей в стереоскопе

- При получения стереоэффекта при компьютерной обработке снимков выделяют следующие способы: оптический, анаглифический, чересстрочный, переключения страниц, с помощью стереомонитора на базе двух ЖК – дисплеев.

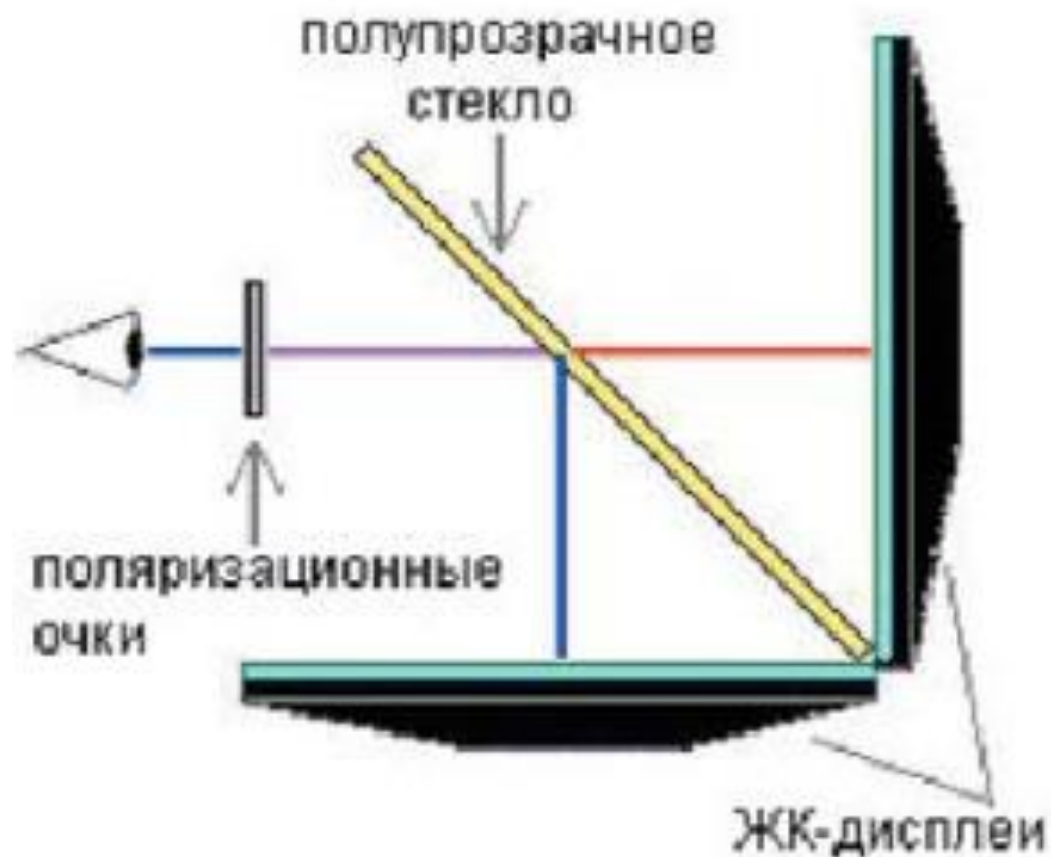


**Оптический способ получения стереоскопического изображения**



**Анаглифический способ получения стереоскопического изображения**





### Схема стереомонитора на базе двух ЖК – дисплеев

Использование стереоэффекта повышает надёжность распознавания объектов, имеющих высоту, и точность нанесения их границ (здания, лесные массивы, элементы рельефа и т.п.).

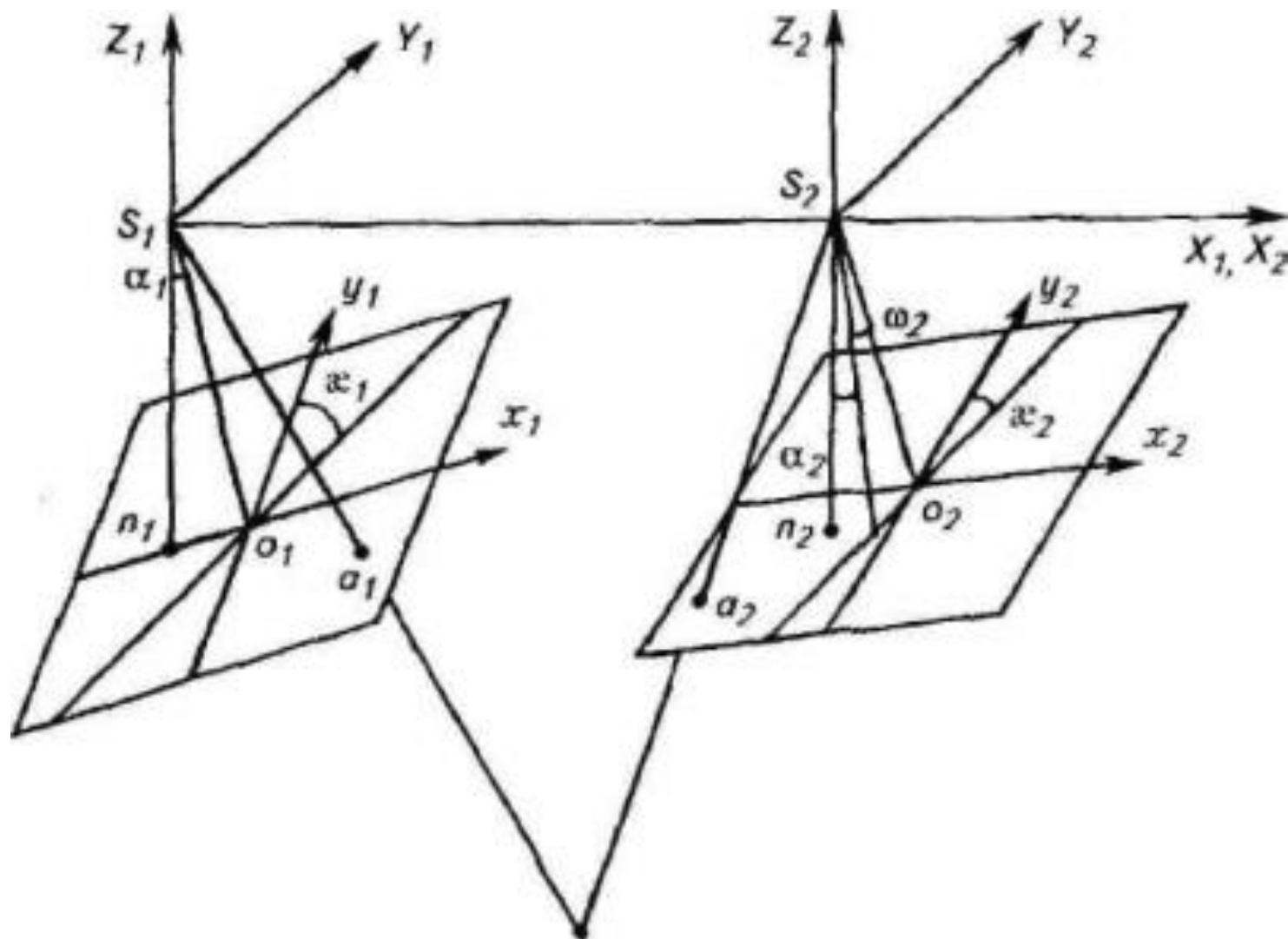
## Элементы внешнего ориентирования пары аэрофотоснимков

- Изображения одной и той же точки местности на двух снимках стереопары называют *соответственными точками*. Проектирующие лучи, проходящие через соответственные точки, называются *соответственными лучами*.
- Разность абсцисс соответственных точек стереопары называется продольным параллаксом  $p$
- $p = x_1 - x_2$ ,
- а разность ординат соответственных точек стереопары называется поперечным параллаксом  $q$
- $q = y_1 - y_2$ .
- Элементы внешнего ориентирования пары аэрофотоснимков определяют их пространственное положение во время фотографирования. К ним относятся:
- $X_{S_1}, Y_{S_1}, Z_{S_1}; X_{S_2}, Y_{S_2}, Z_{S_2}$  – геодезические координаты
- левого и правого центров проекции  $S_1$  и  $S_2$ ;
- $\alpha_1, \omega_1, \kappa_1; \alpha_2, \omega_2, \kappa_2$  - углы наклона и поворота левого и правого снимков.

## Элементы взаимного ориентирования пары аэрофотоснимков

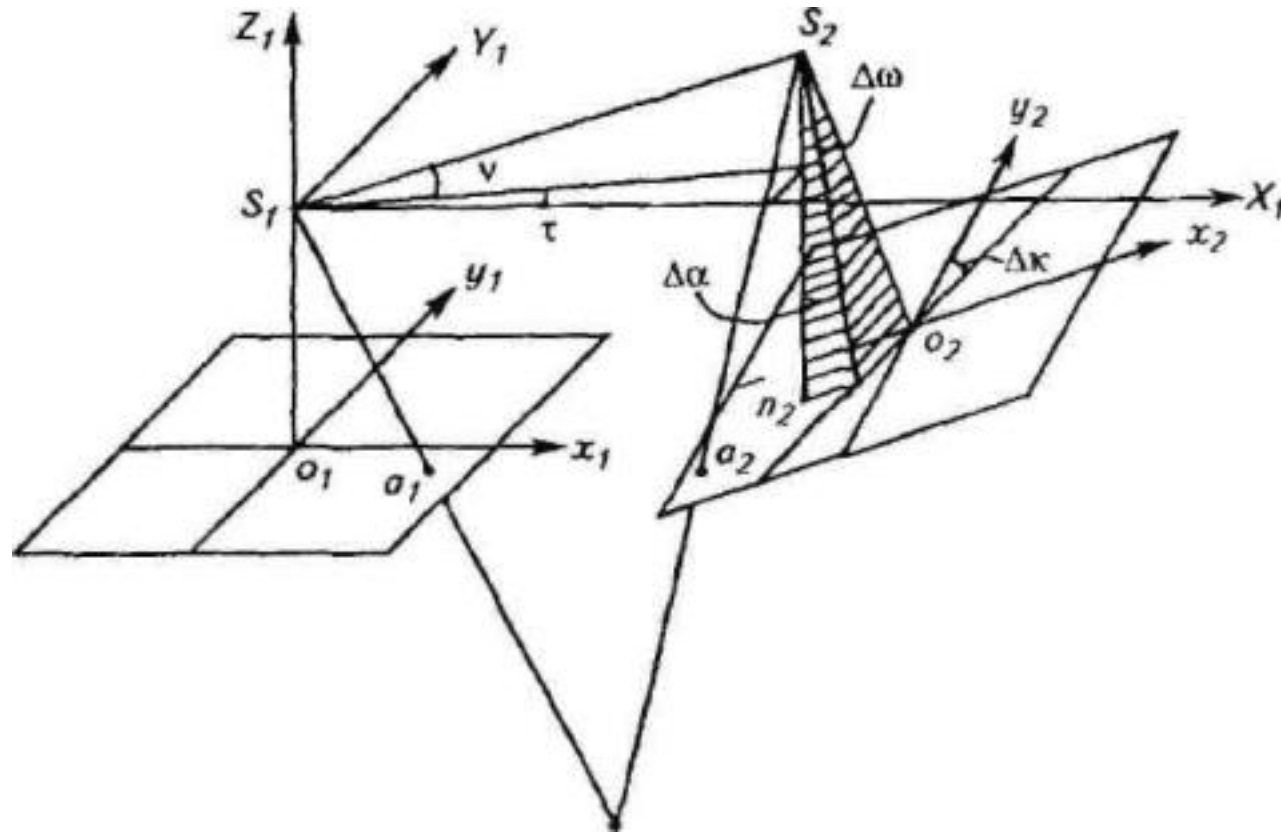
- Изображения одной и той же точки местности на двух снимках стереопары называются соответственными точками. Проектирующие лучи, проходящие через соответственные точки, называются соответственными лучами.
- Элементы взаимного ориентирования — угловые элементы — определяют взаимное положение пары снимков во время фотографирования, при котором каждая пара соответственных лучей пересекается. Всё множество точек пересечения соответственных лучей является пространственной *фотограмметрической моделью местности*.
- В фотограмметрии используются две системы взаимного ориентирования пары снимков, которые отличаются выбором системы пространственных координат. В обеих системах началом является левый центр фотографирования  $S_l$ . В первой системе — базисной — ось  $X$  совмещена с базисом фотографирования, главный луч левого снимка находится в плоскости  $XZ$  (рис.6.6). Таким образом, в этой системе координат у левого снимка отсутствует поперечный угол наклона  $\omega_1$ .
- Элементами взаимного ориентирования в базисной системе являются пять углов:  $a_1$ ,  $\kappa_1$ ,  $a_2$ ,  $\omega_2$ ,  $\kappa_2$

# Базисная система элементов взаимного ориентирования пары снимков



Элементами взаимного ориентирования в базисной системе являются пять углов:  $\alpha_1$ ,  $\kappa_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\omega_2$ ,  $\kappa_2$

## Горизонтальная система элементов взаимного ориентирования пары снимков



Оси  $X$ ,  $Y$  соответственно параллельны осям  $x$ ,  $y$  левого снимка, ось  $Z$  совпадает с его главным лучом. У левого снимка в этой системе координат отсутствуют углы наклона и поворота. Угловыми элементами ориентирования правого снимка являются: взаимные углы наклона снимков  $\Delta\alpha$  — продольный,  $\Delta\omega$  — поперечный и  $\Delta\kappa$  — угол поворота снимков. Направление базиса фотографирования определяют углы  $\tau$  (горизонтальный угол поворота базиса) и  $\nu$  (вертикальный угол наклона базиса).

Элементы взаимного ориентирования в горизонтальной системе:  $\Delta\alpha$ ,  $\Delta\omega$ ,  $\Delta\kappa$ ,  $\tau$ ,  $\nu$

## *Взаимное ориентирование пары аэрофотоснимков*

Условие пересечения пары соответственных лучей — их принадлежность одной базисной плоскости. Если два снимка взаимно ориентированы, то любая пара соответственных точек лежит в одной базисной плоскости, т. е. четыре точки  $S_1, S_2, a_1, a_2$  принадлежат одной плоскости (рис.6.8). Это условие называют условием компланарности проектирующих лучей. Аналитически оно выражается в виде уравнения взаимного ориентирования. Для плановых снимков оно имеет вид:

в базисной системе

$$-\frac{x_1 y_2}{f} \alpha_1 + \frac{x_2 y_1}{f} \alpha_2 + \left( f + \frac{y_1^2}{f} \right) \omega_2 - x_1 \alpha_1 + x_2 \alpha_2 - q = 0;$$

в горизонтальной систем<sup>^</sup>

$$p\tau + \frac{y_1 p}{f} v + \frac{x_2 y_1}{f} \Delta\alpha + \left( f + \frac{y_1^2}{f} \right) \Delta\omega + x_2 \Delta\alpha - q = 0;$$

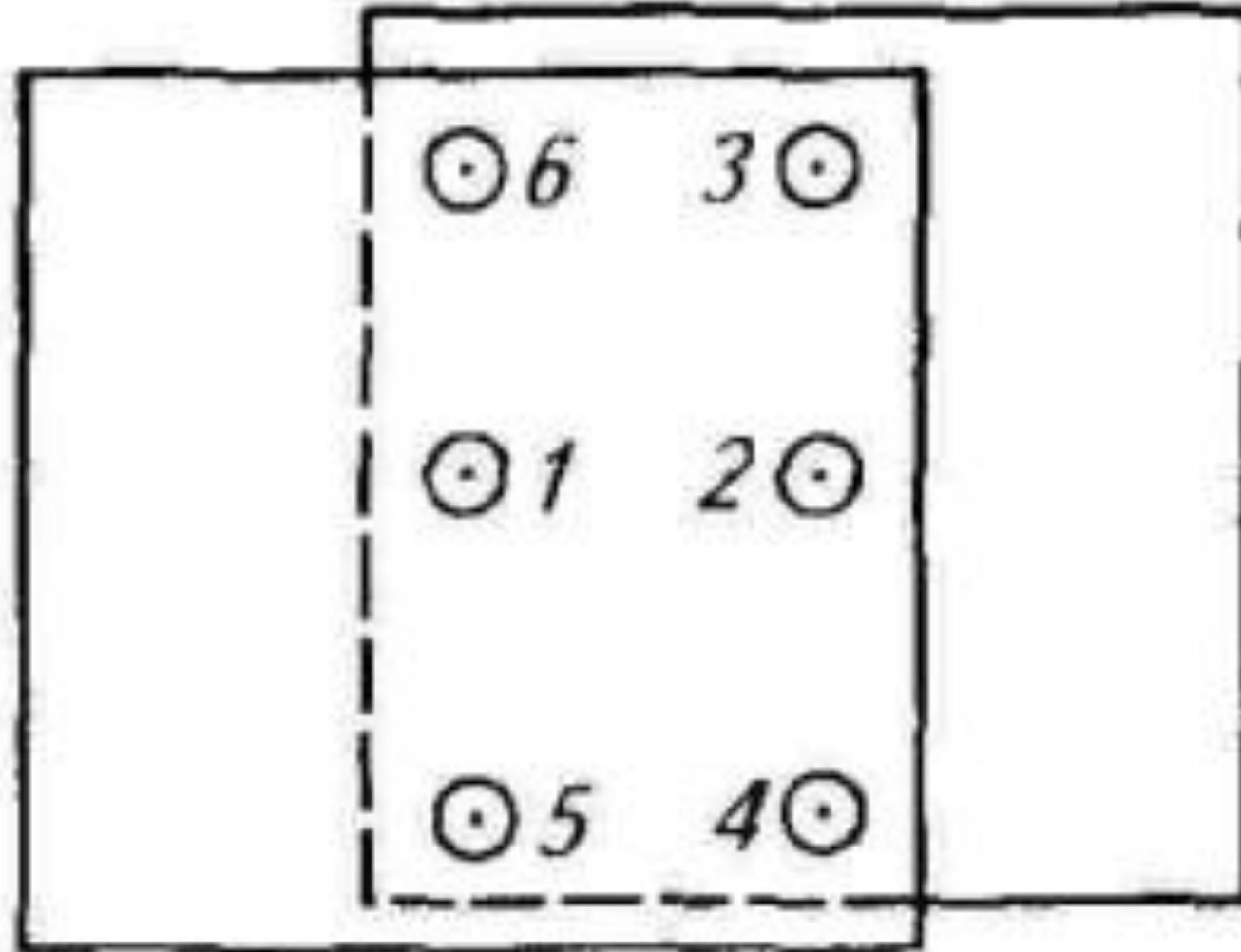
где

$x_1, y_1; x_2, y_2$  — координаты соответственных точек на левом и правом снимках стереопары в системах координат левого и правого снимков;

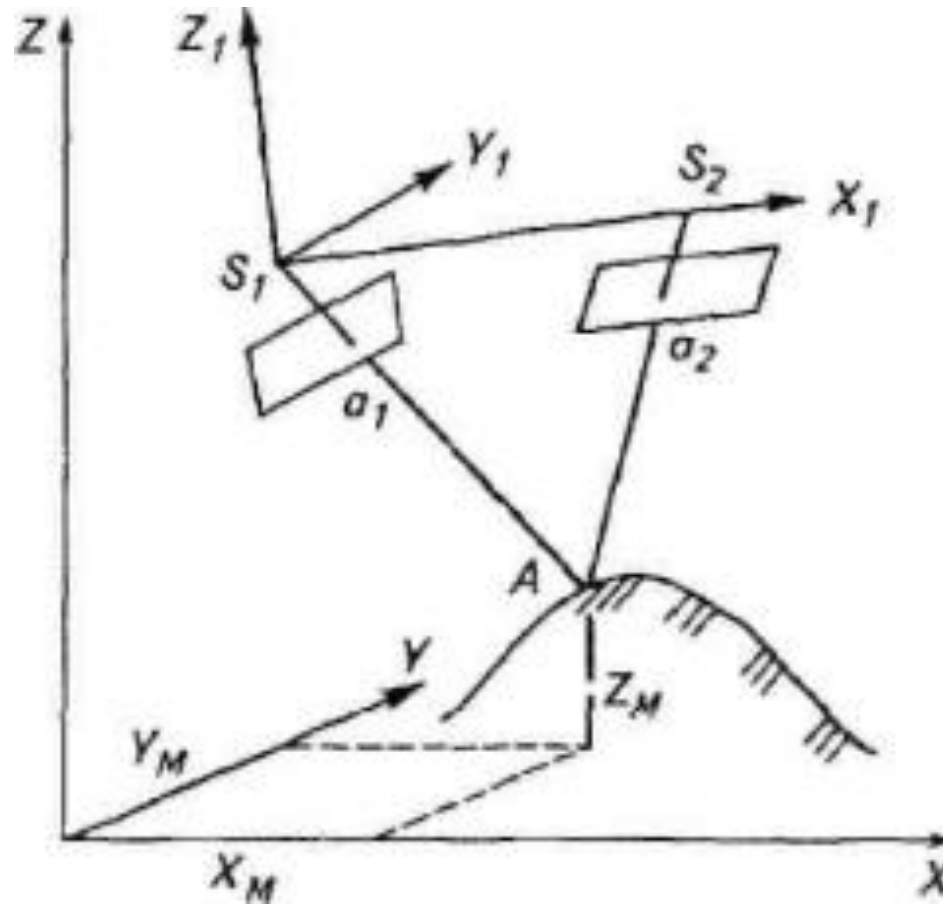
$p$  — продольный параллакс определяемой точки;

$q$  — поперечный параллакс той же точки

**Стандартная схема расположения точек в зоне двойного продольного перекрытия для взаимного ориентирования пары снимков**



*Определение пространственных фотограмметрических координат точек модели местности*



**Принцип определения пространственных координат точек фотограмметрической модели**



- Пространственные координаты  $(X^M, Y^M, Z^M)$  точек фотограмметрической модели определяют в системе координат, в которой определены элементы взаимного ориентирования (в базисной или в горизонтальной системе), по следующим формулам:

$$X^M = NX_1; Y^M = NY_1; Z^M = NZ_1$$

где  $X_1, Y_1, Z_1$  — пространственные координаты точки левого снимка в системе координат построения модели, которые в общем случае зависят от элементов взаимного ориентирования;  $N$  — масштабный коэффициент, определяющий масштаб построенной модели и зависящий от величины базиса проектирования  $b$ , элементов взаимного ориентирования и измеренных координат соответственных точек в объектере. Масштабный коэффициент  $N$  вычисляется по формуле

$$N = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ B_x & B_y & B_z \\ X_2 & Y_2 & Z_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ X_1 & Y_1 & Z_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 \end{vmatrix}}$$

где

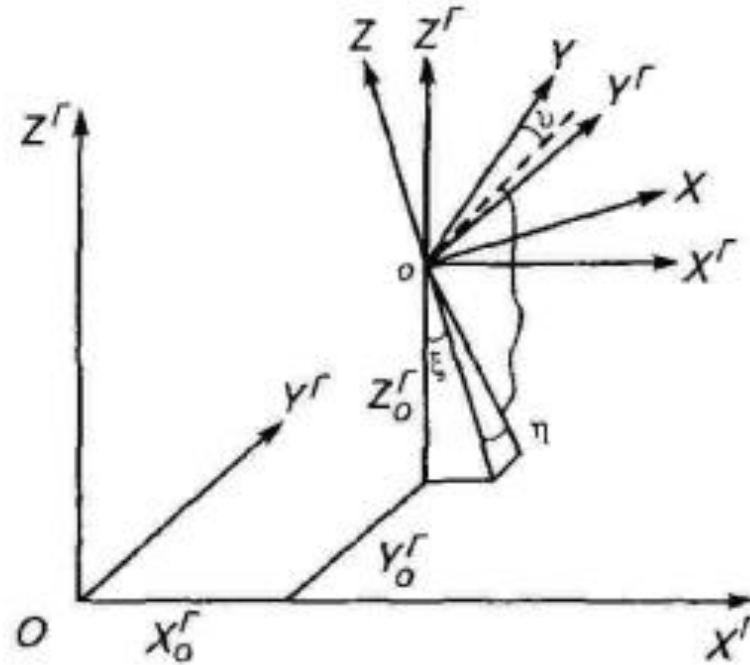
$B_x, B_y, B_z$  — проекции базиса проектирования на соответствующие оси координат,

$X_1, Y_1, Z_1$  — пространственные координаты точки левого снимка в системе координат построения модели,

$X_2, Y_2, Z_2$  — пространственные координаты точки правого снимка в той же системе координат.

## *Внешнее ориентирование фотограмметрической модели местности*

Внешнее ориентирование фотограмметрической модели местности позволяет перейти от ее фотограмметрических координат к геодезическим координатам точек местности. Элементы внешнего ориентирования модели местности определяют ее масштаб и положение в геодезическом пространстве.



Их семь:

$t$  — знаменатель масштаба модели,  $t=B/b$  ( $B$  — базис фотографирования ;  $b$  — базис проектирования);

$X_o^r; Y_o^r; Z_o^r$  — геодезические координаты начала фотограмметрической системы координат. В случае использования описанных ранее систем взаимного ориентирования это геодезические координаты левого центра фотографирования  $S_1$ .

$\xi, \eta, u$  — углы наклона и поворота модели относительно геодезической системы координат.

Геодезические координаты точек местности и фотограмметрические координаты тех же точек модели связаны зависимостями:

$$\begin{aligned} X^{\Gamma} &= X_o^{\Gamma} + (a_1 X^M + a_2 Y^M + a_3 Z^M) t; \\ Y^{\Gamma} &= Y_o^{\Gamma} + (b_1 X^M + b_2 Y^M + b_3 Z^M) t; \\ Z^{\Gamma} &= Z_o^{\Gamma} + (c_1 X^M + c_2 Y^M + c_3 Z^M) t, \end{aligned}$$

где  $a_{1..3}; b_{1..3}; c_{1..3}$  — направляющие косинусы, являющиеся функциями угловых элементов  $\xi, \eta, \omega$  внешнего ориентирования модели.

## Прямая фотограмметрическая засечка по паре снимков

Определить геодезические координаты точек местности по паре снимков можно на основе использования уравнений коллинеарности. Для этого необходимо знать элементы внешнего ориентирования левого и правого снимков. Тогда для любой точки местности, расположенной в зоне перекрытия, можно составить систему из четырёх известных уравнений коллинеарности.

$$X^r = X_{S_1}^r + (Z^r - Z_{S_1}^r) \frac{a_1(x_1 - x_0) + a_2(y_1 - y_0) - a_3 f}{c_1(x_1 - x_0) + c_2(y_1 - y_0) - c_3 f};$$

$$Y^r = Y_{S_1}^r + (Z^r - Z_{S_1}^r) \frac{b_1(x_1 - x_0) + b_2(y_1 - y_0) - b_3 f}{c_1(x_1 - x_0) + c_2(y_1 - y_0) - c_3 f};$$

$$X^r = X_{S_2}^r + (Z^r - Z_{S_2}^r) \frac{a'_1(x_2 - x_0) + a'_2(y_2 - y_0) - a'_3 f}{c'_1(x_2 - x_0) + c'_2(y_2 - y_0) - c'_3 f};$$

$$Y^r = Y_{S_2}^r + (Z^r - Z_{S_2}^r) \frac{b'_1(x_2 - x_0) + b'_2(y_2 - y_0) - b'_3 f}{c'_1(x_2 - x_0) + c'_2(y_2 - y_0) - c'_3 f}.$$

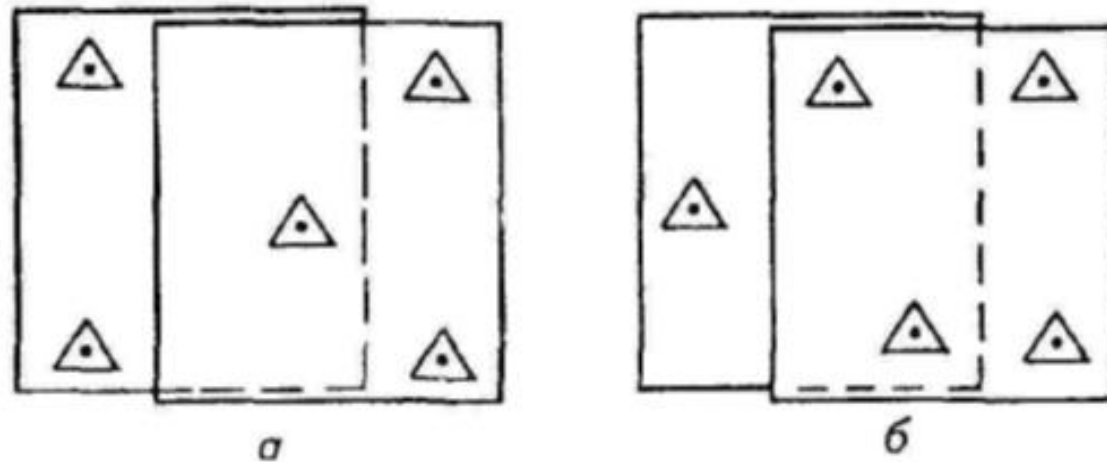
В полученной системе уравнений искомыми величинами являются  $X^r$ ,  $Y^r$ ,  $Z^r$  — геодезические координаты точки местности.

Для определения двенадцати элементов внешнего ориентирования снимков:

$$X_{S_1} Y_{S_1} Z_{S_1} \alpha_1 \omega_1 \varphi_1 X_{S_2} Y_{S_2} Z_{S_2} \alpha_2 \omega_2 \varphi_2$$

используют опорные точки, которые обязательно должны быть планово-высотными, но не обязательно располагаться в зоне перекрытия снимков.

Возможные схемы расположения опорных точек показаны на рис



## Планово-высотная подготовка (привязка) аэрофотоснимков

-Фотограмметрическая обработка, как одиночного снимка, так и пары снимков предполагает наличие опорных точек. Если в результате привязки у каждой опорной точки определяют все три геодезические координаты, то привязку называют *планово-высотной*, если только плановые координаты – *плановой*, если только высотную координату – *высотной*.

-В качестве опорных точек выбирают надёжно идентифицируемые на снимках точки местности. Привязку, обеспечивающую каждый снимок или каждую стереопару опорными точками в количестве, необходимом для фотограмметрической обработки, называют *сплошной*. При расположении точек через нескольких базисов привязку называют *разреженной*.

-Привязка аэрофотоснимков состоит из нескольких этапов: подготовки материалов; составления проекта привязки; рекогносцировки и закрепления на местности опорных точек; полевых измерений; вычислительных работ; оформления материалов и сдачи работ.

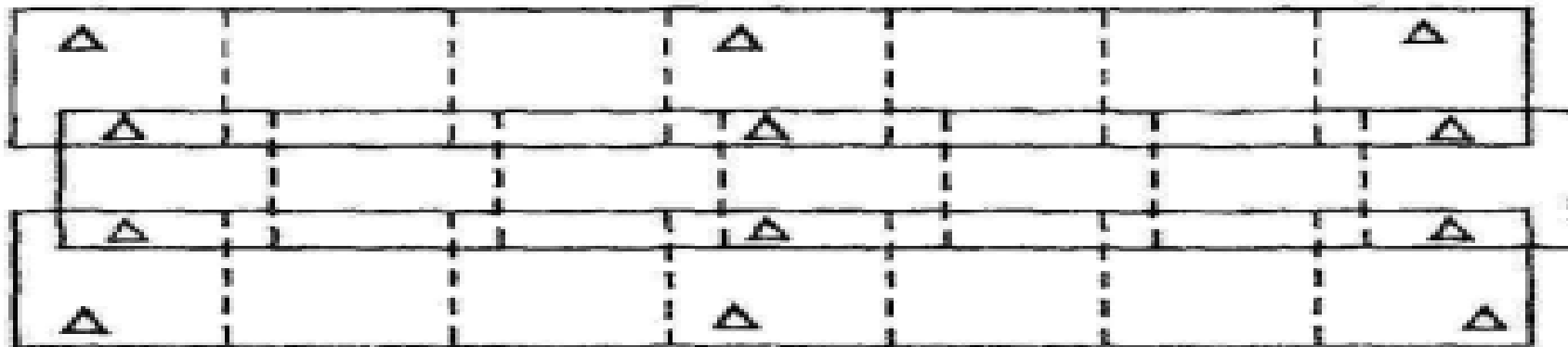


Схема расположения опорных точек при разреженной привязки снимков

## Расчёт расстояние между опорными точкам

Расстояние между опорными точками зависит от масштаба создаваемого плана, высоты сечения рельефа, параметров аэрофотосъёмки и выражается количеством базисов фотографирования. Число базисов  $n$  определяют подбором по формулам:

между высотными опознаками

$$n\sqrt{n+3} = \frac{M_z \rho^2 y}{0,09 H f^2 \sigma_q};$$

между плановыми опознаками

$$n\sqrt{n+3} = \frac{M_d \rho y}{0,17 H f \sigma_q};$$

$M_z$ ,  $M_d$  - средние квадратические погрешности наиболее слабо определяемых точек соответственно по высоте и в плане относительно опорных точек;

$\sigma_q$  - средняя квадратическая погрешность определения поперечного параллакса (для аналитических методов 0,010 – 0,015 мм);

$\rho$  - среднее значение продольных параллаксов (в мм) приближённо равное базису фотографирования на снимках (в мм);

$y$  - среднее значение ординат связующих точек, расположенных на середине поперечных перекрытий.

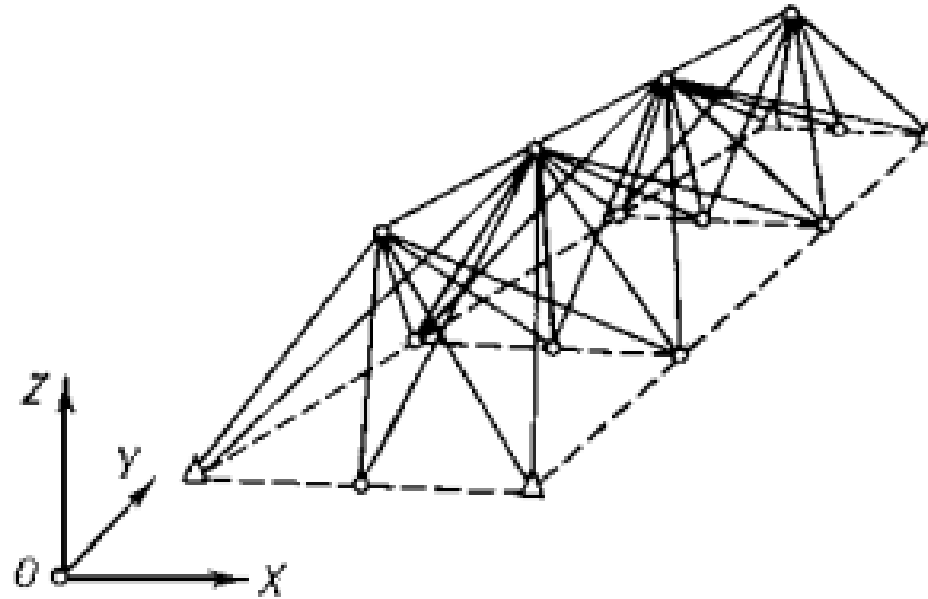
Значения  $M_z$  и  $M_d$  выбирают из таблицы.

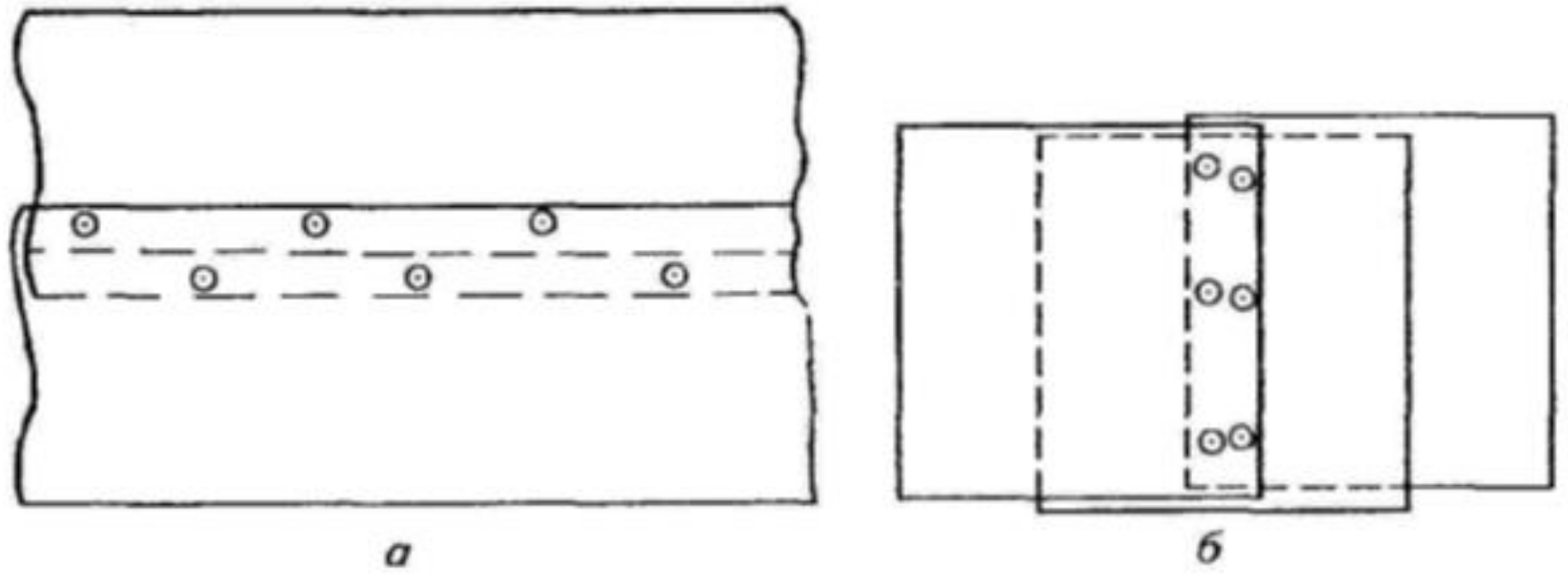
<b>Масштаб лана</b>	<b>п</b>	<b>Высота сечения рельефа, м</b>	<b>Mz , м</b>	<b>Md, мм на плане</b>
1:5000 – 1:10 000		1,0	0,2	0,20
1:10 000 – 1:25 000		2,0	0,4	0,20 – 0,25
1:10 000 – 1:25 000		2,5	0,5	0,20 – 0,25
1:10 000 – 1:25 000		5,0	1,2	0,20 – 0,25



# Пространственная аналитическая фототриангуляция

- *Фототриангуляцией* называют построение пространственной сети треугольников, у которых вершинами являются центры фотографирования и соответственные точки стереопар, а одной из сторон – базис фотографирования. Целью построения и уравнивания фототриангуляционной сети является вычисление элементов внешнего ориентирования всех снимков, включённых в обработку и при необходимости определение координат определяемых точек





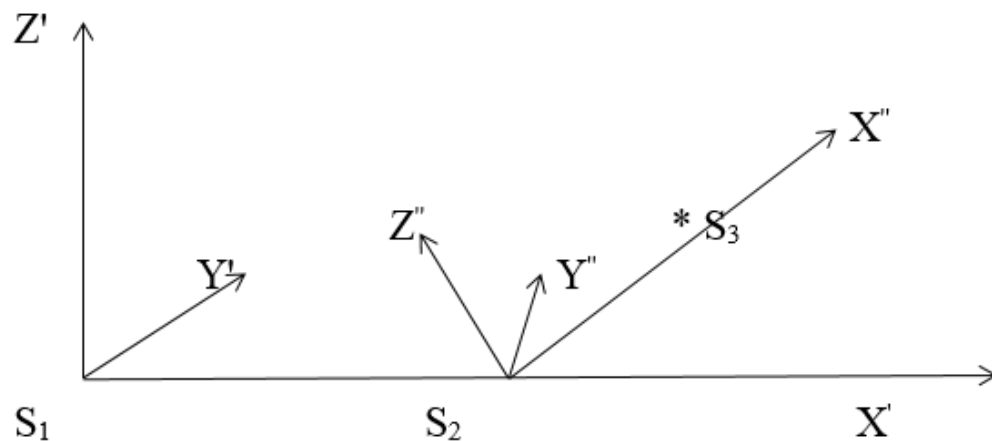
**Схема расположения связующих точек:**

а- в поперечных перекрытиях снимков; б- в тройных продольных перекрытиях  
СНИМКОВ

## Общая схема технологии фототриангуляции

- На первом этапе фототриангуляции выполняют *внутреннее ориентирование* цифровых изображений (снимков) с целью установления соответствия между системами координат снимка и монитора и восстановления связки проектирующих лучей.
- При внутреннем ориентировании снимков в соответствующий файл вводят следующие элементы съёмочной камеры:
  - координаты главной точки в системе координат снимка;
  - фокусное расстояние объектива;
  - дисторсия объектива;
  - координаты координатных меток.
- После внутреннего ориентирования снимков выполняют:
  - ввод элементов внешнего ориентирования снимков  $X_s, Y_s, Z_s, \alpha, \omega, \kappa$  (если они определены в полёте с помощью глобальных навигационных и инерциальных систем);
  - выбор и измерение координат связующих точек в зонах поперечного и тройного продольного перекрытий, необходимых для связи смежных маршрутов и смежных моделей маршрута соответственно;
  - выбор и измерение координат дополнительных точек в шести стандартных зонах для повышения точности взаимного ориентирования и соединения смежных моделей;
  - измерение координат опорных точек не менее чем на двух снимках.
- Все точки (опорные, связующие) намечают на одном снимке; а перенос их на другие снимки того же или смежного маршрута выполняют в стереорежиме или с помощью оптического коррелятора.

## Способ независимых моделей



### Разворот систем координат при объединении фотограмметрических моделей

Пересчёт координат точек каждой последующей модели в систему координат и масштаб предыдущей модели проводится по формулам

$$X' = X'_{s_2} + (a_1 X'' + a_2 Y'' + a_3 Z'')k$$

$$Y' = Y'_{s_2} + (b_1 X'' + b_2 Y'' + b_3 Z'')k$$

$$Z' = Z'_{s_2} + (c_1 X'' + c_2 Y'' + c_3 Z'')k$$

где

$X'$ ;  $Y'$ ;  $Z'$  - фотограмметрические координаты точки предыдущей модели,

$X''$ ;  $Y''$ ;  $Z''$  - фотограмметрические координаты точки последующей модели,

$X'_{s_2}$ ;  $Y'_{s_2}$ ;  $Z'_{s_2}$  - фотограмметрические координаты начала последующей системы координат в системе координат предыдущей модели,

$a_i$ ;  $b_i$ ;  $c_i$  - направляющие косинусы, являющиеся функциями трёх углов ( $\xi$ ;  $\nu$ ;  $\eta$ ) наклона и разворота последующей системы координат относительно предыдущей,

$k$  - масштабный коэффициент, определяющий разномасштабность двух соседних моделей.

Общая модель построена в системе координат и в масштабе, принятых при построении первой модели маршрута.

После этого по опорным точкам выполняют внешнее ориентирование общей фотограмметрической модели.

Преобразование координат точек фотограмметрической модели в геодезические координаты точек местности производят по формулам

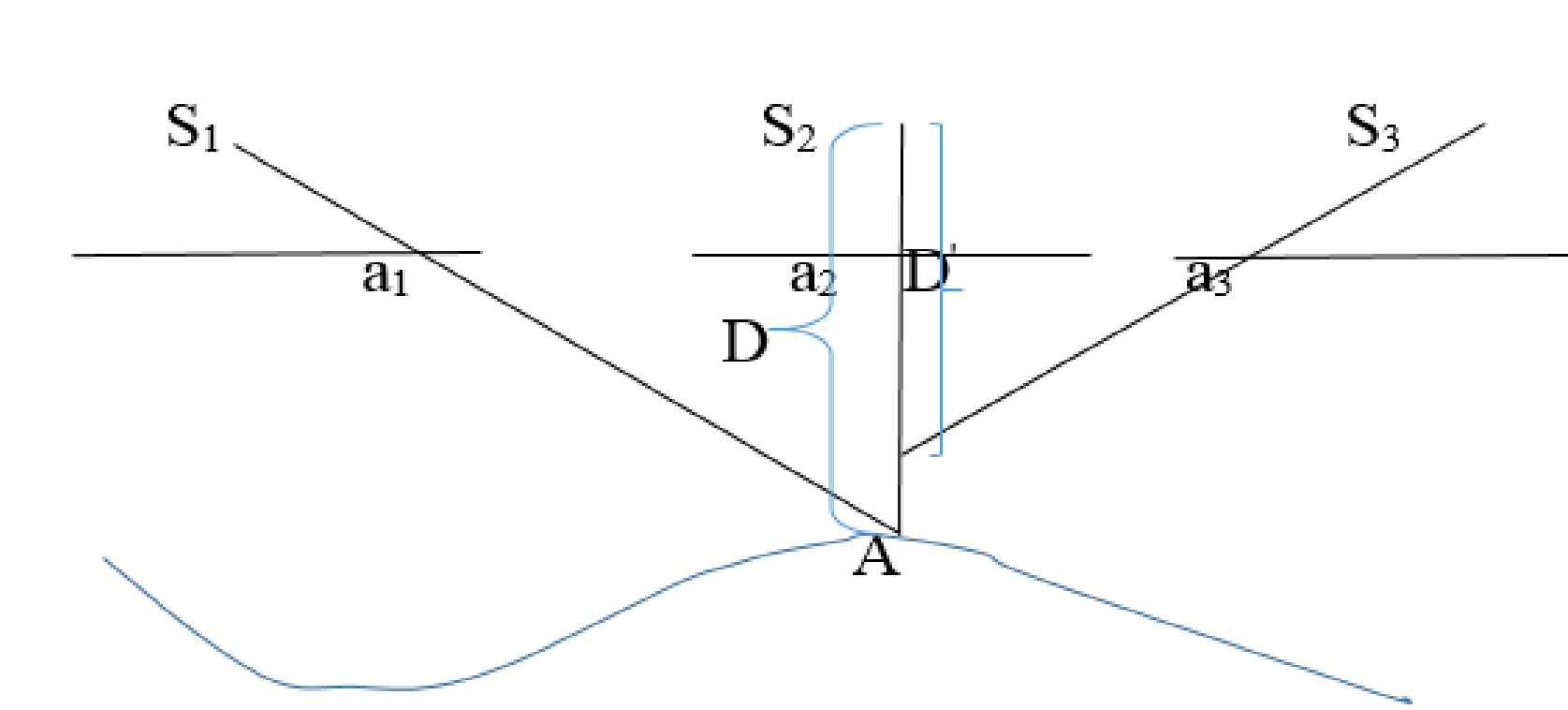
$$X^{\Gamma} = X_{S_1}^{\Gamma} + (a_1 X^M + a_2 Y^M + a_3 Z^M) \cdot t$$

$$Y^{\Gamma} = Y_{S_1}^{\Gamma} + (b_1 X^M + b_2 Y^M + b_3 Z^M) \cdot t$$

$$Z^{\Gamma} = Z_{S_1}^{\Gamma} + (c_1 X^M + c_2 Y^M + c_3 Z^M) \cdot t$$

## Способ частично-зависимых моделей

- Способ частично-зависимых моделей также предполагает построение всех моделей фототриангуляционного ряда.
- Для построения первой модели произвольно выбирают ЭВО левого снимка.
- Определяют элементы взаимного ориентирования первой стереопары.
- Вычисляют дирекционный угол и угол наклона базиса фотографирования.
- Вычисляют условные ЭВО второго снимка. Длину базиса проектирования выбирают произвольно.
- Вычисляют фотограмметрические координаты точек модели по найденным ЭВО левого и правого снимков прямой фотограмметрической засечкой.
- Аналогично создают вторую и последующие модели. Однако, за ЭВО левого снимка в каждой из них принимают ЭВО правого снимка, найденные из предыдущей модели. Масштаб каждой модели выбирают произвольно.



**Иллюстрация приведения двух соседних моделей к единому масштабу с помощью связующих точек**

Сначала вычисляют масштабный коэффициент двух соседних моделей по формулам

- Сначала вычисляют масштабный коэффициент двух соседних моделей по формулам

$$k = D / D'$$
$$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$
$$\Delta X = X_{S_2} - X$$

где

$D$  – расстояние в первой модели от точки  $S_2$  до связующей точки,

$D'$  – расстояние во второй модели от точки  $S_2$  до связующей точки,

$(\Delta X_{S_2}; \Delta Y_{S_2}; \Delta Z_{S_2})$  – приращения фотограмметрических координат связующих точек первой модели относительно точки  $S_2$ ,

$(\Delta X'_{S_2}; \Delta Y'_{S_2}; \Delta Z'_{S_2})$  – приращения фотограмметрических координат связующих точек второй модели относительно точки  $S_2$ .

Далее вычисляют фотограмметрические координаты всех точек фототриангуляционной сети в единой системе координат и в едином масштабе.



- Далее вычисляют фотограмметрические координаты всех точек фототриангуляционной сети в единой системе координат и в едином масштабе.

$$X_{S_3} = X_{S_2} + kB_x$$

$$Y_{S_3} = Y_{S_2} + kB_y$$

$$Z_{S_3} = Z_{S_2} + kB_z$$

$$X = X_{S_2} + k\Delta X$$

$$Y = Y_{S_2} + k\Delta Y$$

$$Z = Z_{S_2} + k\Delta Z$$

## Способ связок

- Способ связок отличается от первых двух тем, что фотограмметрическая сеть строится и уравнивается одновременно по всем снимкам, включённым в обработку. Для каждой точки местности, включённой в сеть, составляют  $2n$  уравнений коллинеарности ( $n$  – количество снимков, на которых изобразилась данная точка местности). Все полученные уравнения для всех точек сети объединяются в единую систему уравнений, которая затем решается относительно ЭВО всех снимков, а также геодезических координат точек сети.

## Способ последовательного присоединения связок

В этом способе объединены взаимное ориентирование пары снимков, внешнее ориентирование каждого снимка, масштабирование модели, перенос начала координат. Сначала строится первая модель маршрута в условной или геодезической системе координат. На левом и правом снимках стереопары измеряются координаты стандартно расположенных точек для взаимного ориентирования. Измеряются координаты связующих, опорных и определяемых точек.

По вычисленным элементам взаимного ориентирования и заданным условным (или геодезическим) ЭВО первого снимка вычисляют условные ЭВО второго снимка маршрута по формулам .

$$\left. \begin{aligned} X_{S2} &= X_{S1} + B_X \\ Y_{S2} &= Y_{S1} + B_Y \\ Z_{S2} &= Z_{S1} + B_Z \\ \\ B_X &= B \cos \nu \cos t \\ B_Y &= B \cos \nu \sin t \\ B_Z &= B \sin \nu \\ \\ \alpha_2 &= \alpha_1 + \Delta \alpha \\ \omega_2 &= \omega_1 + \Delta \omega \\ \kappa_2 &= \kappa_1 + \Delta \kappa \end{aligned} \right\} (6.16)$$

Таким образом, каждому снимку присвоены условные или геодезические ЭВО.

- Приращения координат точки А относительно точки  $S_2$  (правого центра фотографирования) в первой модели:

- $\Delta X = NX'$

- $\Delta Y = NY'$

- $\Delta Z = NZ'$

- Приращения координат точки А относительно точки  $S_2$  (левого центра фотографирования) во второй модели:

- $\Delta X = N'X'$

- $\Delta Y = N'Y'$

- $\Delta Z = N'Z'$ ,

- где  $(X' Y' Z')$  – пространственные координаты точки  $a_2$ .

Отсюда  $N=N'$ .

$$N = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ B_x & B_y & B_z \\ X^1 & Y^1 & Z^1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ X & Y & Z \\ X^1 & Y^1 & Z^1 \end{vmatrix}}; \quad N^1 = - \frac{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ B_x^1 & B_y^1 & B_z^1 \\ X^1 & Y^1 & Z^1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ X^1 & Y^1 & Z^1 \\ X^{11} & Y^{11} & Z^{11} \end{vmatrix}}, \quad (6.17)$$

где

$B$  и  $B'$  – базисы смежных стереопар,

$(X \ Y \ Z)$  – пространственные координаты точки  $a_1$ ,

$(X' \ Y' \ Z')$  – пространственные координаты точки  $a_2$ ,

$(X'' \ Y'' \ Z'')$  – пространственные координаты точки  $a_3$ ,

Для трёх горизонтальных снимков, образующих триплет, верно:

$$B/p_i = B'/p'_i,$$

где  $p_i$  и  $p'_i$  – продольные параллаксы общих точек.

## Блочная фототриангуляция

$$\begin{pmatrix} X_{S_1} - X_S & Y_{S_1} - Y_S & Z_{S_1} - Z_S \\ X_i & Y_i & Z_i \\ X_k & Y_k & Z_k \end{pmatrix} = 0;$$

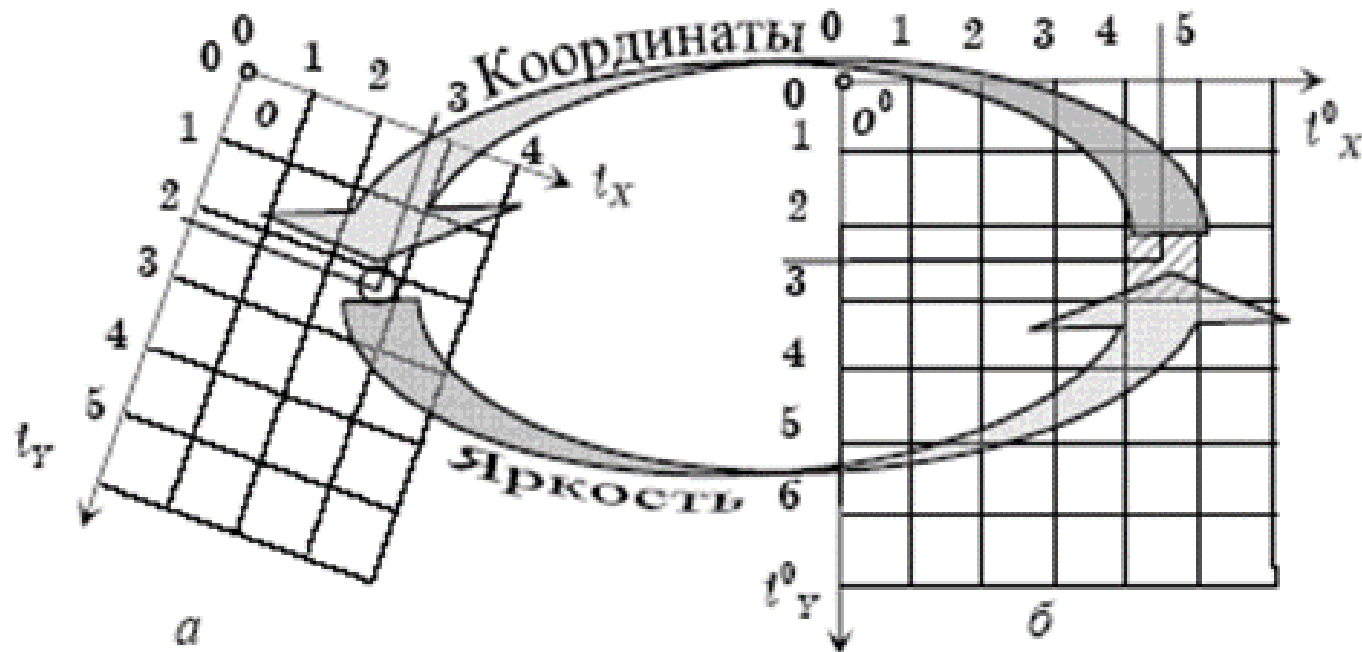
$$\begin{pmatrix} X_{S_2} - X_{S_1} & Y_{S_2} - Y_{S_1} & Z_{S_2} - Z_{S_1} \\ X_k & Y_k & Z_k \\ X_i & Y_i & Z_i \end{pmatrix} = 0;$$

$$\frac{\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ X_{S_1} - X_S & Y_{S_1} - Y_S & Z_{S_1} - Z_S \\ X_i & Y_i & Z_i \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ X_k & Y_k & Z_k \\ X_i & Y_i & Z_i \end{pmatrix}} =$$

$$= \frac{\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ X_{S_2} - X_{S_1} & Y_{S_2} - Y_{S_1} & Z_{S_2} - Z_{S_1} \\ X_i & Y_i & Z_i \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ X_i & Y_i & Z_i \\ X_k & Y_k & Z_k \end{pmatrix}}$$

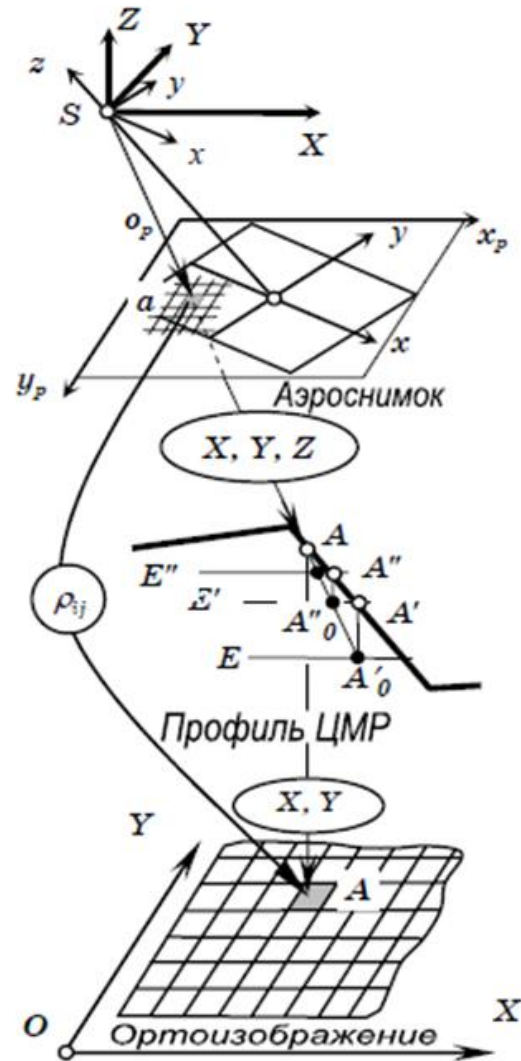
## Ортофототрансформирование снимков

- Ортофототрансформирование – процесс геометрического преобразования изображения, полученного в какой-либо проекции, в ортогональную проекцию.



. а - исходный снимок; б – трансформированный снимок

# Ортотрансформирование границы рабочей площади



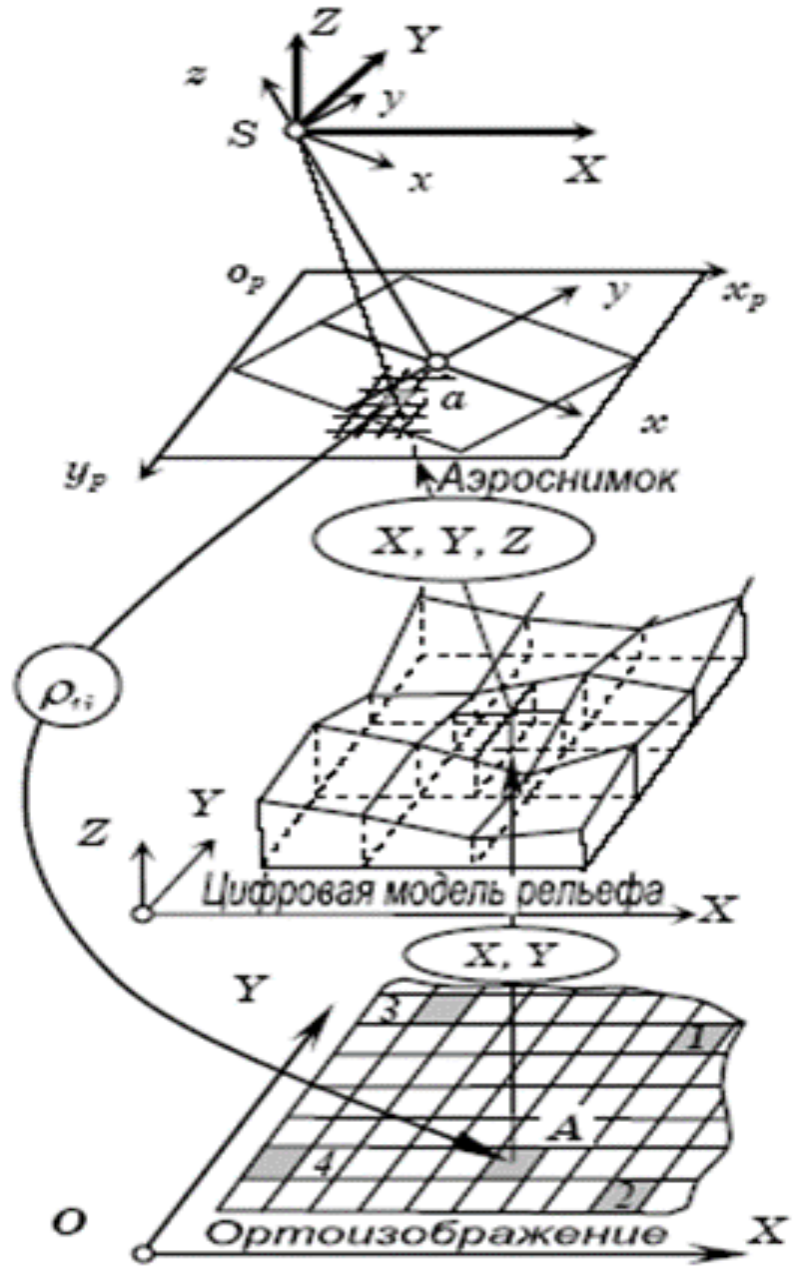


- измерение координат  $(x, y)$  поворотной точки  $a$  границы рабочей площади в системе координат снимка;
- вычисление отметки  $Z$  центра пикселя ортоизображения  $\mathbf{A}$  по измеренным координатам  $(x, y)$  и ЦМР (точнее аналитической модели рельефа  $Z = f(X, Y)$ ), как описано в параграфе 5.10;
- вычисление координат  $(X, Y)$  центра формируемого пикселя ортоизображения  $\mathbf{A}$  в системе координат местности  $OXY$  по уравнениям

$$\left. \begin{aligned} X_A &= X_S + (Z_A - Z_S) \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \\ Y_A &= Y_S + (Z_A - Z_S) \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \end{aligned} \right\}$$

- присвоение пикселю ортоизображения с координатами центра  $X_A$  и  $Y_A$  яркости пикселя исходного снимка, содержащего точку  $\mathbf{a}$ .

# Обратное трансформирование рабочей площади снимка



- - вычисление координат  $(x, y)$  изображения **a** определяемой точки **A** на снимке по ее координатам на местности  $(X, Y, Z)$  и элементам внешнего ориентирования трансформируемого снимка  $(X_S, Y_S, Z_S, \alpha, \omega, \chi)$ , по формулам

$$x = x_o - f \frac{a_1 \Delta X + b_1 \Delta Y + c_1 \Delta Z}{a_3 \Delta X + b_3 \Delta Y + c_3 \Delta Z}$$

$$y = y_o - f \frac{a_2 \Delta X + b_2 \Delta Y + c_2 \Delta Z}{a_3 \Delta X + b_3 \Delta Y + c_3 \Delta Z}$$

- где
- $\Delta X = X - X_S; \quad \Delta Y = Y - Y_S; \quad \Delta Z = Z - Z_S$
- - расчет растровых координат  $(i_x, i_y)$  центра пикселя ортоизображения по его координатам  $(x, y)$  в системе снимка и элементам внутреннего ориентирования;
- - идентификация пикселя с точкой **a** исходного снимка и расчет яркости пикселя ортоизображения с точкой **A**.

## Геометрическое объединение цифровых ортотрансформированных изображений местности

- Преобразование координат точек соседнего изображения производится с использованием параметрической функции (обычно степенным полиномом). Например, полным полиномом третьей степени.

- $X' = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3XY + a_4X^2 + a_5Y^2 + a_6X^3 + a_6X^2Y + a_7XY^2 + a_8Y^3$

- $Y' = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3XY + b_4X^2 + b_5Y^2 + b_6X^3 + b_6X^2Y + b_7XY^2 + b_8Y^3$

- где

- $(X' Y')$  - геодезические координаты общей точки на базовом ортоизображении;

- $(X Y)$  - геодезические координаты общей точки на присоединяемом ортоизображении;

- $a_i ; b_i$  – параметры связи координат.

-

# Технологическая схема создания ортофотоплана и кадастрового плана по материалам АФС

