

# Фотограмметрия и дистанционное зондирование

Кафедра

“Геоэкология и инженерная геология”

2013 – 14 уч. год

Доц. Глухов А.Т.

# Содержание курса

## Введение.

- Применение фотограмметрии и дистанционного зондирования местности для землеустройства и формирования земельного кадастра.
- Общие понятия о фотограмметрии и дистанционном зондировании.
- Геометрические основы фотограмметрии. Свойства аэрофотоснимков.
- Дешифрирование аэроснимков.
- Трансформирование аэроснимков
- Фотограмметрическая обработка аэроснимков.
- Планово-высотное обоснование аэроснимков.
- Применение электронной геодезической техники и спутниковые методы геодезических измерений.
- Методы цифровой фотограмметрии.
- Методы дистанционного зондирования местности.

# Литература

## Основная

- Назаров, А.С. Фотограмметрия: пособие для студентов вузов / А.С. Назаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : ТетраСистемс, 2010. 400 с.
- Назаров, А.С. Фотограмметрия. Минск : ТетраСистемс, 2006. 330 с.
- Назаров, А.С. Средства получения цифровых снимков и методы их фотограмметрической обработки. Минск : ТетраСистемс, 2009. 99 с.
- Глухов, А.Т. Дороги, улицы и транспорт города: мониторинг, экология, землеустройство: учебное пособие // А.Т. Глухов, А.Н. Васильев, О.А. Гусева; ФГОУ ВПО “Саратовский ГТУ им. Ю.А. Гагарина”. – Саратов, 2015. – 320 с.

## Дополнительная

- Новаковский, Б.А. Фотограмметрия и дистанционные методы изучения Земли. М., МГУ, 1997. 204 с.
- Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ГНТА)–02-036-02. — М.: ЦНИИГАиК, 2002. —49 с.
- *Интернет-ресурс*  
**Михелев Д.Ш. Инженерная геодезия: учебник /Е.Б. Ключин [и др.]; под ред. Д.Ш.Михелева, - 9-е изд. стер. – Электронные текстовые данные –М.: ИЦ «Академия», 2008.**

# Введение

## 1. Применение фотограмметрии и дистанционного зондирования местности для землеустройства и формирования земельного кадастра.

**В различные периоды решаются следующие задачи:**

**В период проектирования землеустройства:**

1. Сбор исходной картографической информации для решения принципиального вопроса о размещении на местности объектов землеустройства;
2. Съёмочные работы (мониторинг) в крупном масштабе для детального проектирования землеустройства и иных действий земельного права.

**В период выноса на местность землеустроительного проекта:**

1. Вынос и закрепление на местности границ землепользования поселений (городской черты);
2. Контроль планового положений элементов проекта землеустройства.

**В период формирования и эксплуатации земельного кадастра:**

1. Исполнительная съёмка по межевым знакам, закрепляющим на местности границы землепользования (положение городской черты). Контроль правильности ее положения и выявления отступлений от проекта;
2. Формирование земельного кадастра территории. Юридическое оформление документов земельного права.

## 2. Общие понятия о фотограмметрии и дистанционном зондировании

Фотограмметрия – научная дисциплина, изучающая способы определения формы, размеры и пространственное положение объектов земной поверхности по их фотографическим и иным изображениям в заданной системе координат.

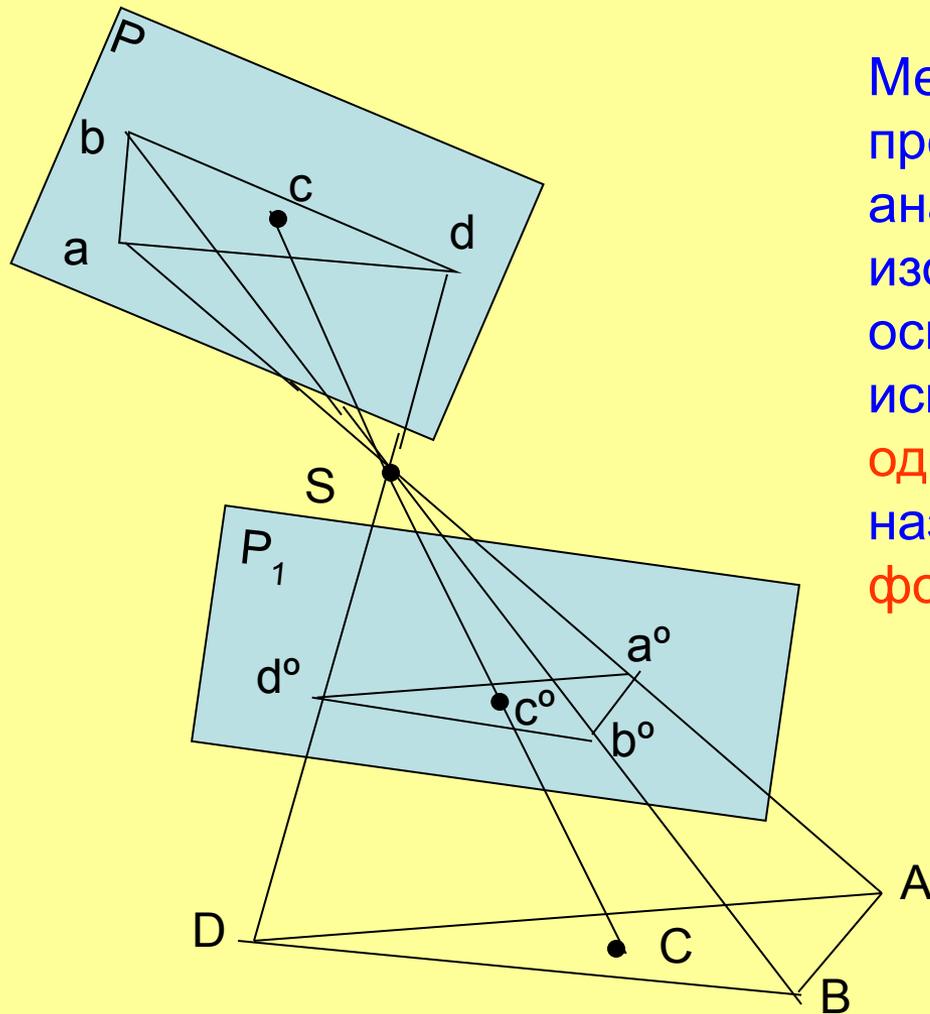
Фотограмметрия – греческий : PHOTOGRAMMETRIE:  
*photos* – свет; *gramma* – запись; *metrio* – измерение.  
Дословный перевод означает “измерение светозаписи”.

Методом фотограмметрии изучаются изображения, полученные с помощью:

1. Аналоговых аэрофотоаппаратов (АФА);
2. Цифровых аэрофотоаппаратов (ЦАФА);
3. Лазерных сканеров (ЛС);

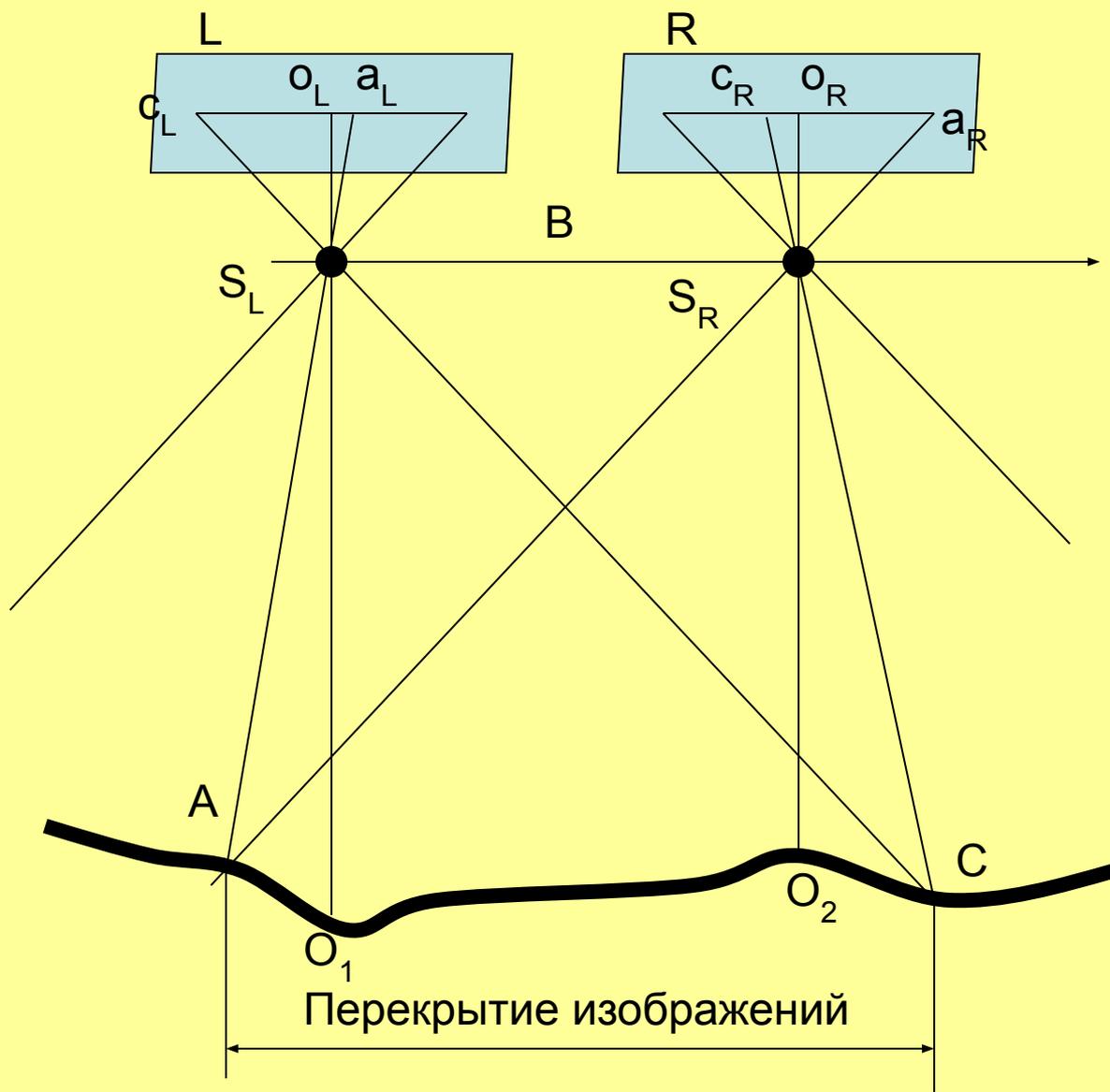
Фотографирование (сканирование) осуществляется:  
с самолетов, вертолетов, аэростатов, а также с искусственных спутников  
Земли (ИСЗ)

# Общие понятия фотограмметрии



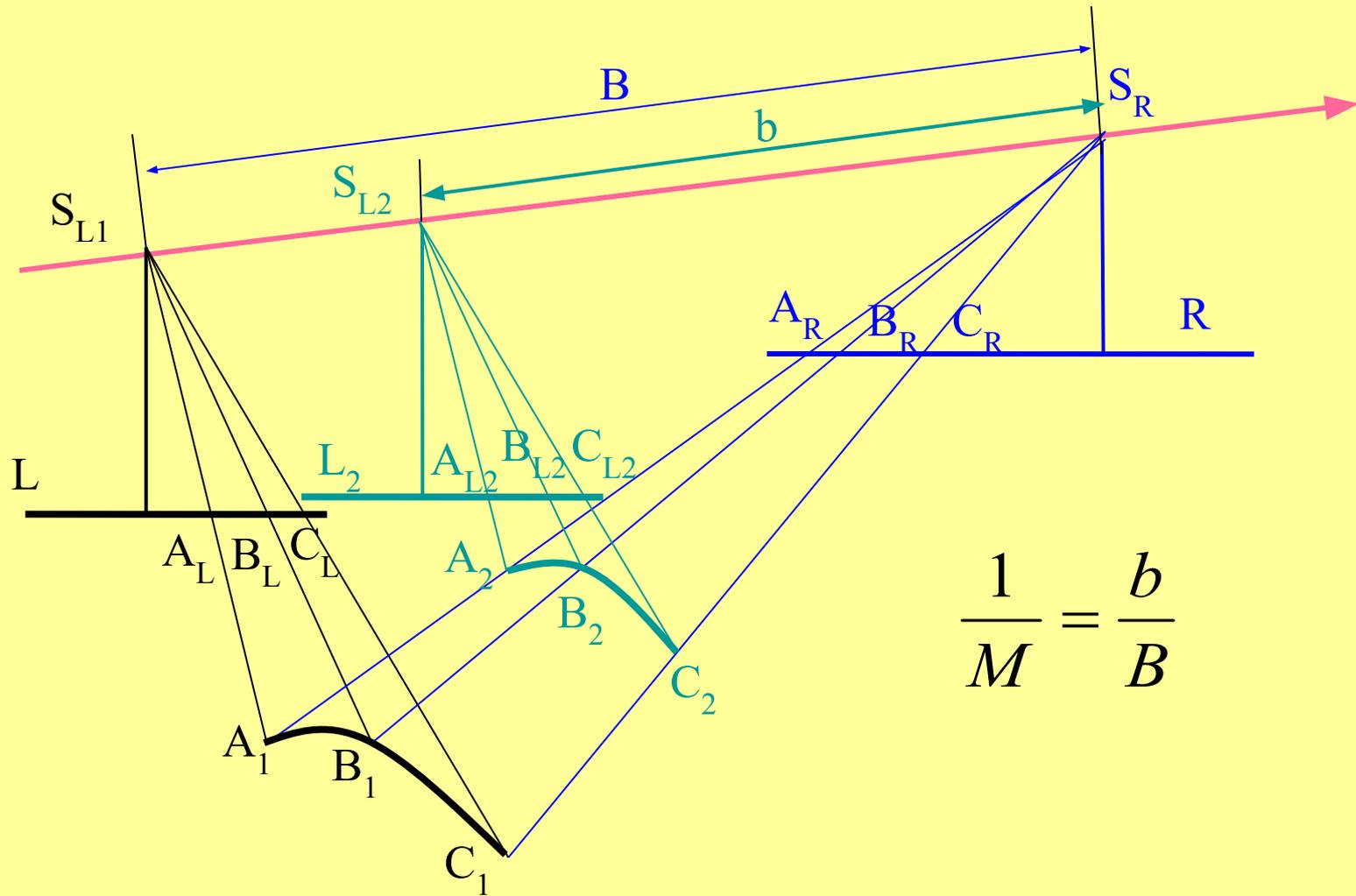
Методы построения и преобразования аналоговых и цифровых изображений, основанные на использовании **одиночного аэроснимка** называют **фотограмметрическими**

# Общие понятия о фотограмметрии



Методы построения и преобразования аналоговых и цифровых изображений основанные на использовании пары аэроснимков называют стереофотограмметрическими

# Обратимость фотоизображения



# Классификация видов съёмочных работ для создания планов и карт



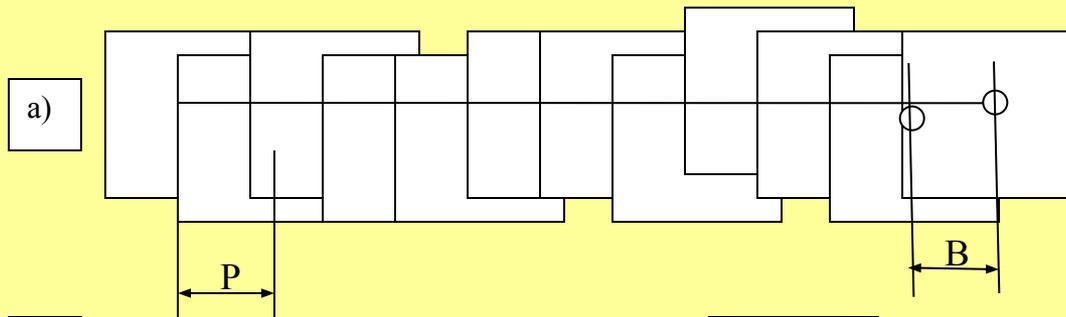
# Понятие об аэрофотосъемке

Аэрофотосъемка – процесс получения изображений местности с целью их преобразования в карту или план местности.

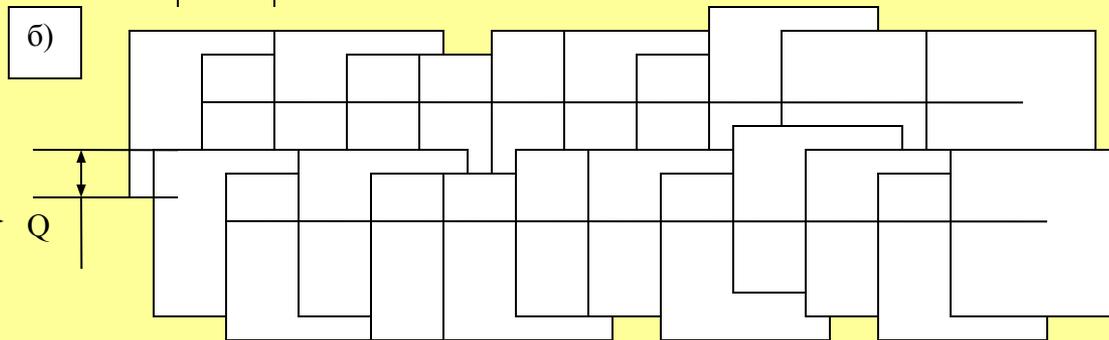
Процесс включает:

1. Летно-съёмочные работы: разработка полетного задания, проекта съёмки и ее выполнение.
2. Полевые фотолабораторные работы (использование аналоговых АФА): фотохимическая обработка аэрофильма (негативов), изготовление (печать) аэрофотоснимков.
3. Полевые фотограмметрические работы: регистрация, приемка и оценка качества аналоговых снимков; формирование синтезированных (композитных) панхроматических и цветных изображений.

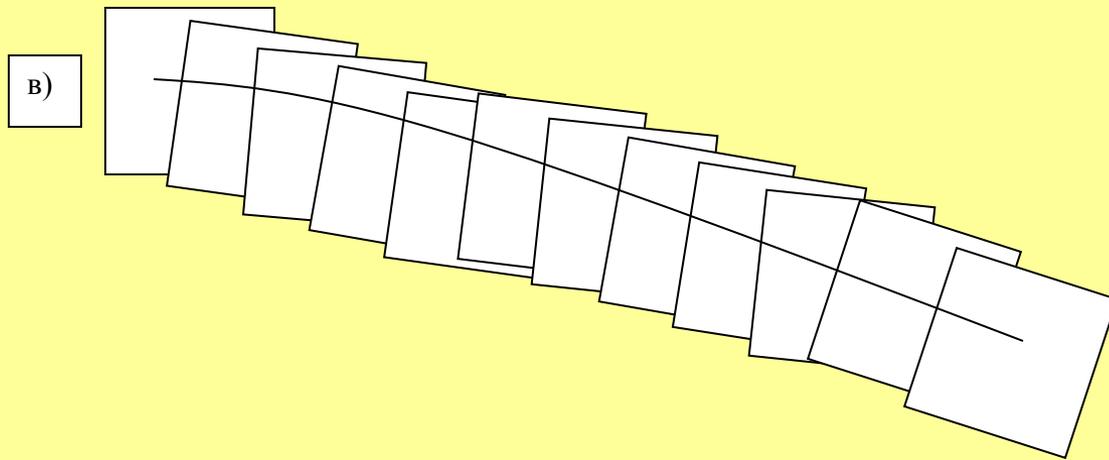
# Принцип аэрофотосъемки



Маршрутн  
ая съемка

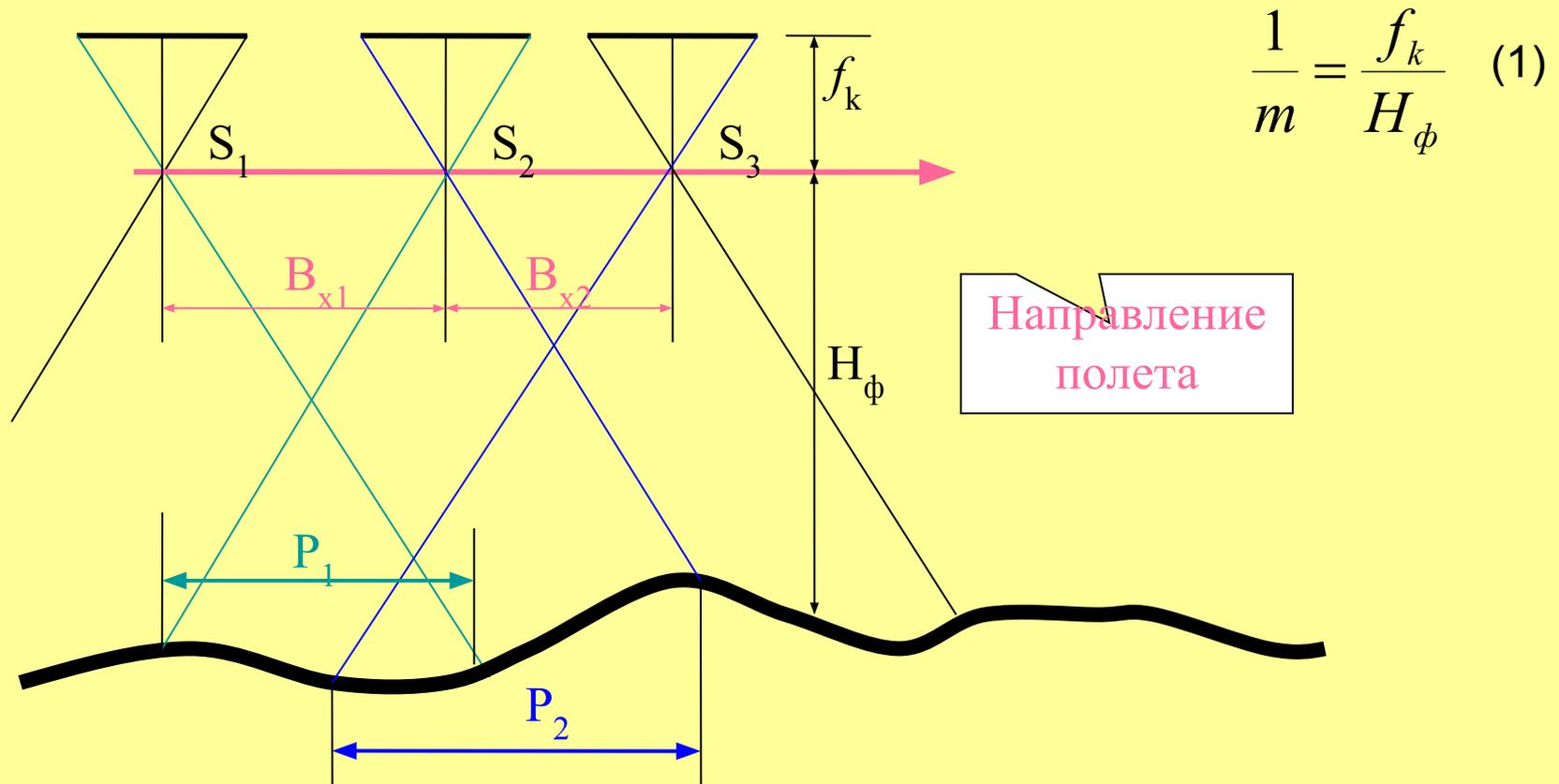


Площадная  
съемка



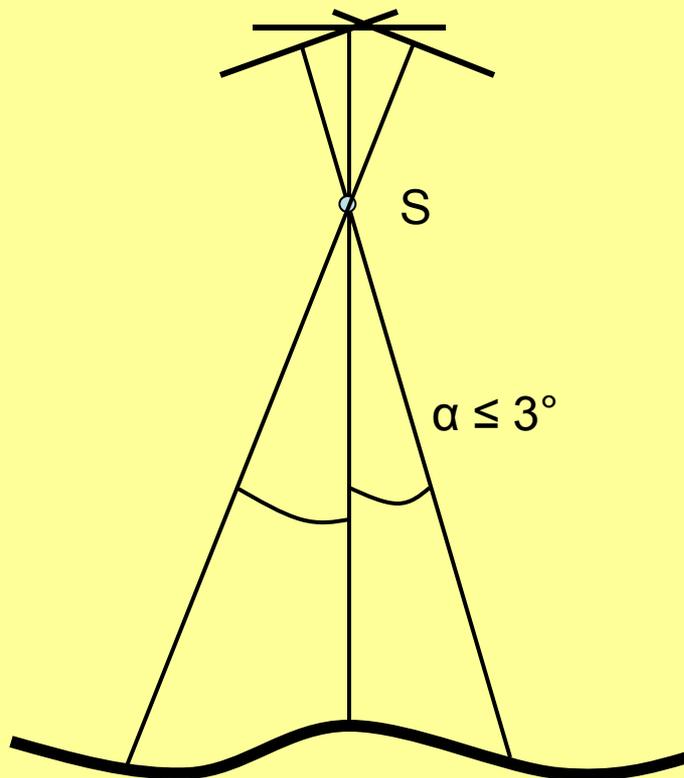
Съемка по  
криволинейном  
у маршруту

# Схема маршрутной аэросъемки

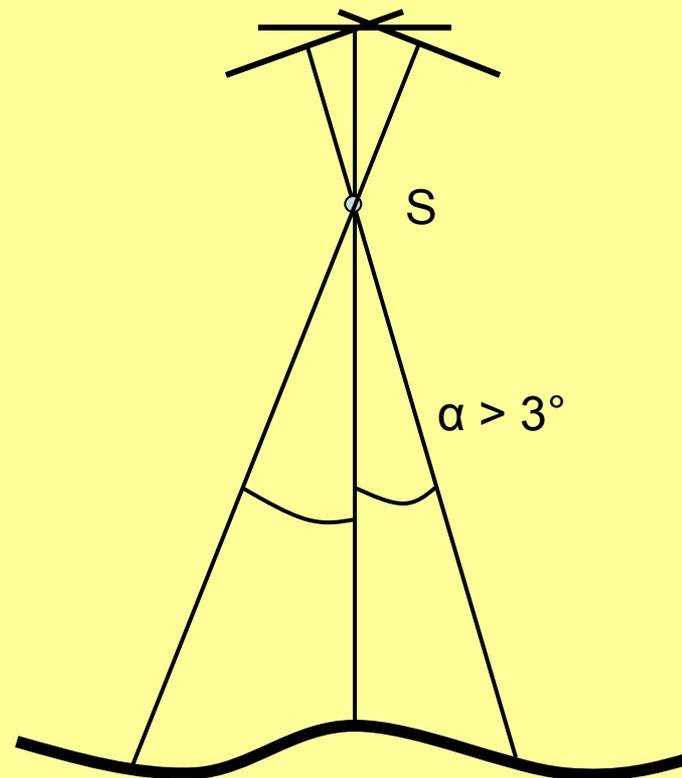


# Принцип аналоговой и цифровой аэрофотосъемки

а) Плановая

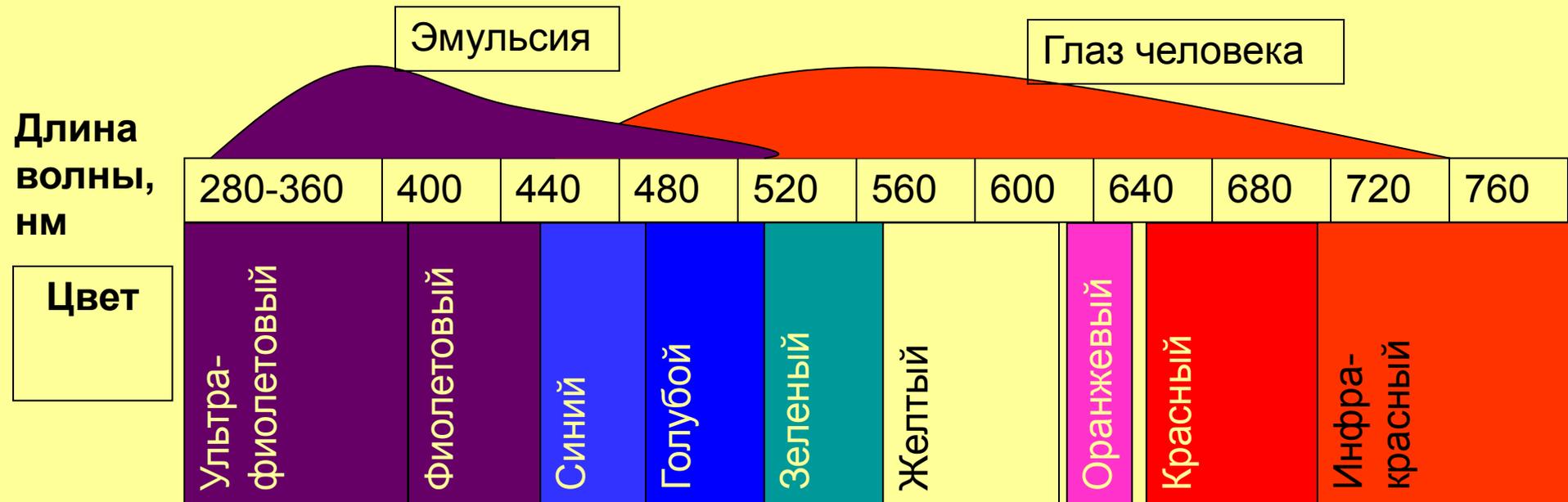


б) Перспективная



# Характеристика аналоговых СНИМКОВ

- Зернистость – видимая прерывистость изображения в зависимости от размеров светочувствительных зерен;
- Разрешающая способность – максимальное число линий на снимке, отдельно изображенных на расстоянии одного миллиметра: эмульсии -  $R_э = 0,25\Delta - 0,33\Delta$ .  
в сумме ;  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{об}} + \frac{1}{R_э}$
- Контрастность – способность изображения передавать различия в яркости объектов;
- Цветопередача – цветовая чувствительность или избирательное поглощение цветовых излучений



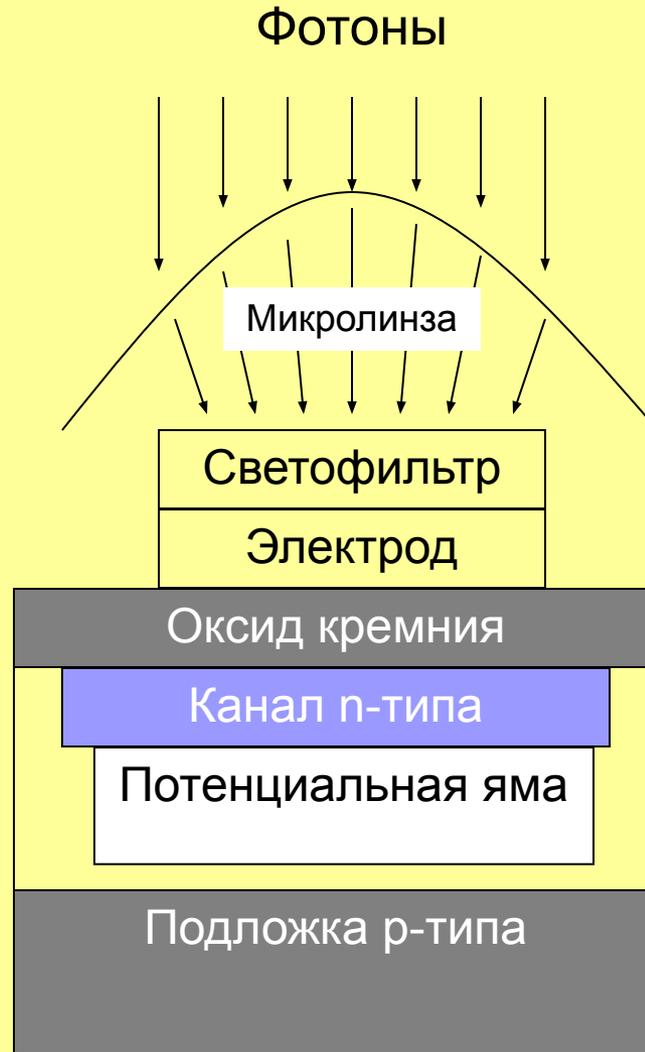
# Датчики цифрового изображения

Из физики (квантовой механики) известно, что в структуре атома любого элемента выделяют три зоны:

- *валентную зону*, где размещаются электроны обладающие энергией и связанные с ядром атома;
- *зону проводимости*, где размещаются свободные электроны (отрицательный заряд) и перемещающиеся в произвольном направлении под действием электрического поля;
- *запрещенную зону*, которая свободна от электронов и является энергетическим барьером.

# Датчики цифрового изображения

ПЗС-элемент – прибор с зарядовой связью



# Характеристики датчиков цифрового изображения

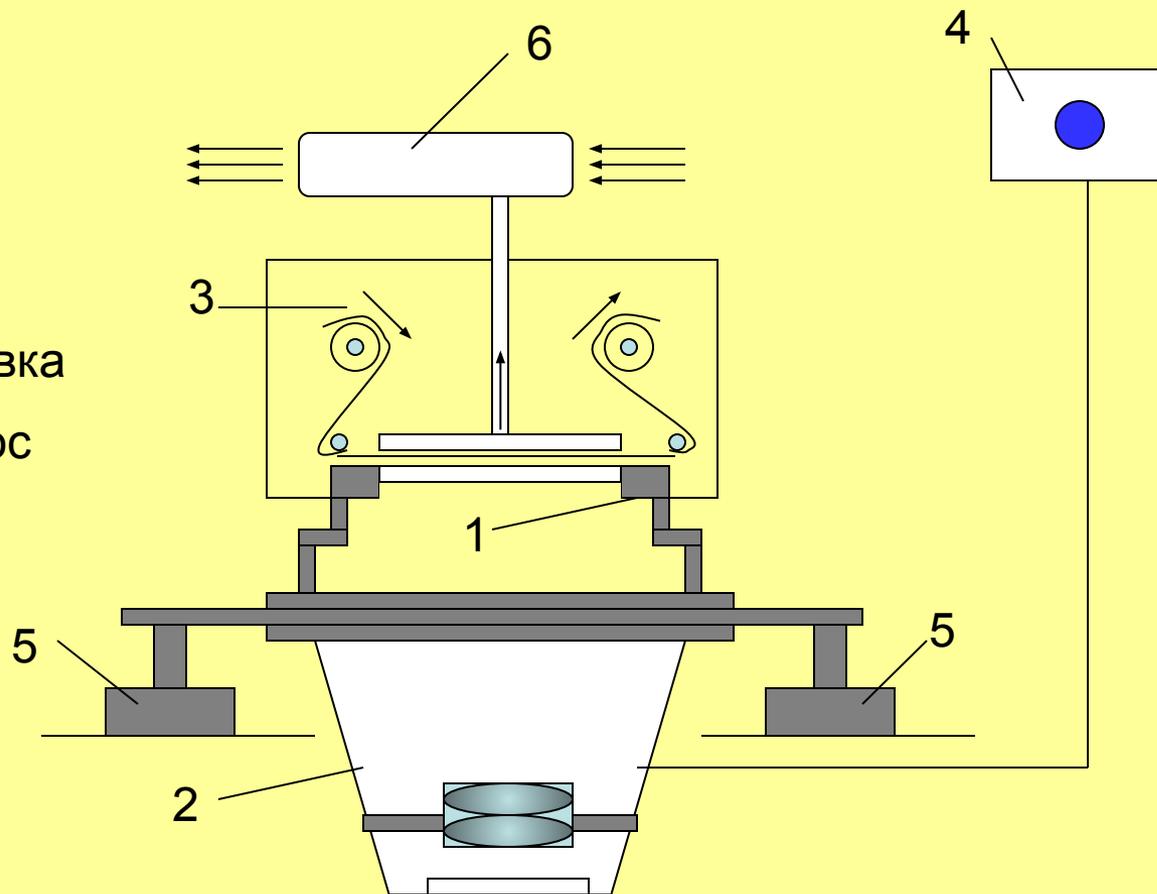
- квантовая эффективность – отношение числа зарегистрированных носителей заряда к числу фотонов, попавших в светочувствительную область;
- светочувствительность датчика ПЗС;
- светочувствительность матрицы ПЗС – способность реагировать на оптическое излучение;
- порог светочувствительности – минимальная величина регистрируемого светового сигнала;
- диапазон динамический – способность потенциальной ямы удерживать заряд определенного значения или отношение максимального выходного сигнала к уровню собственного шума;
- размер матрицы светочувствительных элементов в мегапикселах.

# Дистанционное зондирование или лазерное сканирование



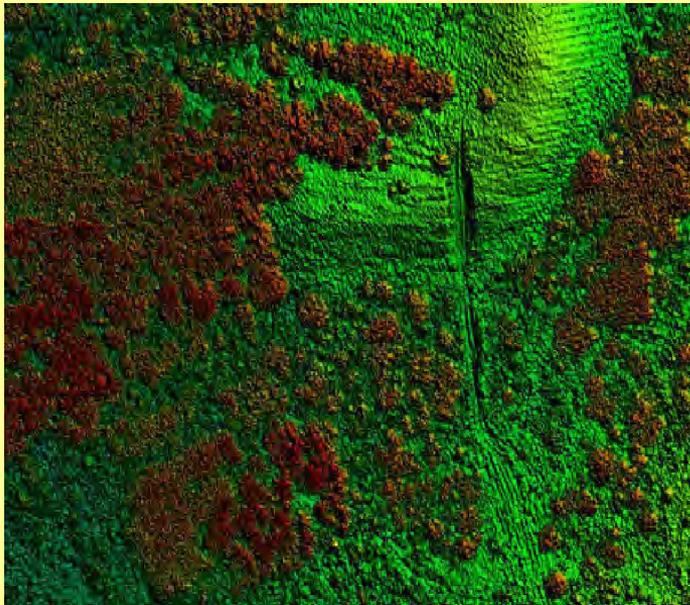
# Аэрофотоаппарат - АФА

1. Корпус
2. Конус
3. Кассета
4. Командный прибор
5. Аэрофотоустановка
6. Воздушный насос



# Результаты аэросъемочных работ

Облако точек воздушного сканирования



Аэроснимок





# Дистанционное зондирование или лазерное сканирование

**Leica Geosystems**

**Фильм. Земельный кадастр**

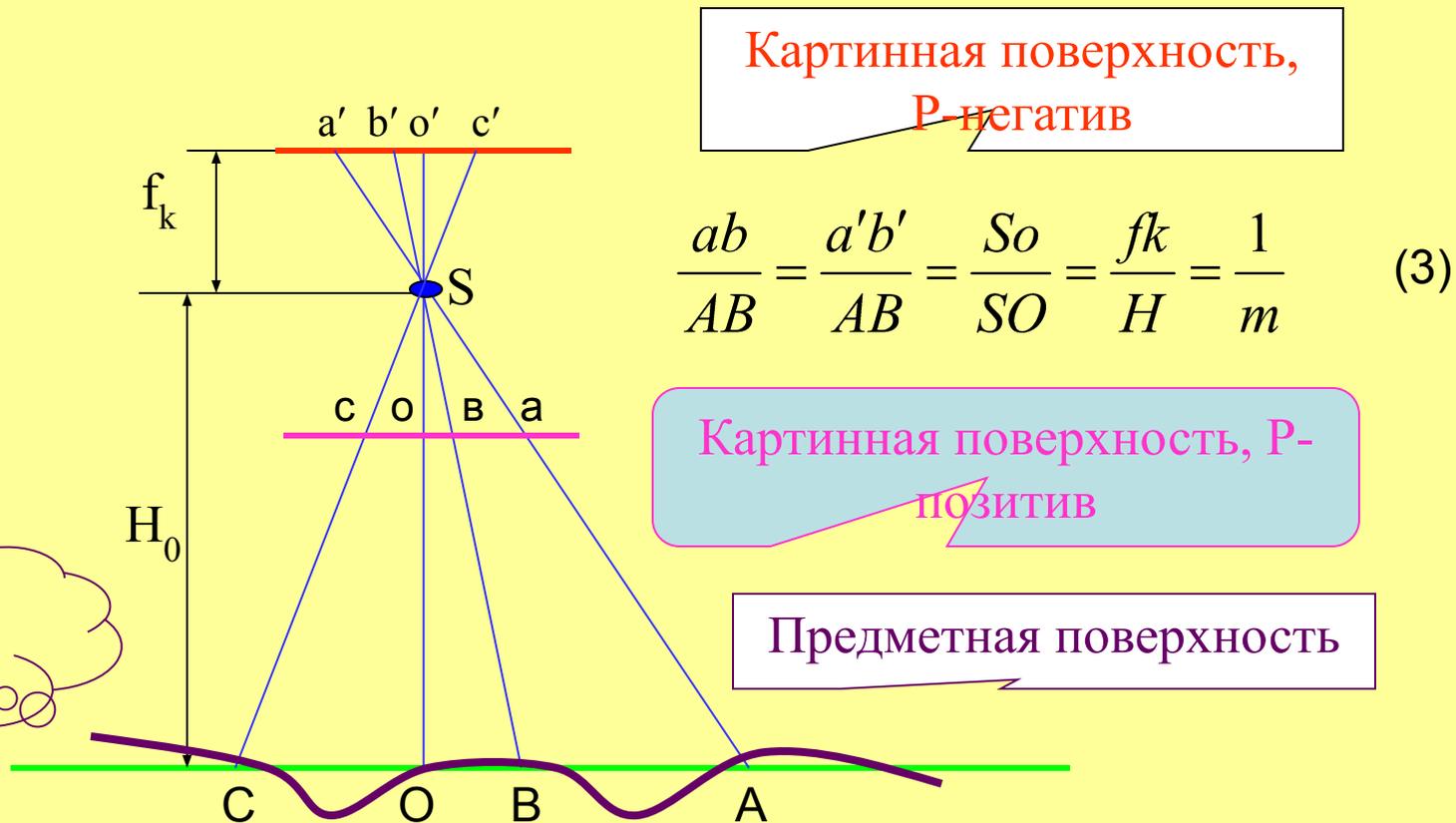
**Часть 1: Основы;**

**Часть 2: Как это работает;**

**Часть 3: Примеры проектов.**

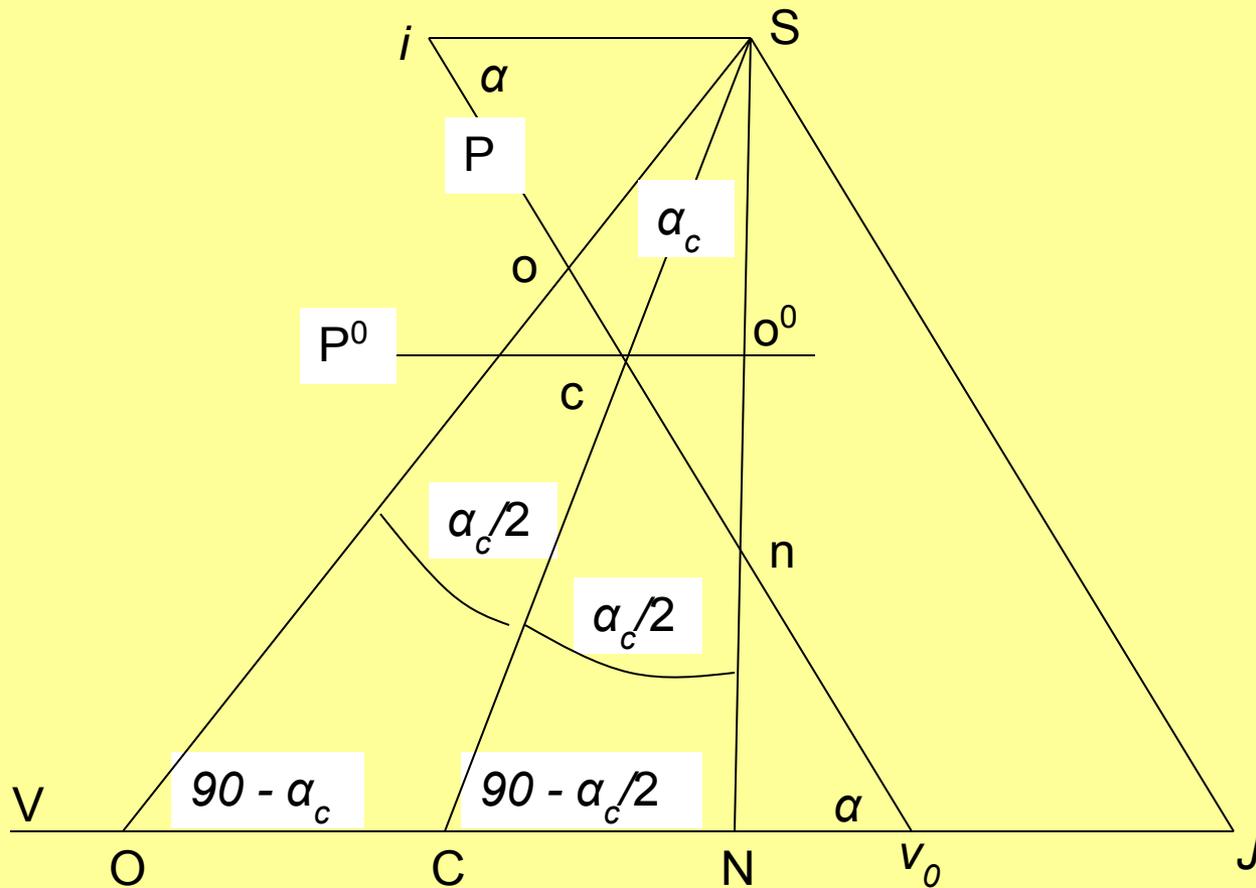
# Свойства аэроснимков

## Схема центральной проекции АФА



# Свойства аэроснимков

Основные точки центральной проекции в теории перспективы



# Свойства аэроснимков

- $P$  – картинная плоскость, в которой строится изображение объектов (плоскость аэроснимка);
- $S$  – центр проекции (узловая точка объектива);
- $v_0$  – главная точка основания картины;
- $i$  – главная точка схода;
- $v_0 i$  – главная вертикаль;
- $v_0 V$  – проекция главной вертикали;
- $J$  – главная точка схода предметной плоскости, точка пересечения линии картинного горизонта с плоскостью главного вертикала;
- $So$  – главная оптическая ось съёмочной камеры, проходящая через центр проекции перпендикулярно картинной плоскости (фокусное расстояние фотокамеры);
- $o$  – главная точка картинной плоскости (аэроснимка), точка пересечения оптической оси с картинной плоскостью;
- $O$  – проекция главной точки картинной плоскости (аэроснимка), точка пересечения оптической оси с предметной плоскостью;
- $n$  – точка надира, точка пересечения картинной плоскости с отвесной линией опущенной из центра проекции;
- $N$  – проекция точки надира, точка пересечения предметной плоскости с отвесной линией, опущенной из центра проекции ( $SN$  – высота фотографирования);
- $\alpha_c$  – угол наклона картинной плоскости (продольный угол наклона снимка), угол отсчитываемый от оптической оси  $So$  до отвесной линии  $SN$ ;
- $c$  – точка нулевых искажений, точка пересечения главной вертикали с биссектрисой угла наклона картинной плоскости, отсчитываемого в точке  $S$ ;
- $C$  – проекция точки нулевых искажений на картинную плоскость (точка пересечения проекции главной вертикали с биссектрисой продольного угла наклона аэроснимка).

# Свойства аэроснимков

## Завиимости геометрических характеристик в теории перспективы

- $S_o = S_o^o = f$

Расстояние от центра проекции  $S$  до главной точки схода  $i$

$$Si = ic = \frac{f}{\sin \alpha_c}$$

- $on = f \operatorname{tg} \alpha_c$

- $oi = f \operatorname{ctg} \alpha_c$

- $SN = H$

- $ON = H \operatorname{tg} \alpha_c$

- $SN = f / \operatorname{Cos} \alpha_c$

- $iv_0 = H / \operatorname{Sin} \alpha_c$

Расстояние от главной точки картины  $o$  до точки нулевых искажений  $c$

$$oc = f \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha_c}{2} \right) = f \frac{1 - \operatorname{Cos} \alpha_c}{\operatorname{Sin} \alpha_c}$$

Расстояние от центра проекции  $S$  до точки схода предметной поверхности  $J$

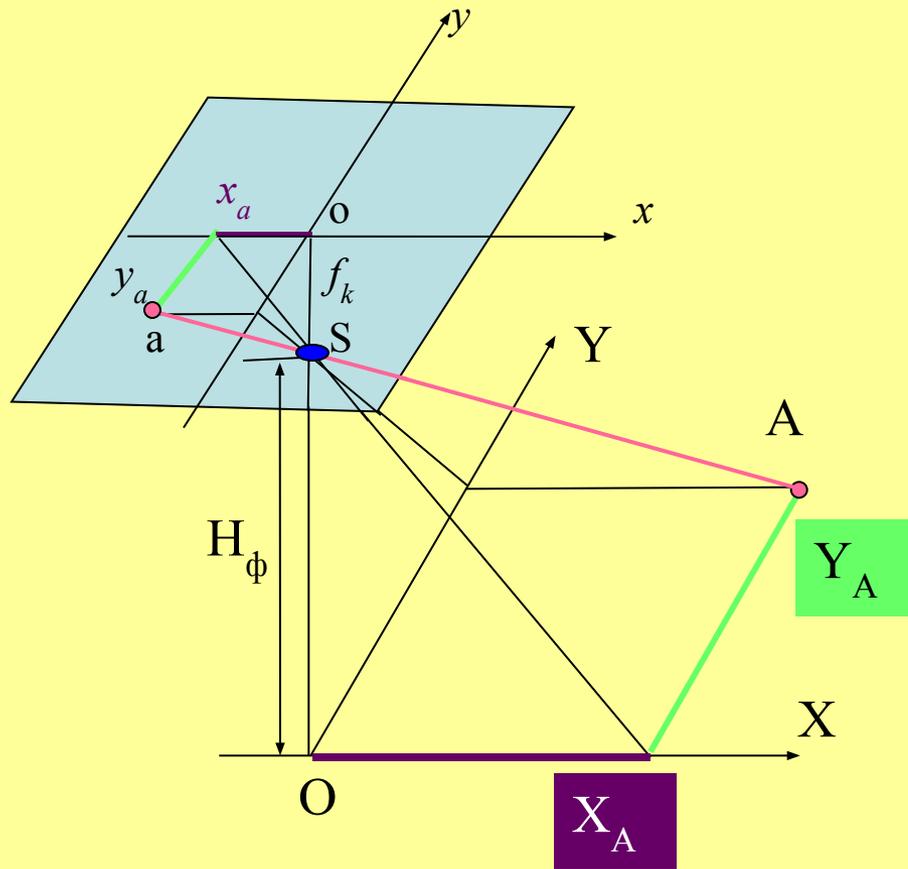
$$SJ = iv_0 = \frac{H}{\operatorname{Sin} \alpha_c}$$

Расстояние от точки нулевых искажений  $c$  до точки основания картины  $v_0$

$$Cv_0 = cv_0 = \frac{H - f}{\operatorname{Sin} \alpha_c}$$

# Свойства аэроснимков

Зависимость координат точек местности  
и координат точек снимка



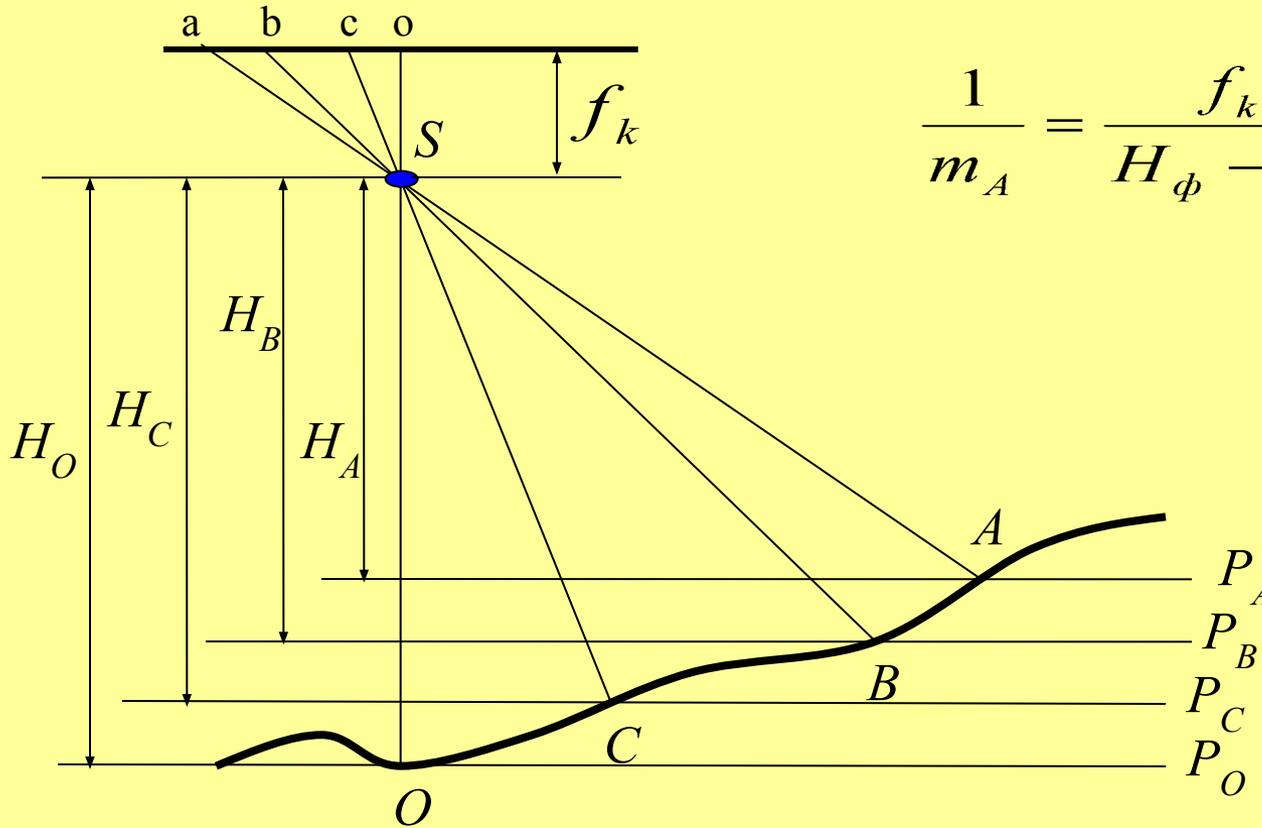
$$\frac{x_a}{X_A} = \frac{y_a}{Y_A} = \frac{f_k}{H_\phi} \quad (4)$$

$$X_A = x_a \frac{H_\phi}{f_k}; \quad (5)$$

$$Y_A = y_a \frac{H_\phi}{f_k}$$

# Свойства аэроснимков

## Влияние рельефа на масштаб изображения



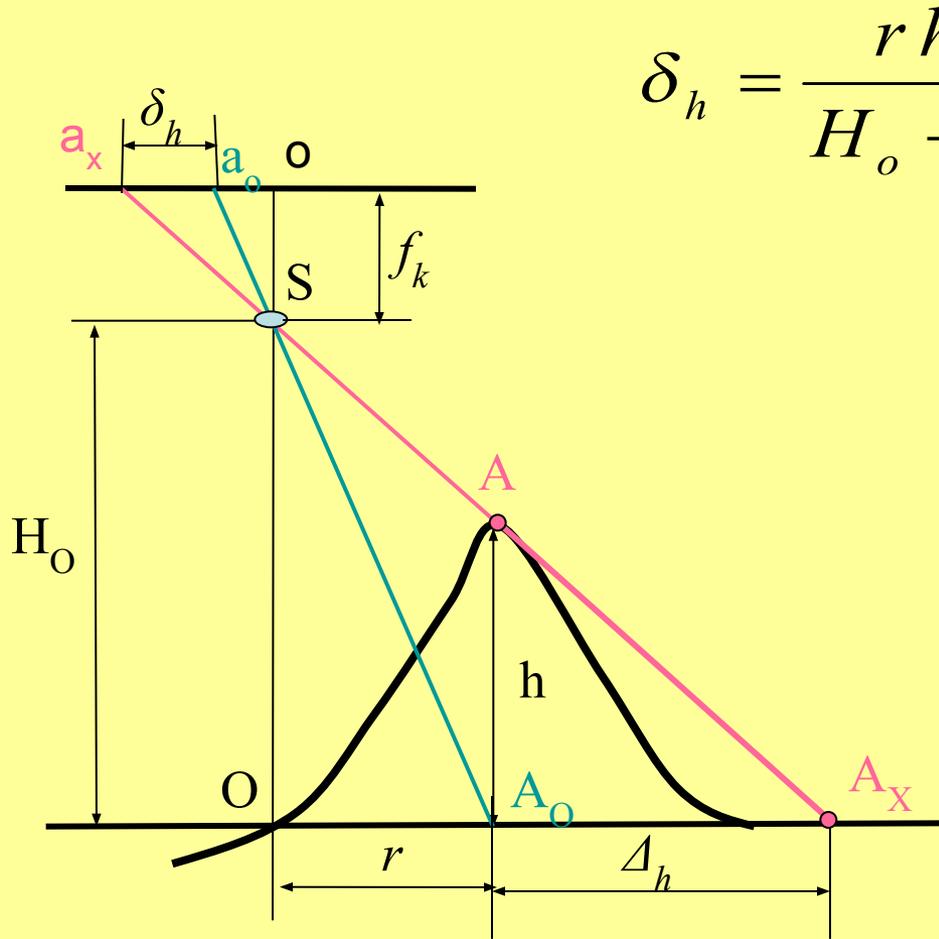
$$\frac{1}{m_A} = \frac{f_k}{H_\phi - h_A}; \quad (6)$$

$$\frac{1}{m_B} = \frac{f_k}{H_\phi - h_B};$$

$$\frac{1}{m_C} = \frac{f_k}{H_\phi - h_C}$$

$$\frac{1}{m} = \frac{f_k}{H_0 - h} \quad (7)$$

# Влияние рельефа на масштаб изображения

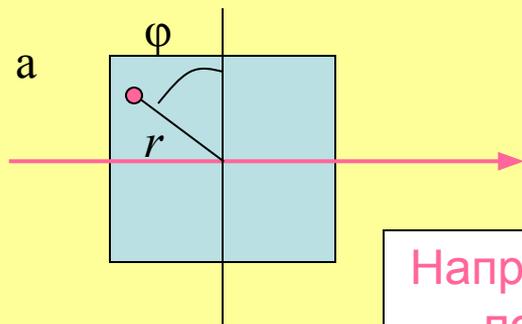
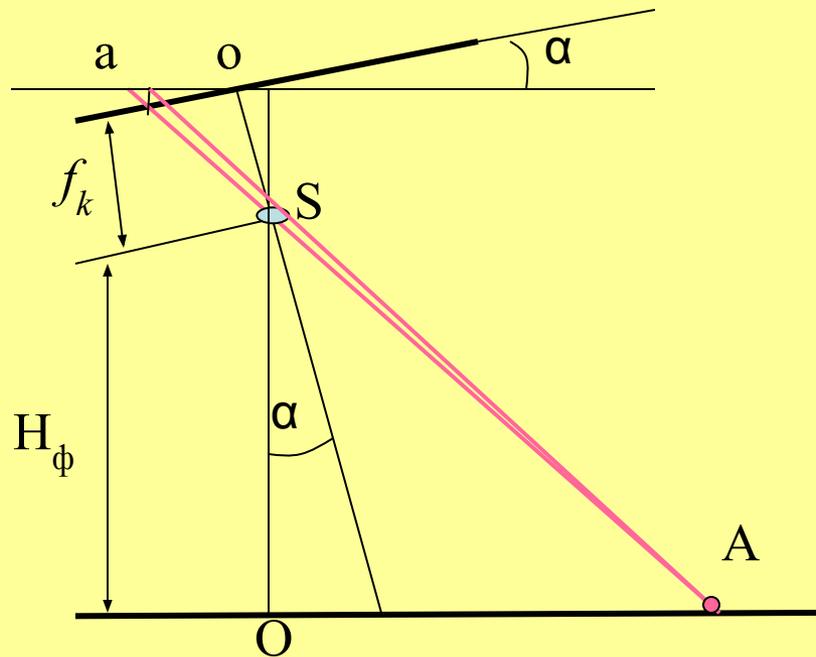


$$\delta_h = \frac{r h}{H_o - h} \quad (8)$$

$$X_A = x_a \frac{H_o - h}{f_k}; \quad (9)$$

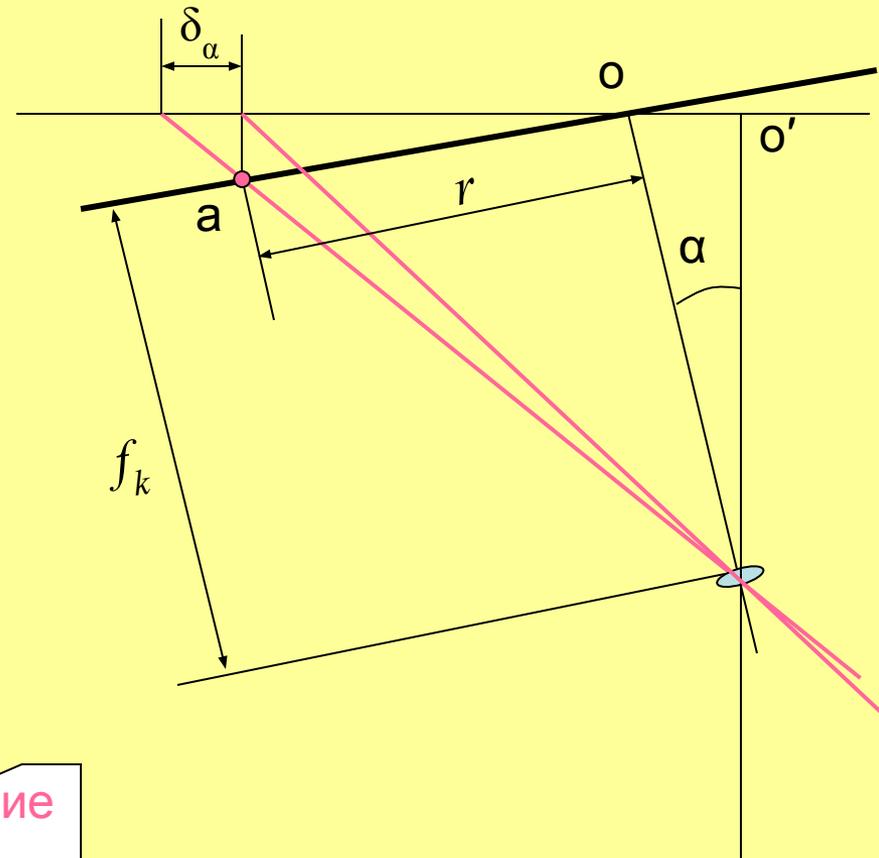
$$Y_A = y_a \frac{H_o - h}{f_k}$$

# Влияние продольного угла наклона на масштаб изображения

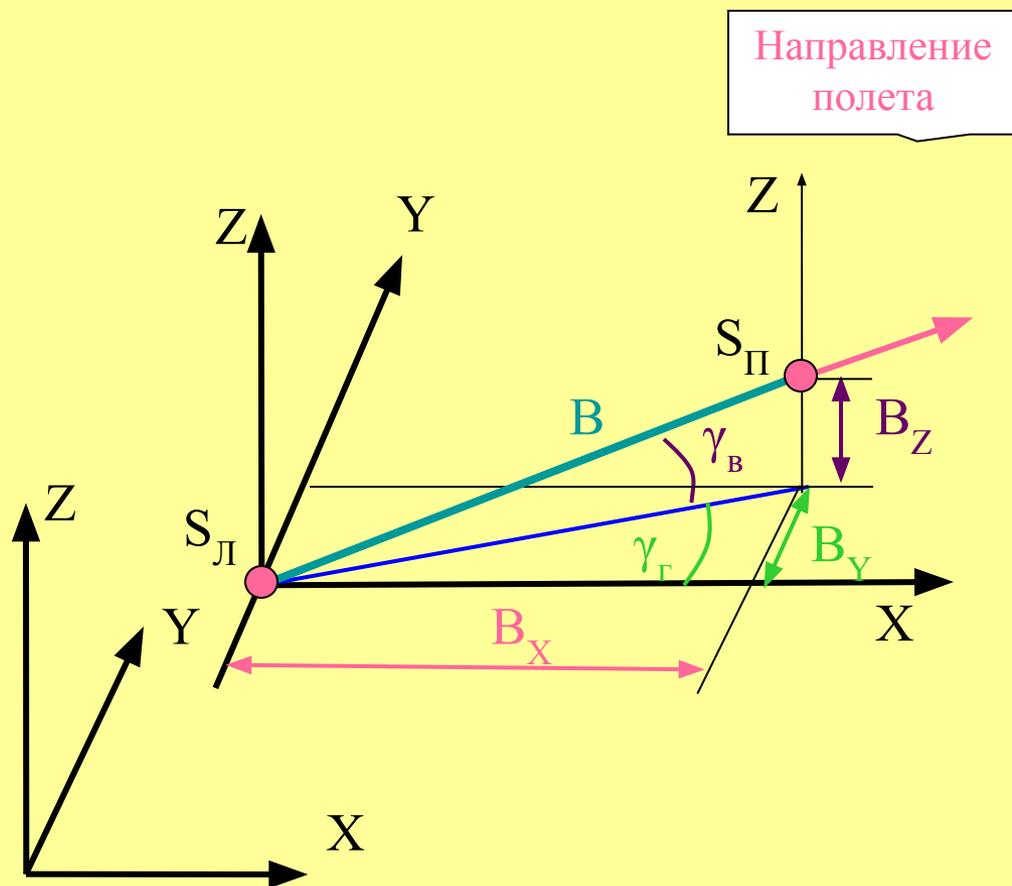


Направление полета

$$\delta_{\alpha} = -\frac{r^2}{f_k} \text{Sin} \alpha * \text{Sin} \varphi$$



# Элементы ориентирования снимков



$$\begin{aligned} &XS_{Л}, YS_{Л}, HS_{Л}, \alpha_{Л}, \omega_{Л}, \eta_{Л} \\ &XS_{П}, YS_{П}, HS_{П}, \alpha_{П}, \omega_{П}, \eta_{П} \end{aligned} \quad (12)$$

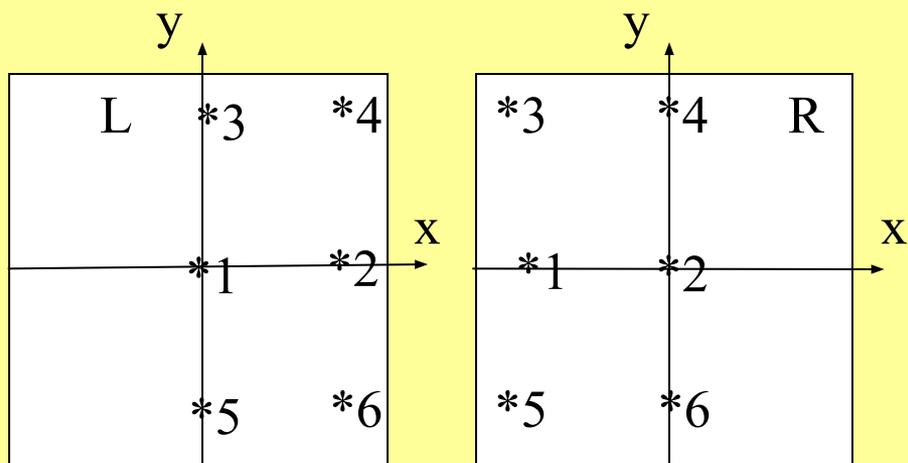
$$\begin{aligned} &XS_{Л}, YS_{Л}, HS_{Л}, \alpha_{Л}, \omega_{Л}, \eta_{Л}, \\ &\Delta X, \Delta Y, \Delta H, \Delta \alpha, \Delta \omega, \Delta \eta, \end{aligned} \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned} \Delta X &= Bx = B \cos \gamma_B \cos \gamma_G \\ \Delta Y &= By = B \cos \gamma_B \sin \gamma_G \\ \Delta H &= Bz = B \sin \gamma_B \end{aligned} \quad (14)$$

# Определение элементов ориентирования снимков

Стандартное расположение  
точек стереопары



$$\alpha_{\text{Л}} = -\frac{f_k \rho}{2by} (q_4 - q_6) \quad (15)$$

$$\alpha_{\text{П}} = -\frac{f_k \rho}{2by} (q_3 - q_5) \quad (16)$$

$$\Delta\alpha = \alpha_{\text{Л}} - \alpha_{\text{П}} \quad (17)$$

$$\varpi_{\text{Л}} - \varpi_{\text{П}} = \Delta\varpi = \quad (18)$$

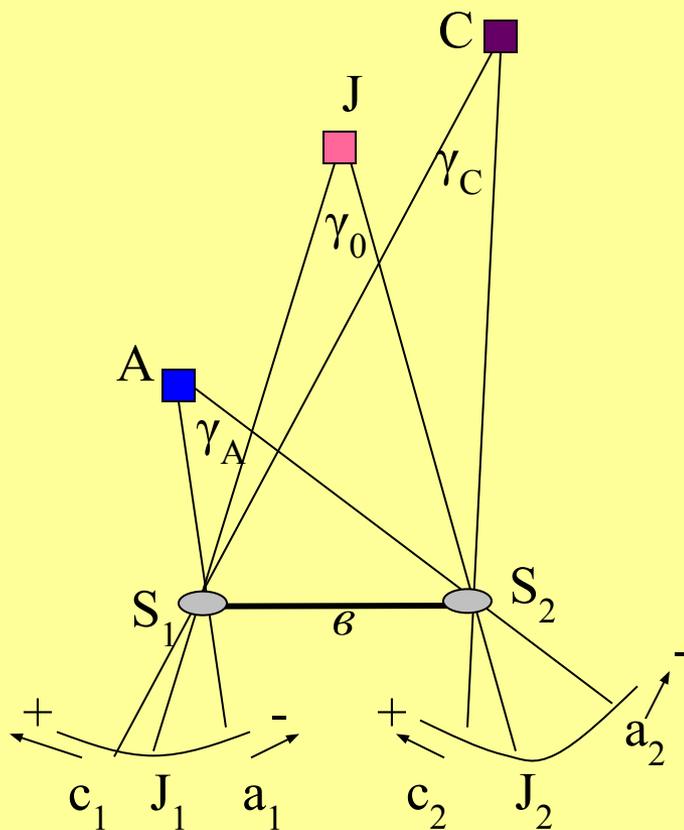
$$= \varepsilon = \frac{f_k \rho}{4y^2} (q_3 + q_4 + q_5 + q_6)$$

$$\eta_{\text{Л}} = \eta_{\text{П}} = \frac{f_k}{b} \varepsilon \quad (19)$$

# 3. Дешифрирование аэроснимков

# 4. Фотограмметрическая обработка аэроснимков

## Схема бинокулярного зрения



$$\gamma_A > \gamma_0 > \gamma_C$$

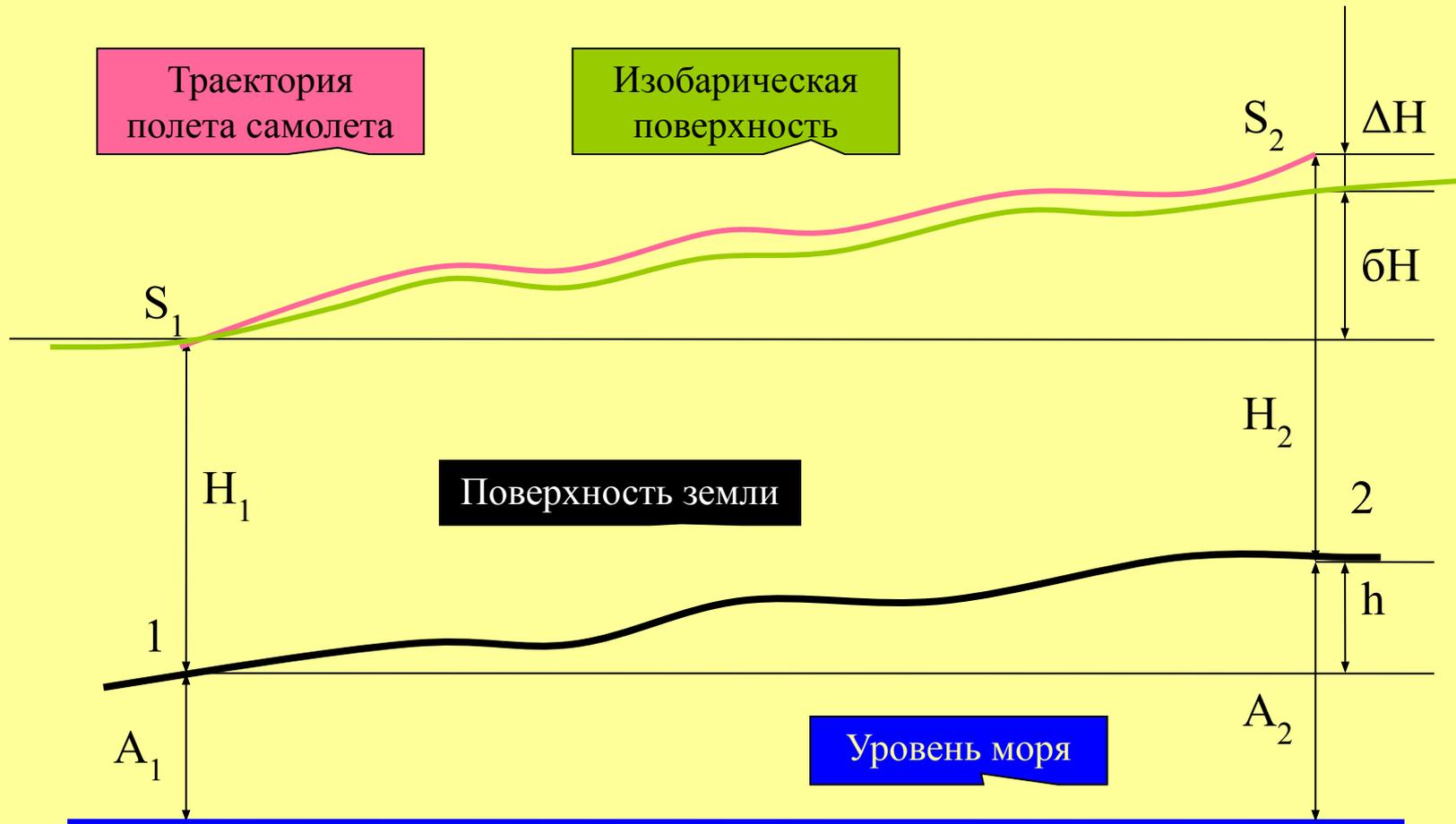
$$p_j = 0,$$

$$p_A = J_1 a_1 - J_2 a_2,$$

$$p_C = J_1 c_1 - J_2 c_2$$

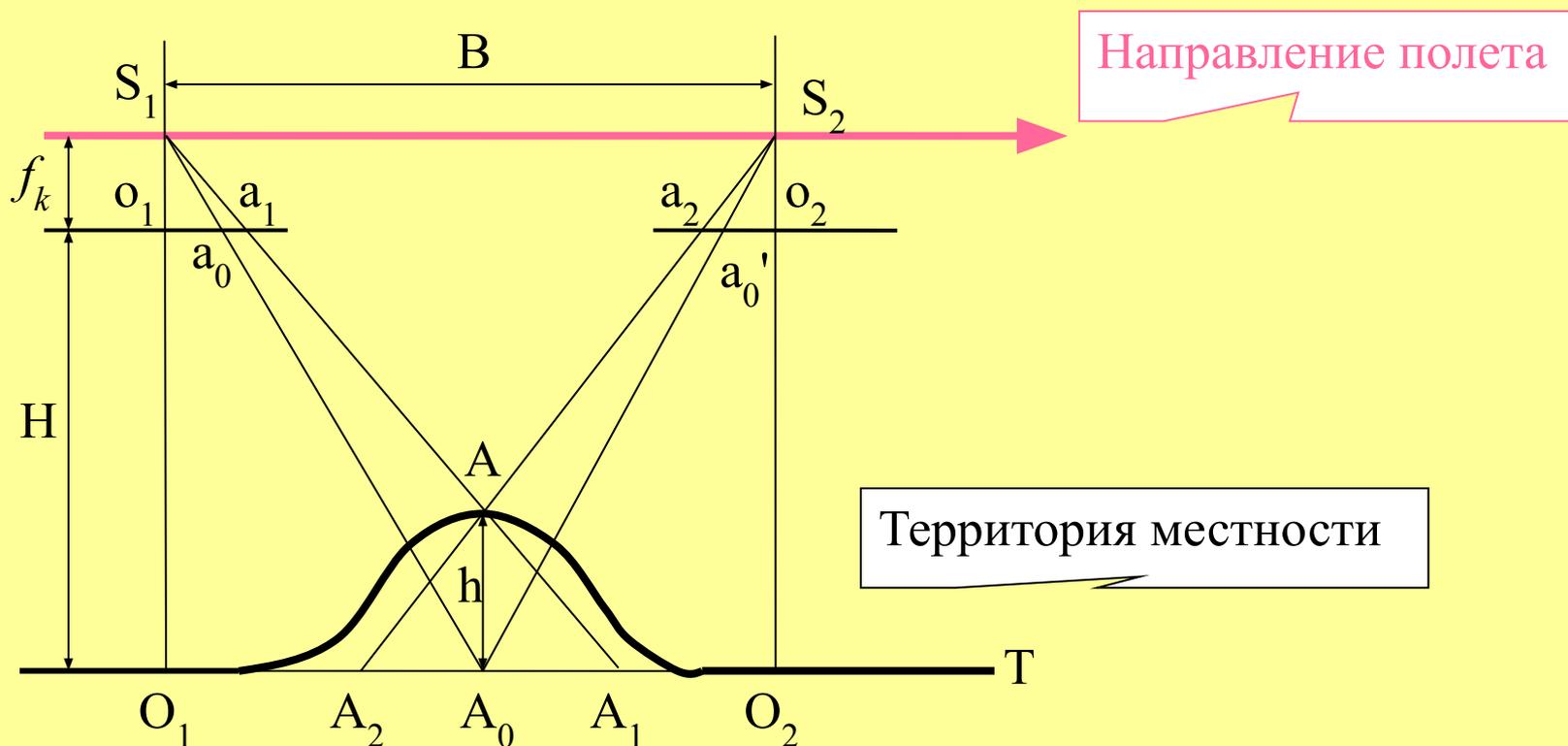
# Аэронивелирование

$$h = H_1 - H_2 + \Delta H + \delta H \quad (2)$$



# Фотограмметрическая обработка аэроснимков

## Определение превышений



$$\frac{B}{A_1 A_2} = \frac{H - h}{h} \Rightarrow h = \frac{A_1 A_2 * H}{B + A_1 A_2} \quad (20)$$

# Определение превышений по аэроснимкам

$$\frac{B}{A_1 A_2} = \frac{H - h}{h} \quad h = \frac{A_1 A_2 * H}{B + A_1 A_2} \quad (20)$$

$$B = A_0 O_1 + A_0 O_2 = \frac{H}{fk} (a_0 o_1 + a_0' o_2) = \frac{H}{fk} (x_{\text{л}}^o - x_{\text{п}}^o) = \frac{H}{fk} P_0$$

$$\frac{A_0 A_2}{a_0 a_2} = \frac{A_0 A_1}{a_0 a_1} = \frac{H}{fk}$$

$$P_0 = x_{\text{л}}^o - x_{\text{п}}^o = B$$

$$A_1 A_2 = A_0 A_2 + A_0 A_1 = \frac{H}{fk} (x_{\text{л}}^a - x_{\text{п}}^a - x_{\text{л}}^o + x_{\text{п}}^o)$$

$$P_a = x_{\text{л}}^a - x_{\text{п}}^a$$

$$B = \frac{H}{f_k} P_0;$$

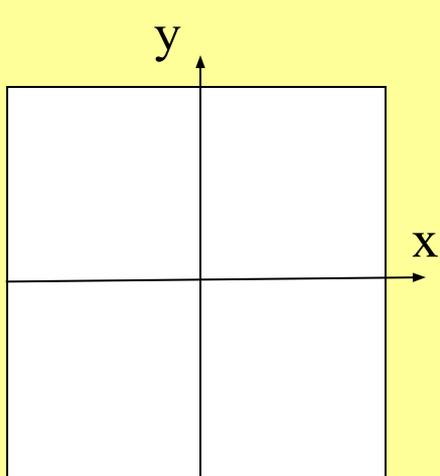
$$A_1 A_2 = \frac{H}{f_k} (P_a - P_0) = \frac{H}{f_k} \Delta P \quad \longrightarrow \quad h = \frac{\Delta P * H}{P_0 + \Delta P} \quad (21)$$



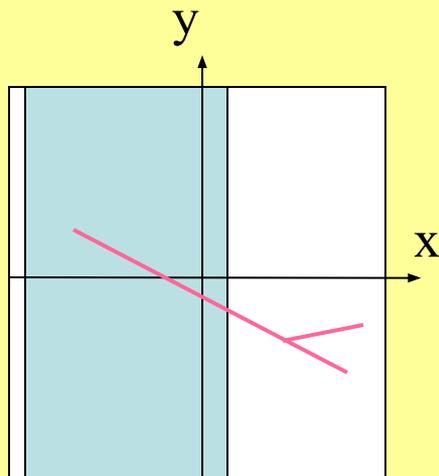


# Нивелирование по аэроснимкам

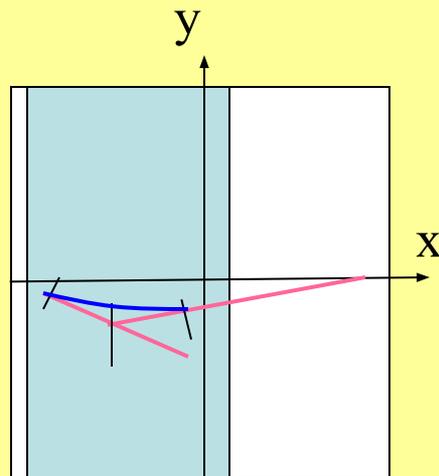
№ 1



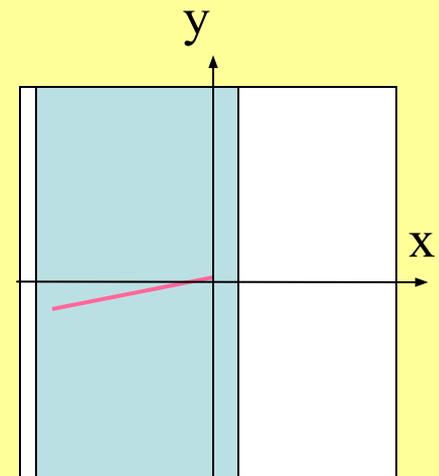
№ 2



№ 3



№ 4



# Журнал нивелирования по аэроснимкам

№№ ПП	Пикет	Отсчеты по винту параллаксом, мм			Разность паралла КСОВ	Превышения	Отметки
		ПК +	$P_1$	$P_2$			

Стереопара: снимки № \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_;  $b = 61,0$  мм;  $H = 1156$  м;  $A_{ц} = 145.31$  м.

Исходный	Центр правого снимка	61,1	60,8	60,95	0,0		
1	ПК 0	62,3	62,4	62,35	+1,40	+25.9	
2	ПК 1	62,7	62,9	62,8	+1,85	+34.0	
3	ПК 2	62,5	62,8	62,65	+1,70	+31.3	

$$P_{cp} = (P_1 + P_2)/2$$

$$\Delta P = P_{cp(i)} - P_{cp(ц)}$$

$$A_i = A_{ц} + h$$

$$h = \frac{\Delta P * H}{b + \Delta P}$$

# Трансформирование аэроснимков

Трансформирование - преобразование центральной перспективной ( $\alpha > 3^\circ$ ) проекции снимков в их плановое положение ( $\alpha = 0^\circ$ )

- Способы прансформирования:

1. Аналитический: по формулам при измерении координат и параллаксов на стереокомпараторе;

2. Фотомеханический: на приборах – фототрансформаторах с получением трансформированных снимков;

3. Оптико-графический: на приборах – фототрансформаторах с перерисовкой изображений в ручном режиме;

4. Дифференциальный: (фотомеханический) с учетом высоты рельефа;

5. Цифровой: комбинация аналитического и фотомеханического способов при использовании компьютерной техники.

# Трансформирование аэроснимков

- Аналитическое трансформирование по формулам при измерении координат и параллаксов на стереокомпараторе:

$$X = \frac{A_1x + A_2y + A_3}{C_1x + C_2y + 1}; \quad Y = \frac{B_1x + B_2y + B_3}{C_1x + C_2y + 1} \quad (22)$$

$$\text{где } A_1 = \frac{a_1H}{c_3f}; A_2 = \frac{a_2H}{c_3f}; A_3 = -\frac{a_3H}{c_3};$$

$$B_1 = \frac{b_1H}{c_3f}; B_2 = \frac{b_2H}{c_3f}; B_3 = \frac{b_3H}{c_3};$$

$$C_1 = -\frac{c_1}{c_3f}; C_2 = -\frac{c_2}{c_3f}$$

# Определение направляющих КОСИНУСОВ

В формулах (22) коэффициенты  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$  называют направляющими косинусами. Вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned} a_1 &= \text{Cosa} * \text{Cos}\eta - \text{Sina} * \text{Sin}\varpi * \text{Sin}\eta; & b_1 &= \text{Cos}\varpi * \text{Sin}\eta; \\ a_2 &= -\text{Cosa} * \text{Cos}\eta - \text{Sina} * \text{Sin}\varpi * \text{Cos}\eta; & b_2 &= \text{Cos}\varpi * \text{Cos}\eta; \\ a_3 &= -\text{Sina} * \text{Cos}\varpi; & b_3 &= -\text{Sin}\varpi; \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} c_1 &= \text{Sina} * \text{Cos}\eta + \text{Cosa} * \text{Sin}\varpi * \text{Sin}\eta; \\ c_2 &= -\text{Sina} * \text{Sin}\eta - \text{Cosa} * \text{Sin}\varpi * \text{Cos}\eta; \\ c_3 &= \text{Cosa} * \text{Cos}\varpi. \end{aligned}$$

где  $\alpha, \varpi, \eta$  – угловые элементы ориентирования снимков.  
Устанавливают по формулам (15) – (19).

# Трансформирование аэроснимков

2. Фотомеханический: на приборах – фототрансформаторах с получением трансформированных снимков;

2.1. Оптическое условие трансформирования

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{D} + \frac{1}{d}$$

2.2. Геометрическое условие трансформирования:

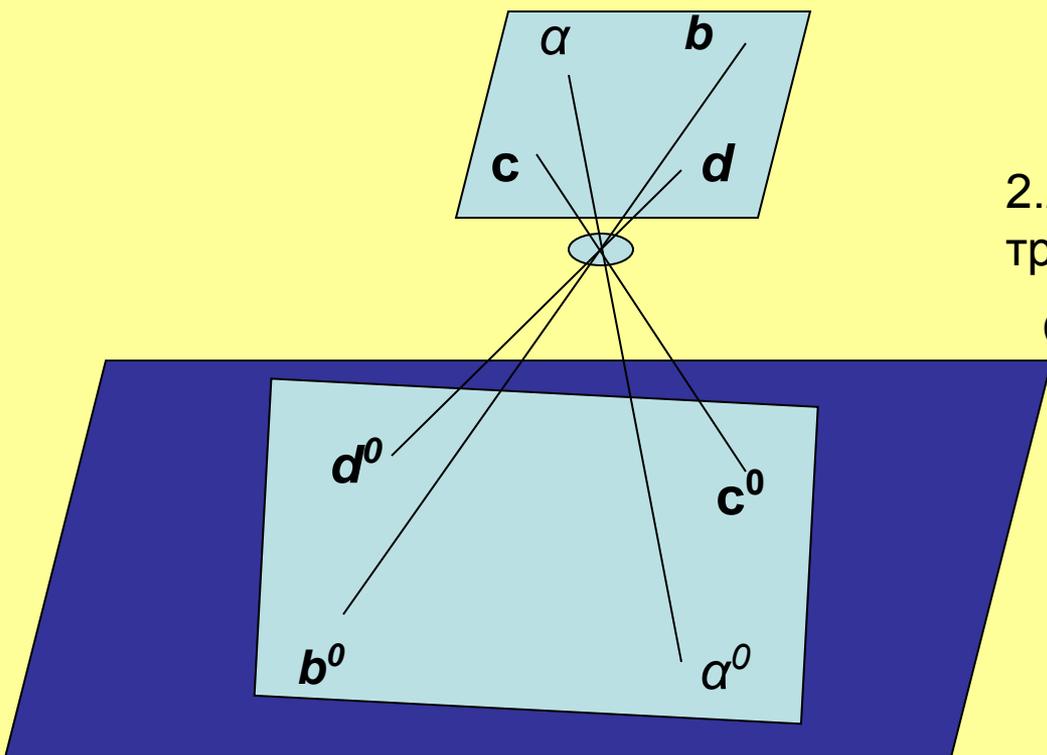
Соответствие координат картинной и предметной плоскостей

$$x_a \equiv Xa^0; \quad y_a \equiv Ya^0$$

$$x_b \equiv Xb^0; \quad y_b \equiv Yb^0$$

$$x_c \equiv Xc^0; \quad y_c \equiv Yc^0$$

$$x_d \equiv Xd^0; \quad y_d \equiv Yd^0$$

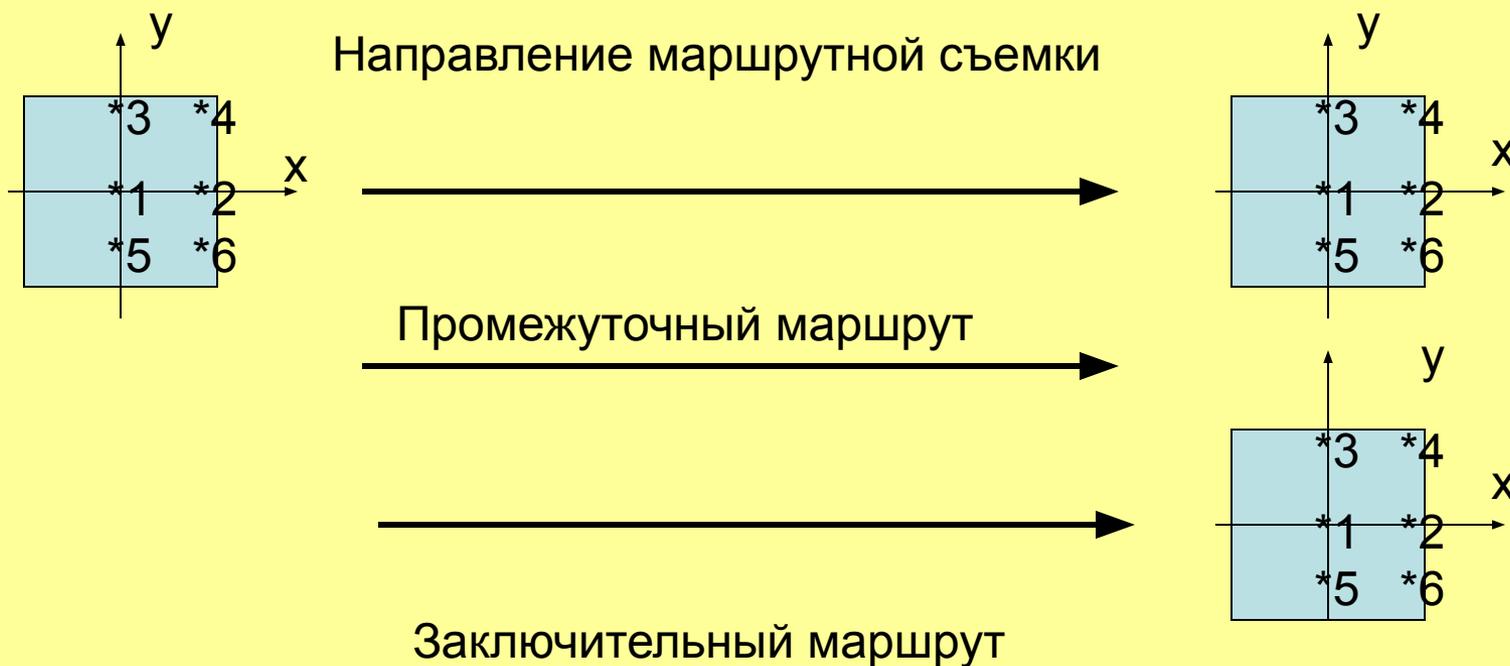


# Трансформирование аэроснимков

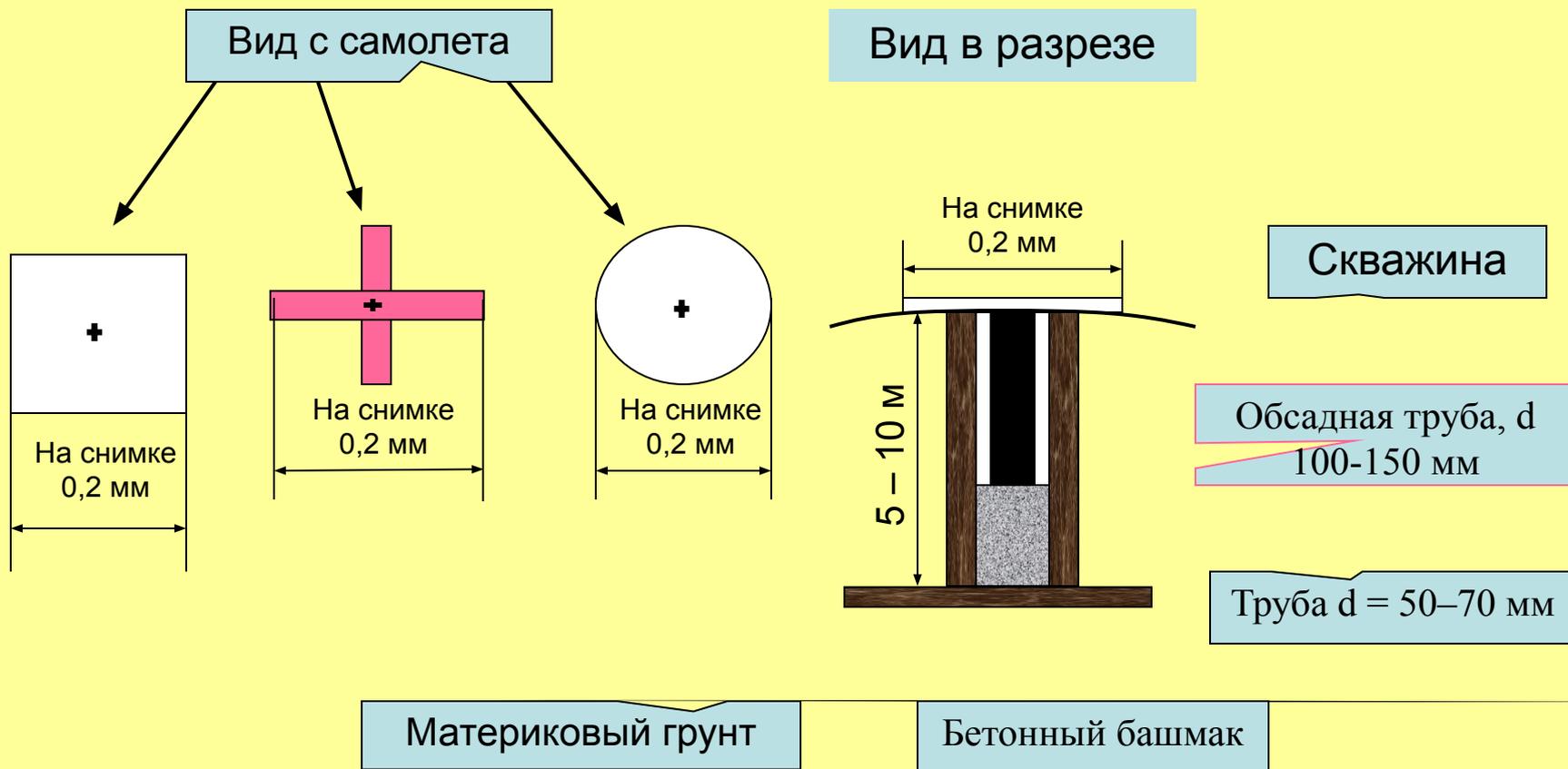
3. Оптико-графический: на приборах – фототрансформаторах с перерисовкой изображений в ручном режиме;
4. Дифференциальный: (фотомеханический) с учетом высоты рельефа;
5. Цифровой: комбинация аналитического и фотомеханического способов при использовании компьютерной техники.

# 5. Планово-высотное обоснование или привязка аэроснимков

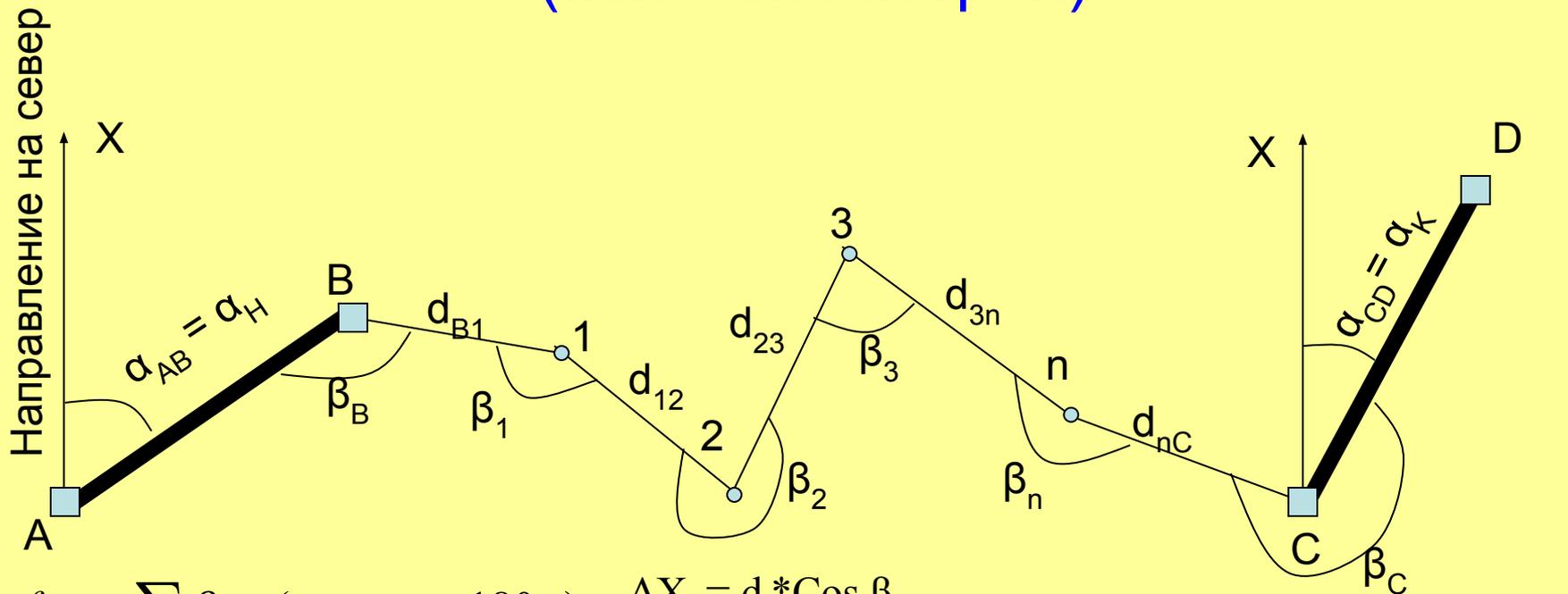
Выбор на местности местоположения опознаков



# Конструкция опознаков



# Теодолитные хода повышенной точности (полигонометрия)



$$f_{\beta \phi} = \sum \beta_i - (\alpha_K - \alpha_H + 180n)$$

$$\Delta X_i = d_i \cdot \cos \beta_i$$

$$\Delta Y_i = d_i \cdot \sin \beta_i$$

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_i$$

$$f_{\beta \text{ доп}} = t m \sqrt{n}$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y_i$$

$$v_{\beta} = \frac{-f_{\beta}}{n}$$

$$fx = (\sum \Delta X_{\phi}) - (X_K - X_H),$$

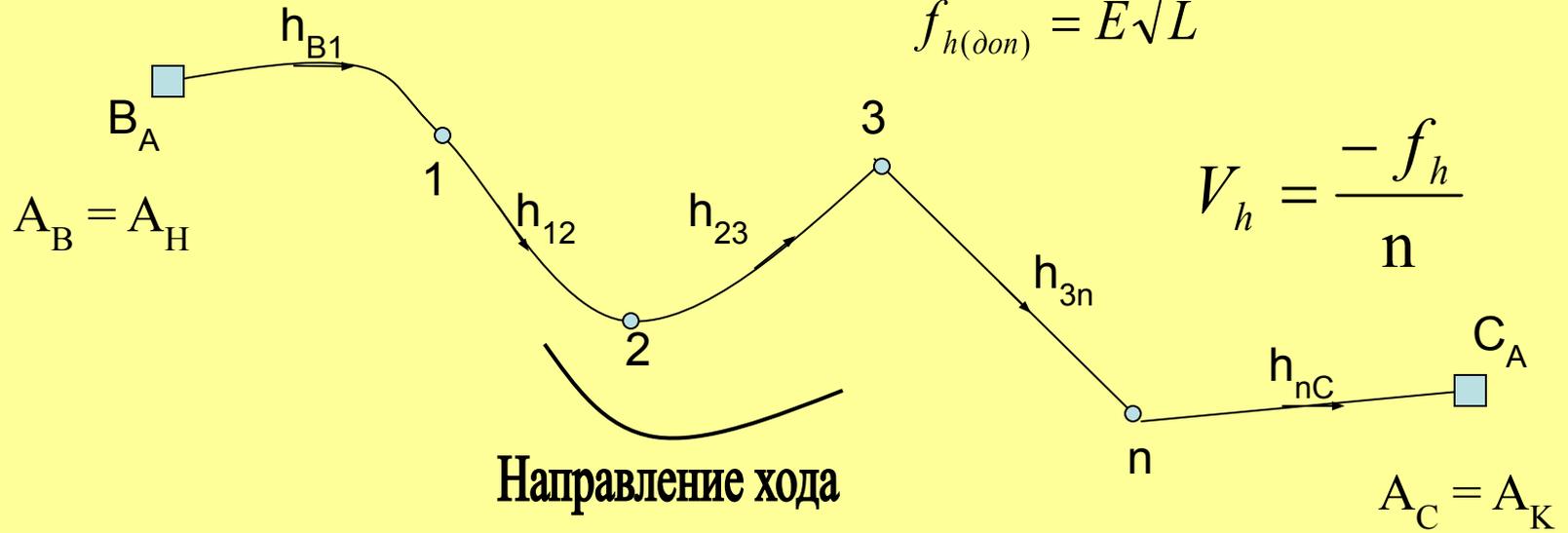
$$fy = (\sum \Delta Y_{\phi}) - (Y_K - Y_H),$$

$$f_{abc} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad f_{\text{отн}} = \frac{f_{abc}}{\sum d_i}, \quad f_{\text{отн}(\text{доп})} = \frac{1}{5000}.$$

# Нивелирование опознаков

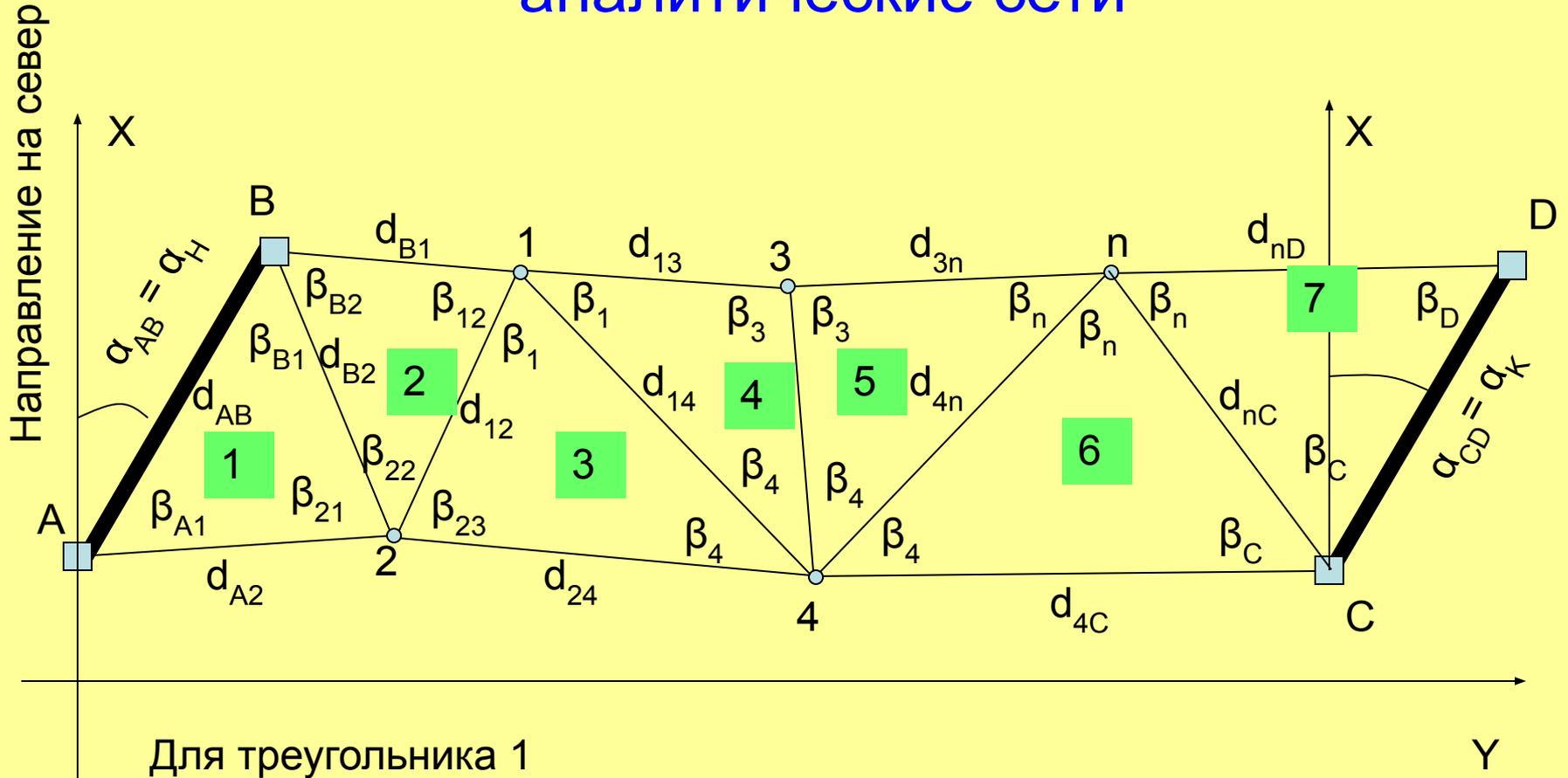
$$f_h = \sum h_i - (A_K - A_H),$$

$$f_{h(\text{дон})} = E\sqrt{L}$$



$$A_{i+1} = A_i + h_i$$

# Триангуляция (трилатерация) или аналитические сети



$$\frac{d_{AB}}{\sin \beta_{21}} = \frac{d_{A2}}{\sin \beta_{B1}} = \frac{d_{B2}}{\sin \beta_{A1}}$$

# Триангуляция (трилатерация) или аналитические сети

Уравнивание углов в  
треугольниках

$$f(j)_{\beta \phi} = \sum_1^3 \beta_j - 180^{\circ}$$

$$f_{\beta \text{ доп}} = t m \sqrt{n}$$

$$v_{\beta} = \frac{-f_{\beta}}{n}$$

Вычисление приращений  
координат

$$\Delta X_i = d_i * \text{Cos } \beta_i$$

$$\Delta Y_i = d_i * \text{Sin } \beta_i$$

Уравнивание приращений  
координат

$$f(i)x = \sum_1^3 \Delta X_j \quad V_{xj} = \frac{-f(i)x d(i)j}{\sum_1^3 d_j}$$

$$f(i)y = \sum_1^3 \Delta Y_j \quad V_{yj} = \frac{-f(i)y d(i)j}{\sum_1^3 d_j}$$

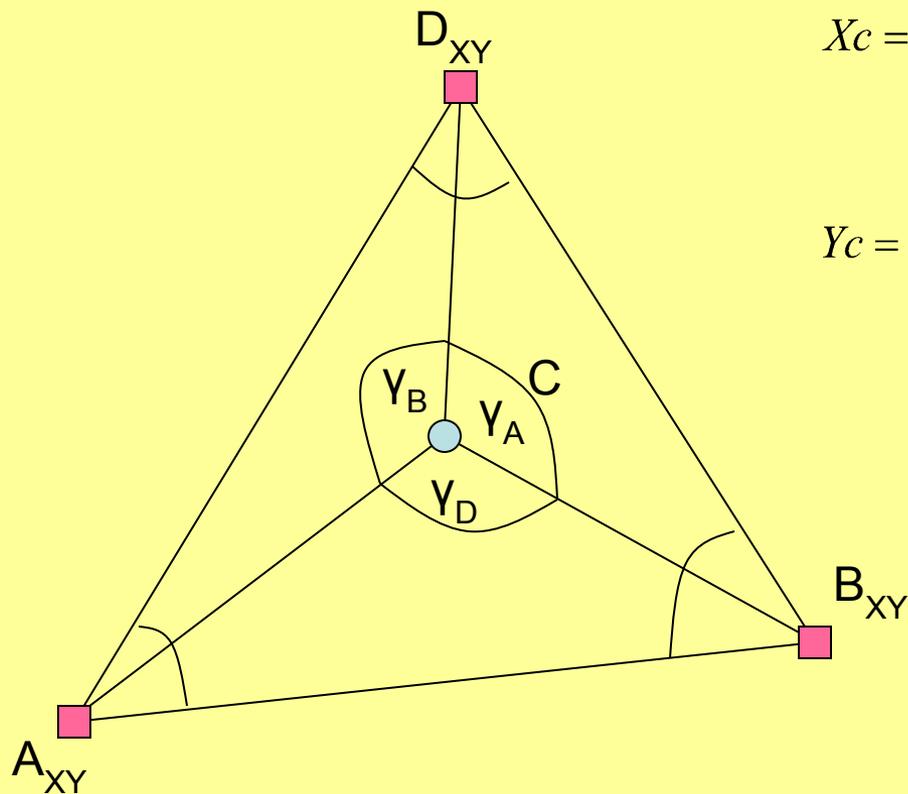
$$f_{\text{аос}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad f_{\text{омн}} = \frac{f_{\text{аос}}}{\sum d_i}, \quad f_{\text{омн(доп)}} = \frac{1}{5000}$$

Вычисление координат

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_i$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y_i$$

# Обратная засечка



$$X_C = \frac{X_A P_A + X_D P_D + X_B P_B}{P_A + P_D + P_B};$$

$$Y_C = \frac{Y_A P_A + Y_D P_D + Y_B P_B}{P_A + P_D + P_B}$$

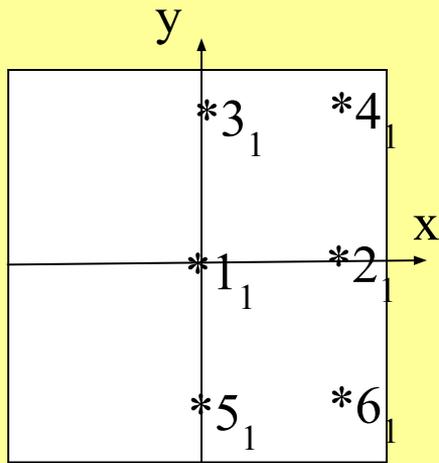
$$P_A = \frac{1}{\operatorname{ctg} A - \operatorname{ctg} \gamma_A};$$

$$P_D = \frac{1}{\operatorname{ctg} D - \operatorname{ctg} \gamma_D};$$

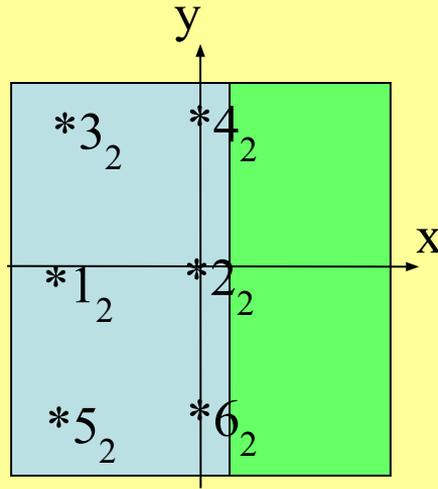
$$P_B = \frac{1}{\operatorname{ctg} B - \operatorname{ctg} \gamma_B}$$

# Фототриангуляция

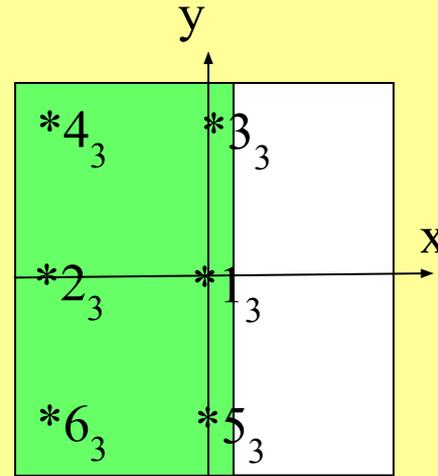
№ 1



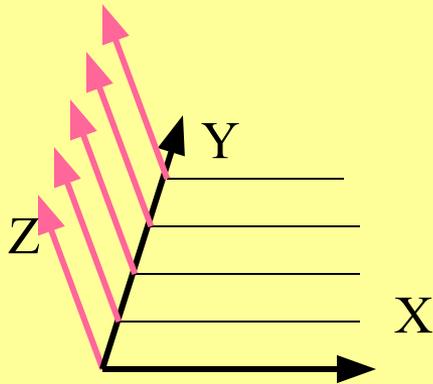
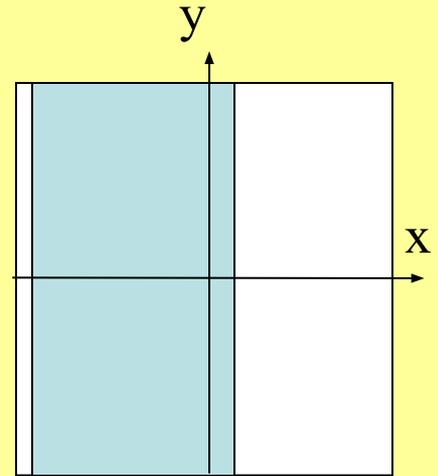
№ 2



№ 3



№ 4



$$XS_{\text{Л}}, YS_{\text{Л}}, HS_{\text{Л}}, \alpha_{\text{Л}}, \omega_{\text{Л}}, \eta_{\text{Л}}, \quad (13)$$

$$\Delta X, \Delta Y, \Delta H, \Delta \alpha, \Delta \omega, \Delta \eta,$$

где

$$\Delta X = B_x = B \cos \gamma_B \cos \gamma_T$$

$$\Delta Y = B_y = B \cos \gamma_B \sin \gamma_T \quad (14)$$

$$\Delta H = B_z = B \sin \gamma_B$$

# Фототриангуляция

$$\alpha_{Л} = -\frac{f_k \rho}{2by} (q_4 - q_6) \quad (15)$$

$$\alpha_{П} = -\frac{f_k \rho}{2by} (q_3 - q_5) \quad (16)$$

$$\Delta\alpha = \alpha_{Л} - \alpha_{П} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \varpi_{Л} - \varpi_{П} &= \Delta\varpi = \\ &= \varepsilon = \frac{f_k \rho}{4y^2} (q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \end{aligned} \quad (18)$$

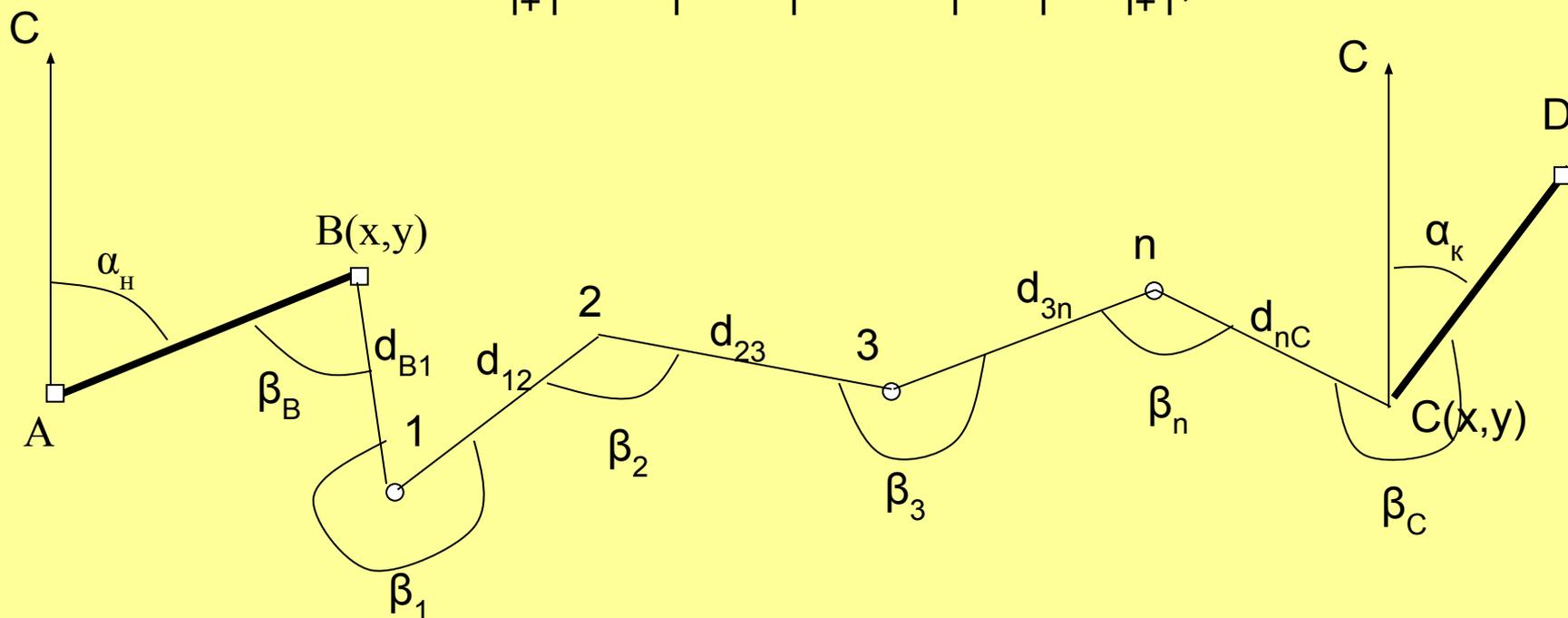
$$\eta_{Л} = \eta_{П} = \frac{f_k}{b} \varepsilon \quad (19)$$

# 6. Применение электронной геодезической техники и спутниковые методы геодезических измерений

# Привязка снимков электронным ТЕОДОЛИТОМ

Режим прямой геодезической задачи

$$\begin{aligned}d_i &= D_i \cos v_i; & \alpha_{i+1} &= \alpha_i + \beta_{\text{прав}} - 180^\circ; \\X_{i+1} &= X_i + d_i * \cos \alpha_{i+1}; & Y_{i+1} &= Y_i + d_i * \sin \alpha_{i+1}; \\H_{i+1} &= H_i + D_i * \sin v_i + i_i - l_{i+1},\end{aligned}$$



# Привязка снимков электронным теодолитом

1. Угловая невязка:  $f_{\beta} = \alpha_k - \alpha_{CD}$ ,

если  $f_{\beta} \geq 2m\sqrt{n}$ , то “недопустимая угловая невязка”;

если  $f_{\beta} \leq 2m\sqrt{n}$ , то  $\beta_i = \beta_i + (-f_{\beta}/n)$ ,  $\alpha_{i+1} = \alpha_i + \beta_i - 180^\circ$ ;

2. Линейная невязка:  $f_x = X_k - X_C$ ,  $f_y = Y_k - Y_C$ ,  $f_{abc} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ ;

если  $f_{abc}/\sum d \geq 0.0005$ , то “недопустимая линейная невязка”

если  $f_{abc}/\sum d \leq 0.0005$ , то

$$X_{i+1} = X_i + d_i * \cos \alpha_i + \frac{-f_x * d_i}{\sum d_i}; Y_{i+1} = Y_i + d_i * \sin \alpha_i + \frac{-f_y * d_i}{\sum d_i}$$

3. Высотная невязка:  $f_H = H_k - H_C$ ;

если  $f_H \geq 0.01\sqrt{n}$ , то “недопустимая высотная невязка”

если  $f_H \leq 0.01\sqrt{n}$ , то  $H_{i+1} = H_i + D_i * \sin v_i + i_i - l_i + \frac{-f_H * D_i}{\sum D_i}$

# Спутниковые методы привязки СНИМКОВ

1. ГЛОНАСС – ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система;
2. NAVSTAR – GPS – NAVigation Sistem with Time And Rangiring – Global Positioning System (Навигационная система определения расстояний и времени – глобальная позиционирования система).

Состоят из трех сегментов:

космического, контроля и управления, сегмент пользователя

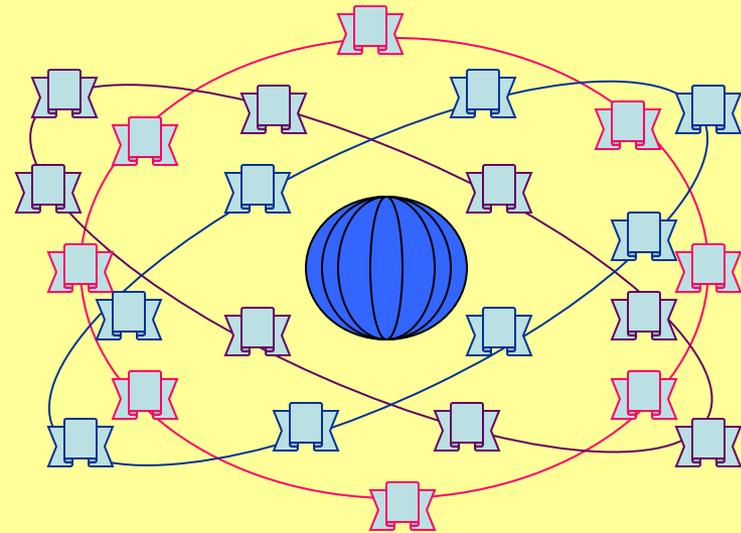
# Космический сегмент

ГЛОНАСС – ГЛОбальная  
НАвигационная Спутниковая  
Система

24 спутника на 3-х  
орбитальных плоскостях.

Расстояние от поверхности  
Земли 20 180 км;

От центра Земли 26 600 км

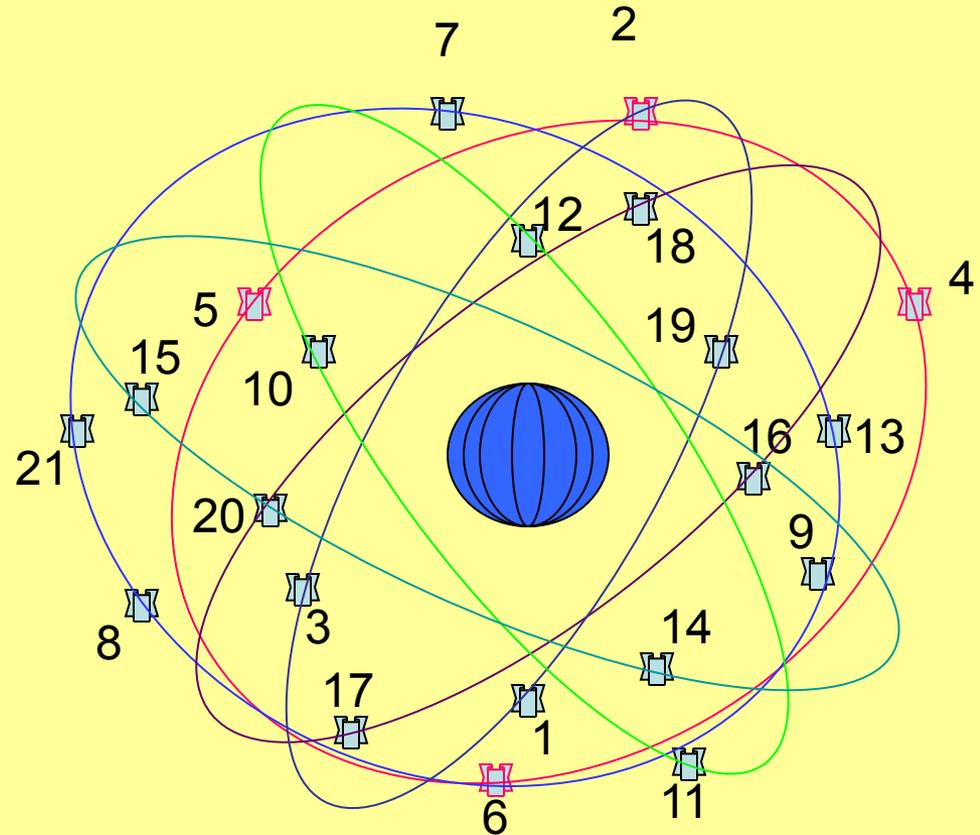


# Космический сегмент

NAVSTAR – GPS – NAVigation  
System with Time And  
Ranging – Global  
Positioning System  
(Навигационная система  
определения расстояний и  
времени – глобальная  
позиционирования  
система).

21 рабочий и 3 запасных  
спутника на 6-и  
орбитальных плоскостях.

Расстояние от поверхности  
Земли 20 180 км;  
От центра Земли 26 600 км



# Сегмент контроля и управления

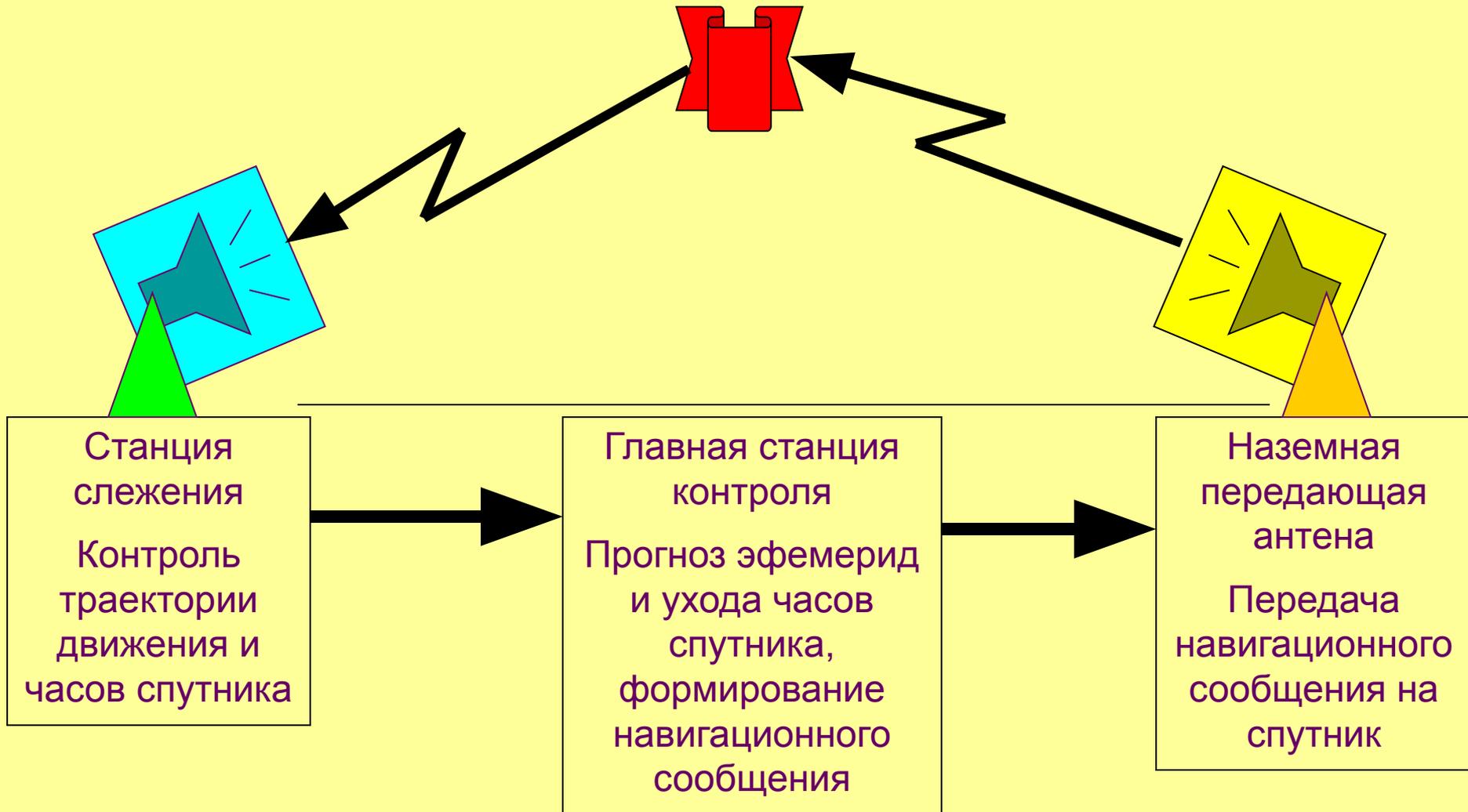
- ГЛОНАСС – ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система
- ЦУС - центр управления системой;
- ЦС – центральный синхронизатор;
- КС – контрольная станция;
- СКФ – система контроля фаз;
- КОС – квантово-оптическая станция;
- АКП – аппаратура контроля параметров;
- КСС – контрольная станция слежения.



- NAVSTAR – GPS – NAVigation Sistem with Time And Rangiring – Global Positioning System
- Станции слежения;
- Главные станции контроля;
- Наземные антенны.

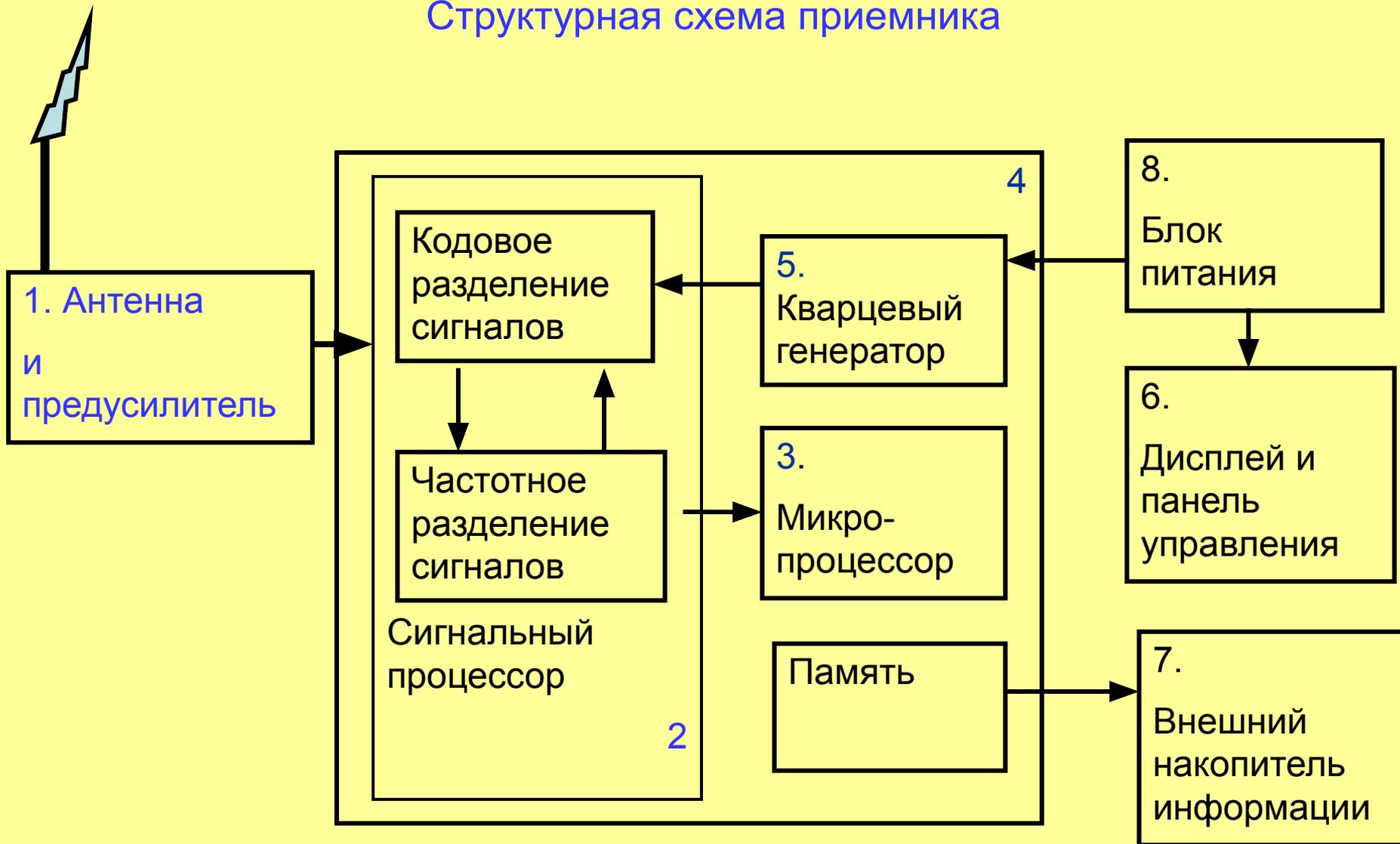


# Сегмент контроля и управления



# Сегмент пользователя

## Структурная схема приемника



# Сегмент пользователя

## Структурная схема приемника

1. Антенна с предусилителем;
2. Идентификатор сигналов и распределение частот по каналам;
3. Микропроцессор для управления работой приемника;
4. Расшифровка принятой информации, вычисление абсолютных координат и поправок в часы приемника, выполнение фазовых измерений;
5. Стабильный кварцевый генератор;
6. Дисплей и панель управления;
7. Блок памяти для записи и хранения информации;
8. Блок питания.

# Сегмент пользователя

- Классификация приемников по кодировке сигнала:

C/A код;

C/A код + фазовые измерения на частоте  $L_1$ ;

C/A код + фазовые измерения на частотах  $L_1$  и  $L_2$ ;

C/A код + P-код + фазовые измерения на частотах  $L_1$  и  $L_2$ ;

- Определение расстояний и координат приемника

Псевдодальность равна  $D' = (T_{\Pi} - T_C) v$ ;

Расстояние между спутником и приемником равно:

$$D + \delta t v = (T_{\Pi} - T_C) v;$$

ИЛИ

$$\sqrt{(X_C - X_{\Pi})^2 + (Y_C - Y_{\Pi})^2 + (Z_C - Z_{\Pi})^2} + \delta t v = (T_{\Pi} - T_C) v$$

# Сегмент пользователя

- Режимы наблюдений:
  - Статика;
  - Быстрая статика;
  - Кинематика;
  - Кинематика “в полете”;
  - Кинематика в реальном времени.

- Преобразование координат:

$$X_R = X_r(1+\mu) - Z_r\omega_y + Y_r\omega_z + \Delta X_0;$$

$$Y_R = Y_r(1+\mu) - Z_r\omega_x + X_r\omega_z + \Delta Y_0;$$

$$Z_R = Z_r(1+\mu) - Y_r\omega_x + X_r\omega_y + \Delta Z_0;$$

# Лазерный сканер Leica ScanStation P20

