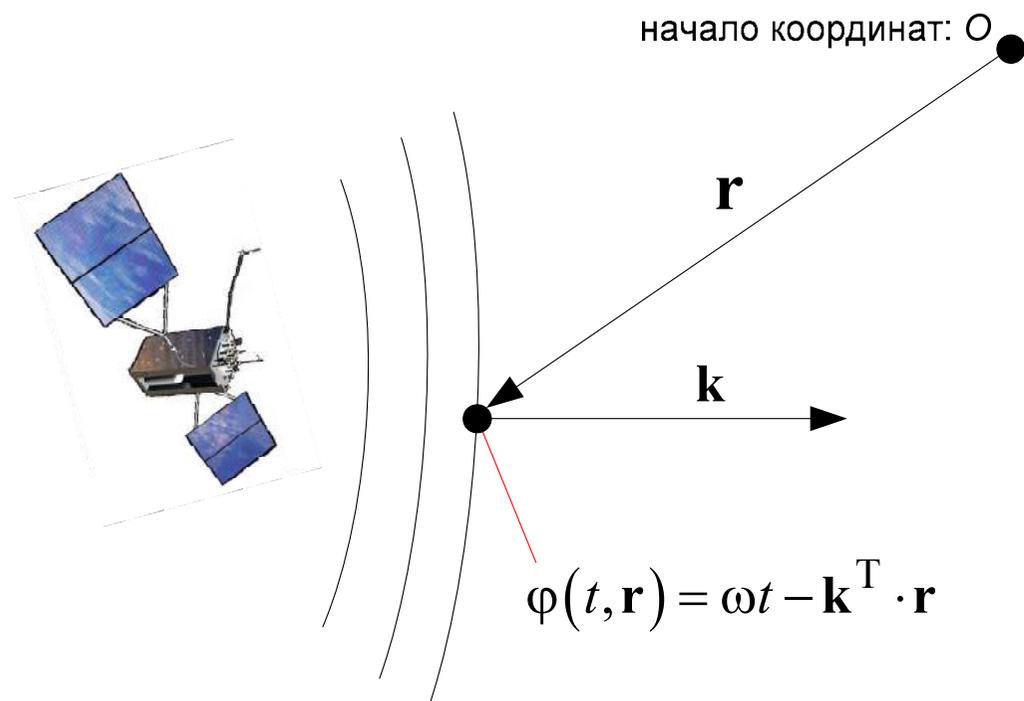


Лекция 4. Физические принципы определения НП в радионавигации.

Распространение радиоволн.

- Радионавигация возможна благодаря конечной скорости света!

$$c = 299792458 \text{ м/с}$$

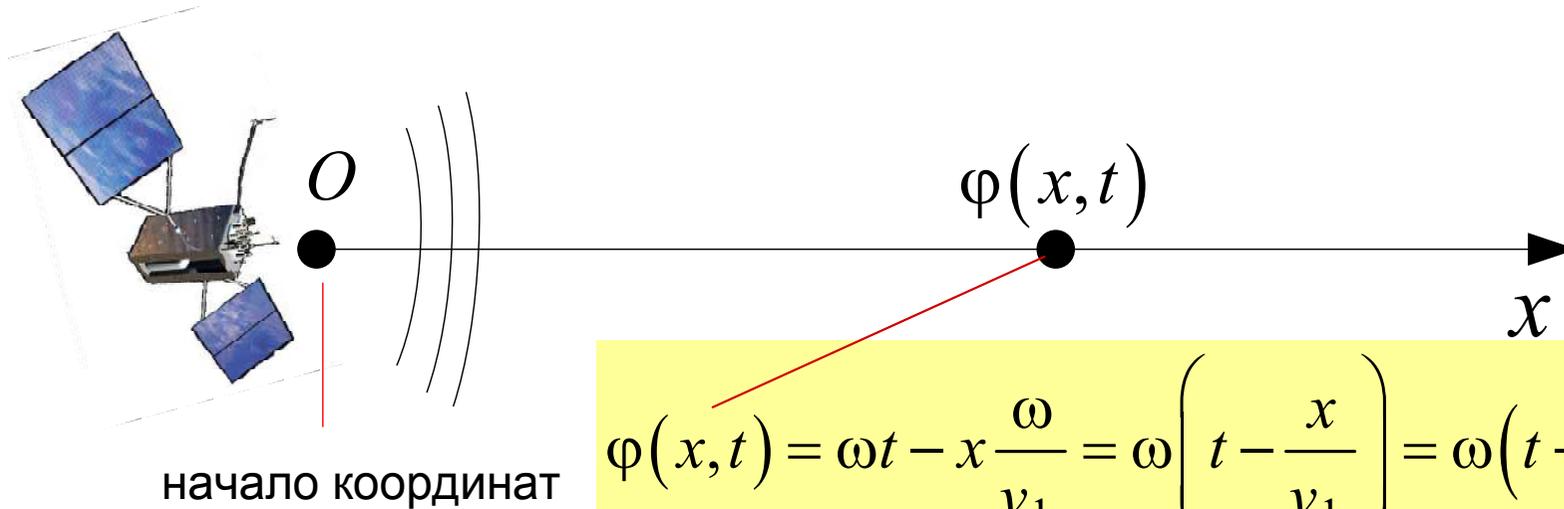


$$\|\mathbf{k}\| = \frac{\omega}{v_{\phi}}$$

$$v_{\phi} = \frac{c}{n} - \text{фазовая скорость}$$

n - показатель преломления

Фазовое запаздывание и время фазового запаздывания

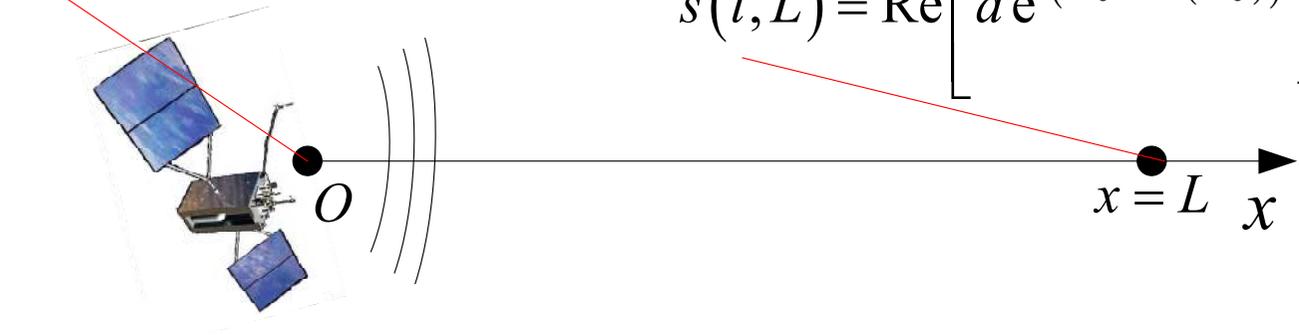


$$\varphi(x, t) = \omega t - x \frac{\omega}{v_{\phi}} = \omega \left(t - \frac{x}{v_{\phi}} \right) = \omega (t - t_{\phi}) = \omega t - \psi(\omega)$$

$$\psi(\omega) = x \frac{\omega}{v_{\phi}} \quad \text{- фазовое запаздывание}$$

$$t_{\phi} = \frac{x}{v_{\phi}} \quad \text{- время фазового запаздывания}$$

Наблюдаемый радиосигнал и групповое время запаздывания

$$s(t) = \operatorname{Re} \left[e^{i\omega_0 t} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(f) e^{i2\pi f t} df \right]$$

$$s(t, L) = \operatorname{Re} \left[a e^{i(\omega_0 t - \psi(\omega_0))} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(f) e^{i2\pi f (t - \psi'(\omega_0))} df \right]$$

$t_{\phi} = \psi(\omega_0)/\omega_0$ - время фазового запаздывания

$t_{\Gamma} = \psi'(\omega_0) = \left. \frac{\partial \psi}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_0}$ - групповое время запаздывания

в общем случае $t_{\phi} \neq t_{\Gamma}$!!!

a - коэффициент затухания сигнала

Групповое и фазовое запаздывание в неоднородных средах

$$t_{\phi} = \int_{(x)} \frac{dx}{v_{\phi}(\omega_0, x)}$$

$$t_{\Gamma} = \frac{d}{d\omega} \left[\omega \int_{(x)} \frac{dx}{v_{\phi}(\omega, x)} \right]_{\omega=\omega_0}$$

В недиспергирующей среде:

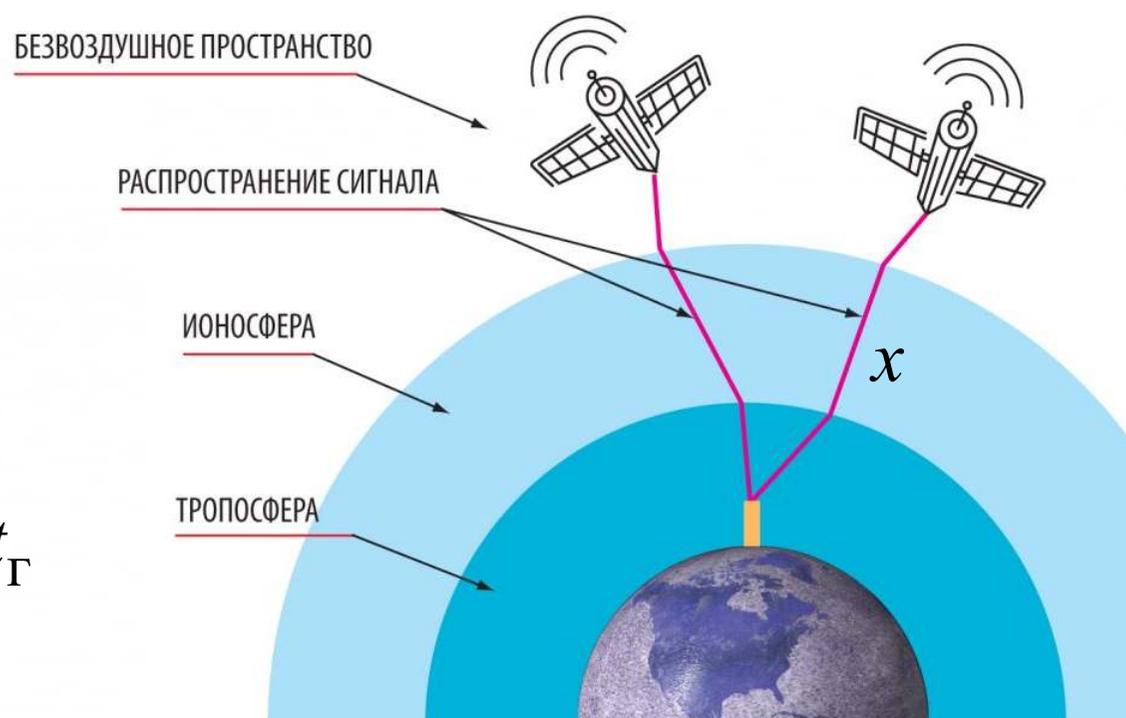
$$v_{\phi}(\omega) = const \Rightarrow t_{\phi} = t_{\Gamma}$$

(космос, тропосфера).

В диспергирующей среде:

$$v_{\phi}(\omega) \neq const \Rightarrow t_{\phi} \neq t_{\Gamma}$$

(ионосфера)



Затухание радиосигнала и дальность действия РНС

- Реальные антенны излучают не плоский фронт волны => сигнал затухает.

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{пер}} G_{\text{пер}} G_{\text{пр}} \lambda^2}{(4\pi R)^2}$$

- Дальность действия РНС определяется основной формулой радиосвязи:

$$R_{\text{max}} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{пер}} G_{\text{пер}}(\alpha, \beta) G_{\text{пр}}(\alpha_1, \beta_1) \eta_1 \eta_2 F_{\text{пот}}}{P_{\text{пр, min}}}}$$

$P_{\text{пер}}$ - мощность передатчика

$P_{\text{пр, min}}$ - чувствительность приемника

$G_{\text{пер}}(\alpha, \beta)$ - к-т усиления передающей антенны в направлении пр-ка

$G_{\text{пр}}(\alpha_1, \beta_1)$ - к-т усиления приемной антенны в направлении перед-ка

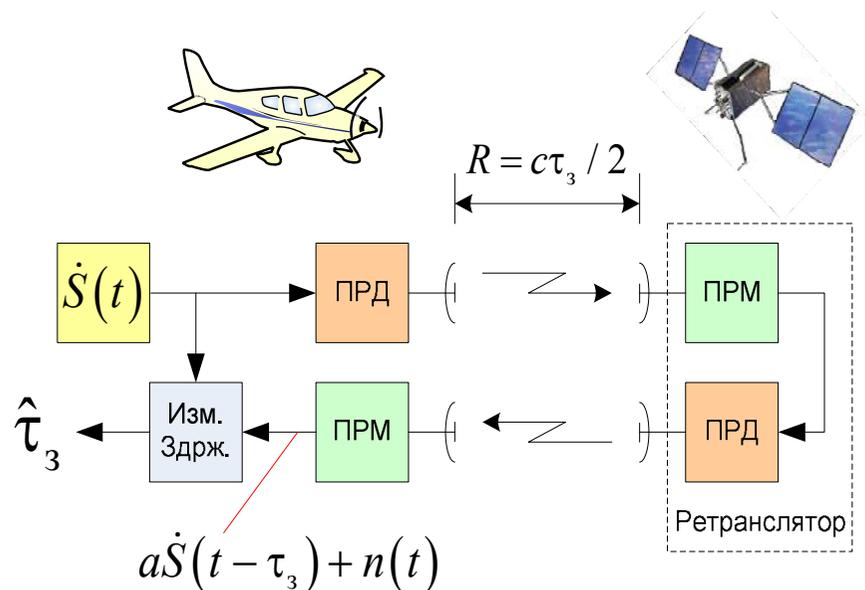
η_1, η_2 - КПД антенно-фидерных трактов приемника и передатчика

$F_{\text{пот}}$ - коэффициент потерь (атмосферные, поляризационные и пр.)

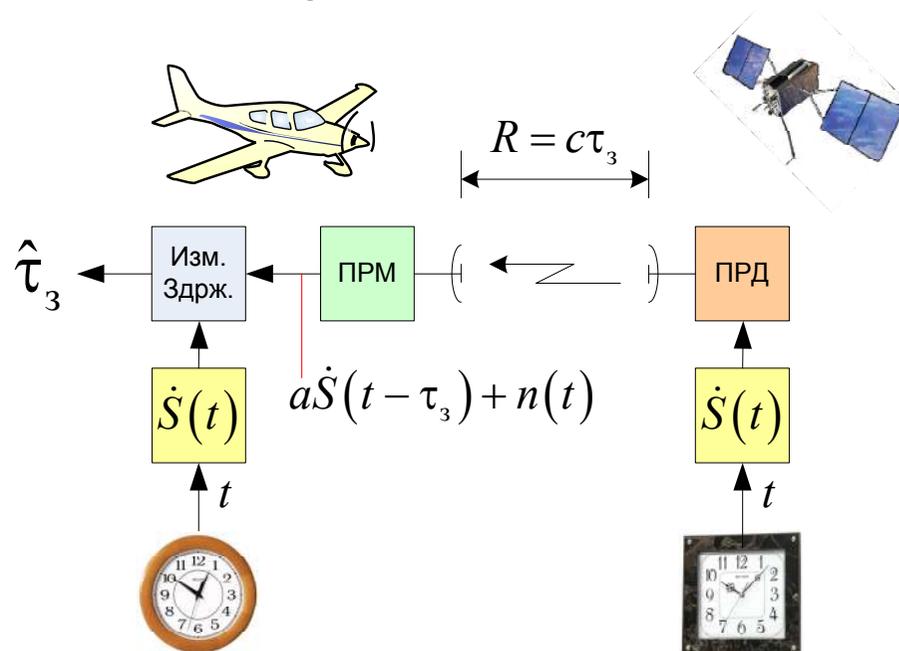
λ - длина волны

Принципы определения дальности

Запросный метод измерения дальностей



Беззапросный метод измерения дальностей



Беззапросные РНС более технологичны, но в них определение истинной дальности невозможно из-за рассинхронизации часов передатчика и приемника. В беззапросных РНС измеряются **псевдодальности**

Принципы определения скорости

Определение скорости объекта в радионавигации основано на использовании **эффекта Доплера**

$$\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt} = \frac{d(\omega_0(t - \tau))}{dt} = \omega_0 \left(1 - \frac{d\tau(t)}{dt} \right) = \omega_0 - \omega_0 \frac{v(t)}{c}$$

$\omega_D = \omega_0 v(t)/c$ - доплеровское смещение частоты

$$\Rightarrow v(t) = c\omega_D(t) / \omega_0 - \text{радиальная скорость}$$

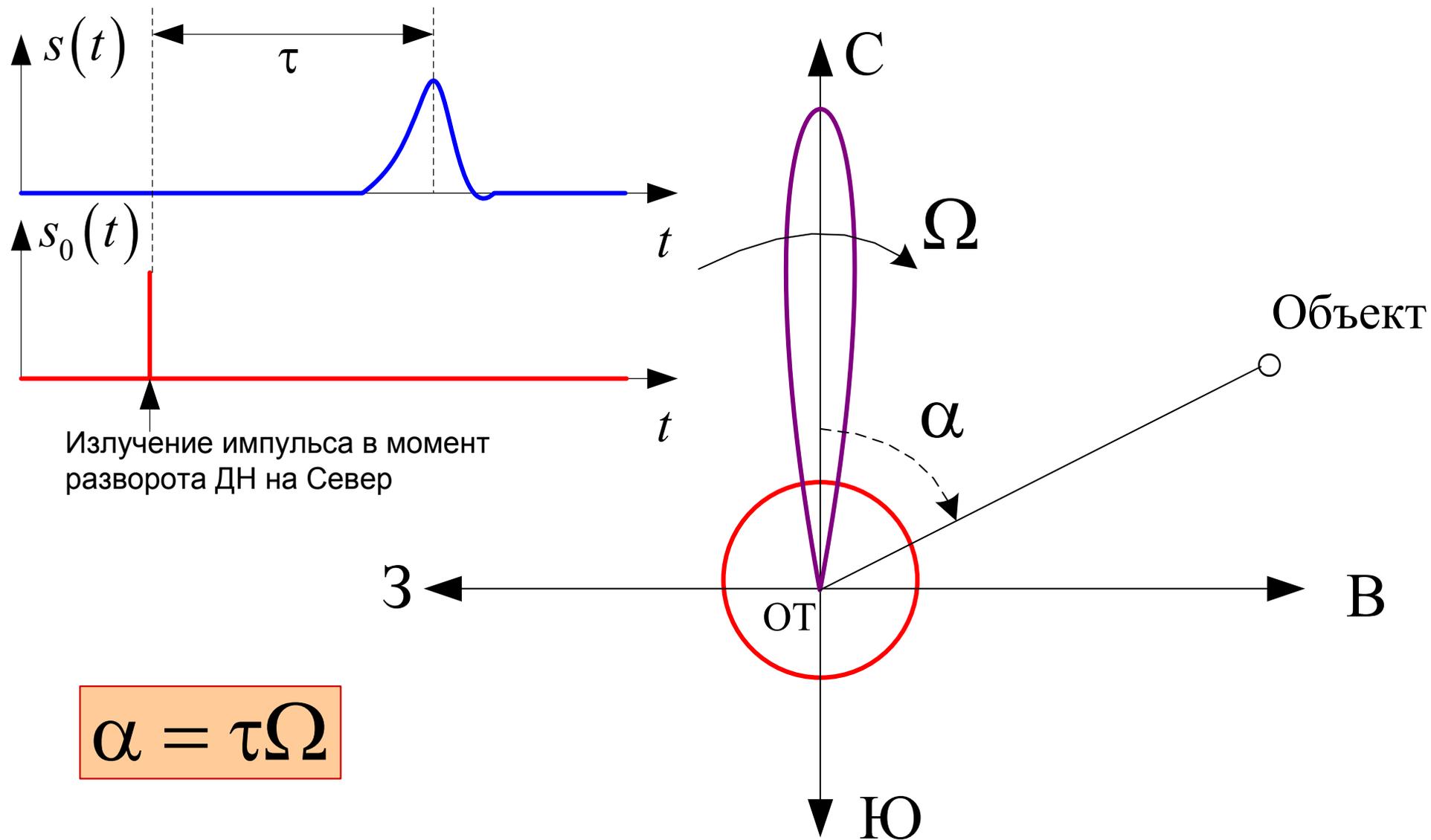
• В беззапросных РНС измеряют **псевдодоплеровскую частоту** – наблюдаемое доплеровское смещение частоты с учетом нестабильности частот опорных генераторов (ОГ) передатчика и приемника.

$$\check{\omega}_{di} = \omega_{di} + \omega_0 (\delta_{\text{ОГ.ШВП}} - \delta_{\text{ОГ.ШВС}}) \approx \omega_{di} + \omega_0 \delta_{\text{ОГ.ШВП}}$$

$\delta_{\text{ОГ.ШВП}}$ – относительная нестабильность частоты ОГ потребителя

$$\Rightarrow \check{v}(t) = c\omega_D(t) / \omega_0 + c\delta_{\text{ОГ.ШВП}} - \text{псевдоскорость}$$

Определение углов по временной задержке

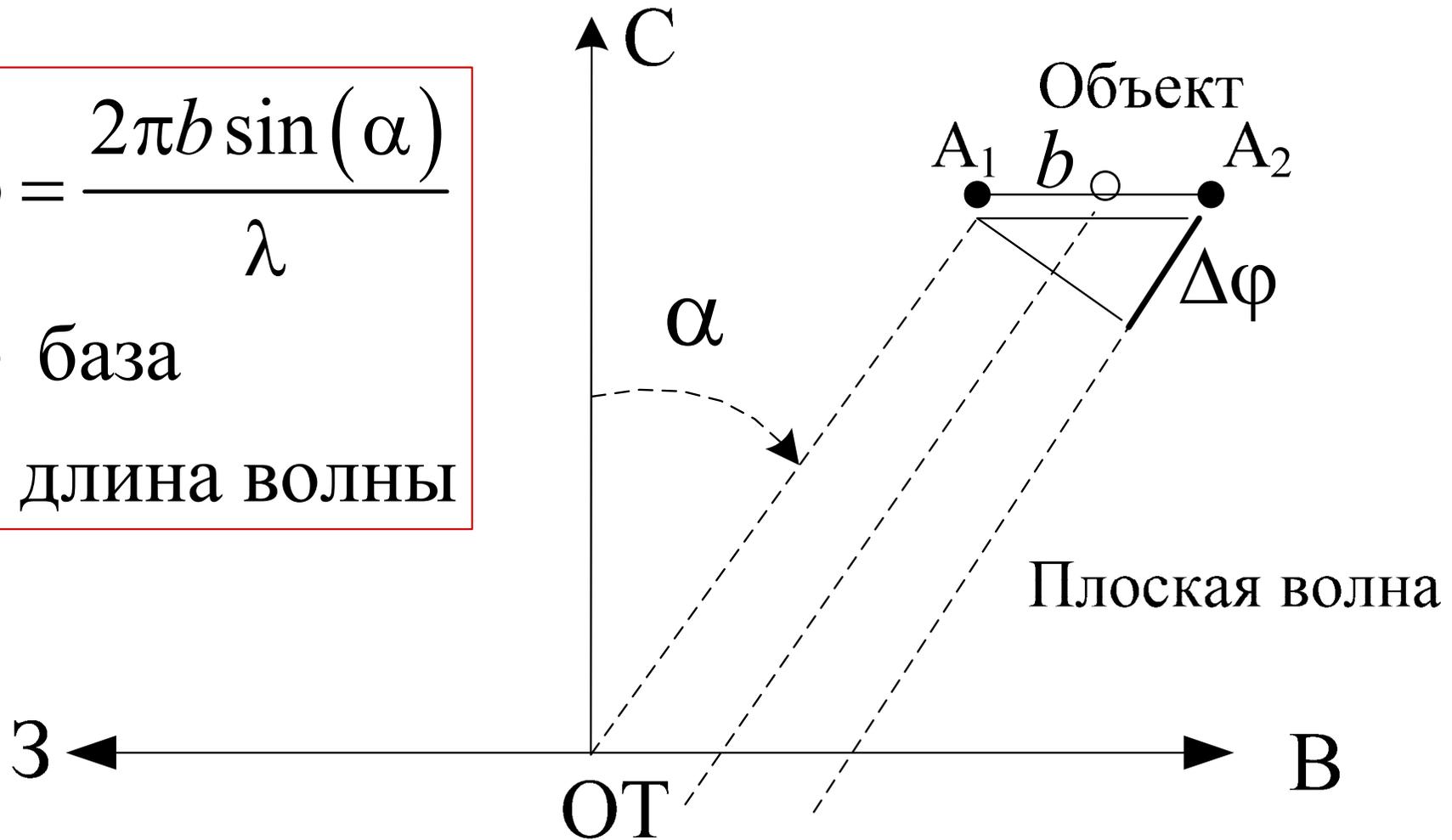


Определение углов по фазовой задержке

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi b \sin(\alpha)}{\lambda}$$

b – база

λ – длина волны



Определение углов по

доплеровскому смещению частоты

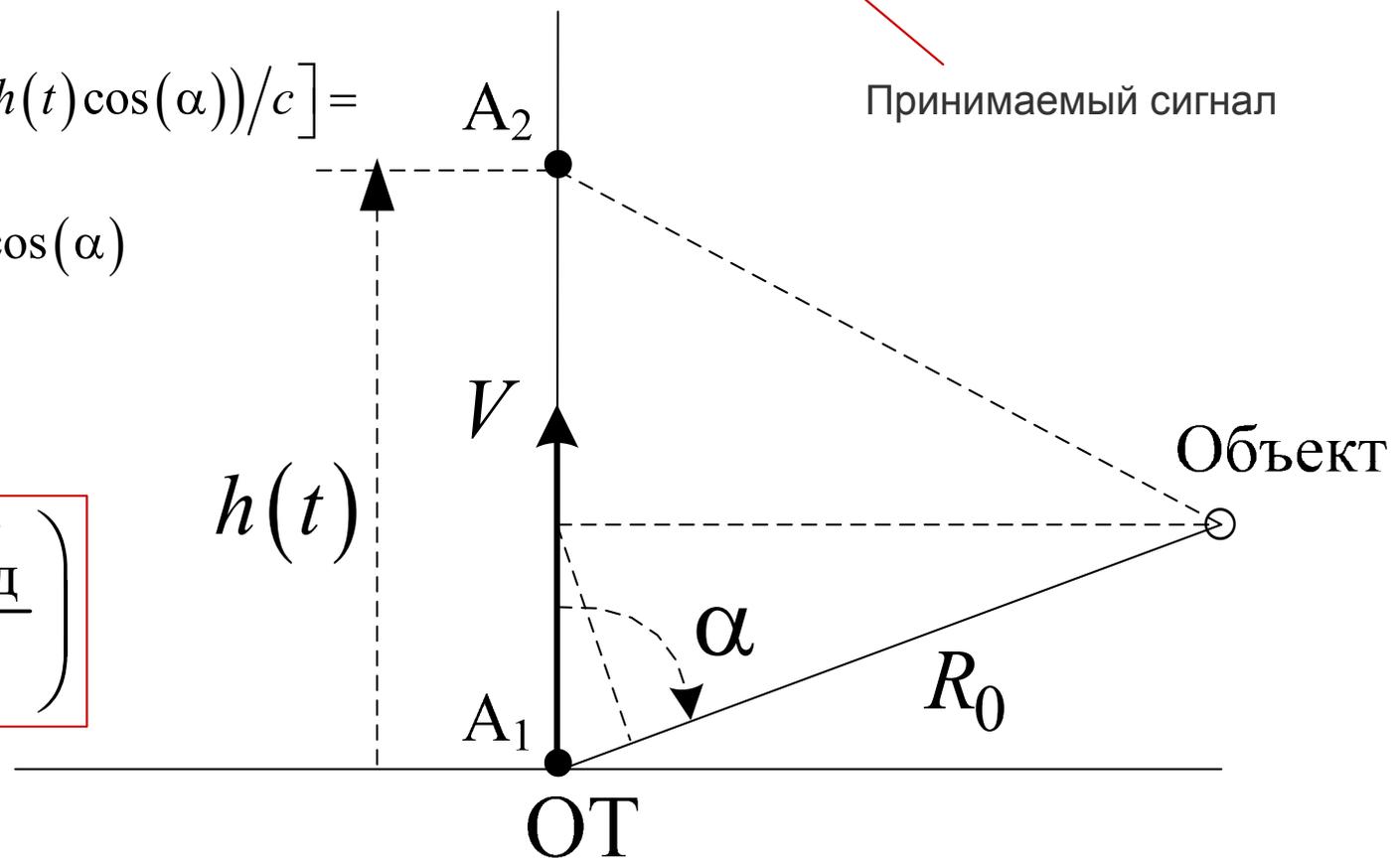
Излучатель движется между точками A_1 и A_2 со скоростью V

$$R(t) = R_0 - h(t) \cos(\alpha); \quad s_2(t - \tau(t)) = A \cos\left(\omega_0 t - \omega_0 \left(R_0 - h(t) \cos(\alpha)\right) / c\right)$$

$$f_D = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \left[-\omega_0 \left(R_0 - h(t) \cos(\alpha)\right) / c \right] =$$
$$= \frac{1}{\lambda} \cos(\alpha) \frac{dh(t)}{dt} = \frac{V}{\lambda} \cos(\alpha)$$

Отсюда

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\lambda f_D}{V}\right)$$



Принципы определения угловой скорости

Определение угловой скорости основано на сравнении доплеровских смещений частот радиосигналов, принятых от пространственно разнесенных когерентных источников.

Разность фаз от излучателей в точках A_1 и A_2 : $\Delta\varphi(t) = \varphi_1(t) - \varphi_2(t) = \frac{2\pi f_0}{c}(R_2 - R_1)$

$$\frac{d\Delta\varphi(t)}{dt} = 2\pi \left(\frac{\dot{R}_2 - \dot{R}_1}{\lambda} \right) = 2\pi(f_{д2} - f_{д1}) = 2\pi\Delta f_{д};$$

$$\Delta\varphi(t) = 2\pi \frac{b}{\lambda} \sin(\alpha) \Rightarrow \frac{d\Delta\varphi(t)}{dt} = 2\pi \frac{b}{\lambda} \cos(\alpha) \frac{d\alpha}{dt}$$

$$\Rightarrow 2\pi \frac{b}{\lambda} \cos(\alpha) \frac{d\alpha}{dt} = 2\pi\Delta f_{д}$$

Отсюда

$$\dot{\alpha} = \frac{\Delta f_{д}}{(b/\lambda) \cos(\alpha)}$$

