

Методы определения координат в радиолокационных и радионавигационных системах УВД

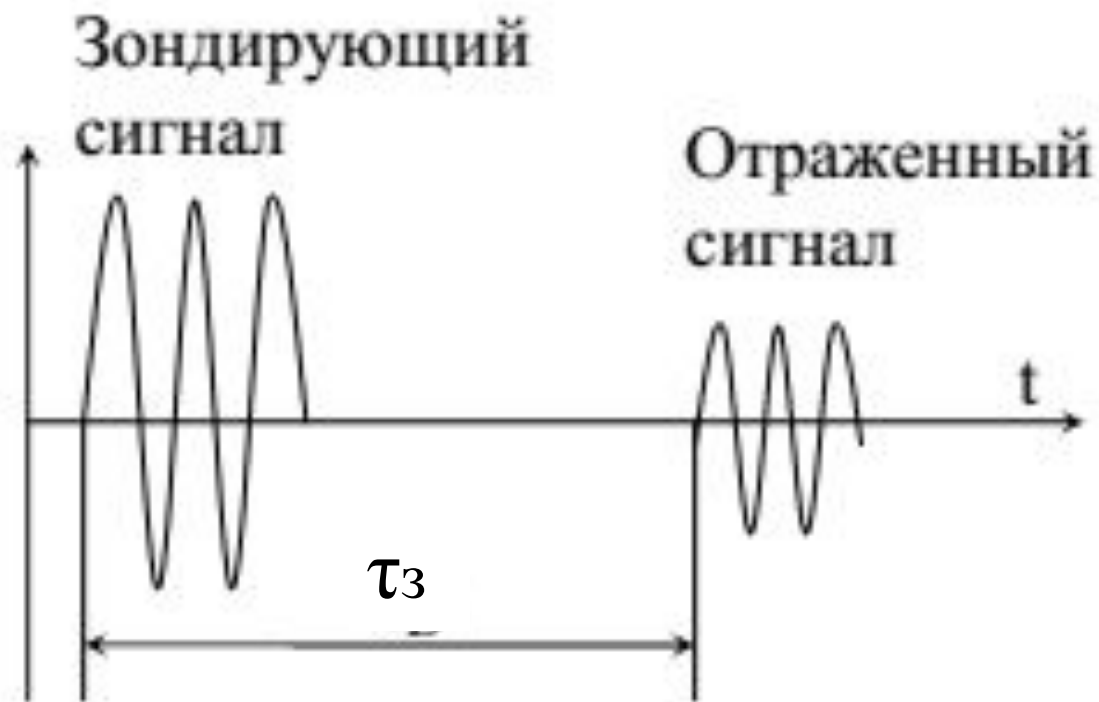
РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ

- Импульсные (временные)
- Фазовые
- Частотные

Функциональная схема импульсного радиолокационного дальномера



Схема развертки импульсного метода измерения дальности



$$R = c\tau_3/2.$$

Ошибка измерения дальности временным методом δR определяется ошибкой измерения времени задержки $\delta\tau_3$

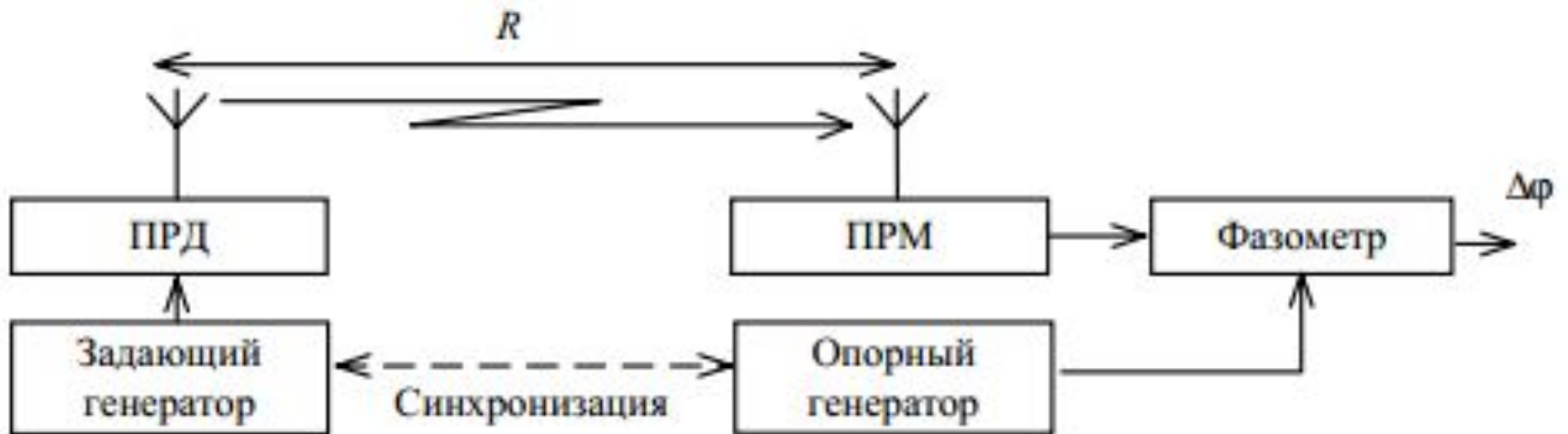
$$\delta R = \frac{c}{2} \delta\tau_3. \quad (3.36)$$

Известно, что СКО ошибки измерения времени запаздывания вычисляется в соответствии со следующим выражением:

$$\sigma_\tau = \frac{1}{2\pi q \Delta F}, \quad (3.37)$$

где q – отношение сигнал/шум на выходе линейной части приемника;
 ΔF – эффективная ширина спектра огибающей сигнала

Фазовый метод измерения дальности



Пусть задающий генератор вырабатывает монохроматическое колебание

$$s(t) = a \cos(\omega_0 t + \psi_0), \quad (3.5)$$

которое усиливается в *ПРД* и излучается в эфир. Принятый на другом пункте сигнал

$$s_{\text{прм}}(t) = \rho a \cos[\omega_0(t - \tau_3) + \psi_0 + \delta\psi] \quad (3.6)$$

после усиления в приемнике *ПРМ* поступает на фазометр, на второй вход которого подается опорный сигнал

$$s_{\text{оп}}(t) = b \cos(\omega_1 t + \psi_1). \quad (3.7)$$

Фазометр измеряет разность фаз принятого и опорного сигналов

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= (\omega_1 t + \psi_1) - [\omega_0(t - \tau_3) + \psi_0 + \delta\psi] = \omega_0 \tau_3 + \\ &+ (\psi_1 - \psi_0 - \delta\psi) + (\omega_1 - \omega_0)t. \end{aligned}$$

Если выполняются условия $\omega_1 = \omega_0$ и $\psi_1 = \psi_0 + \delta\psi$, то $\Delta\varphi = \omega_0 \tau_3$. Отсюда дальность между РНТ и ЛА

$$R = \frac{c}{\omega_0} \Delta\varphi = \frac{\lambda}{2\pi} \Delta\varphi. \quad (3.8)$$

Ошибка измерения дальности на основании будет равна

$$\delta R = \frac{\lambda}{2\pi} \delta\varphi,$$

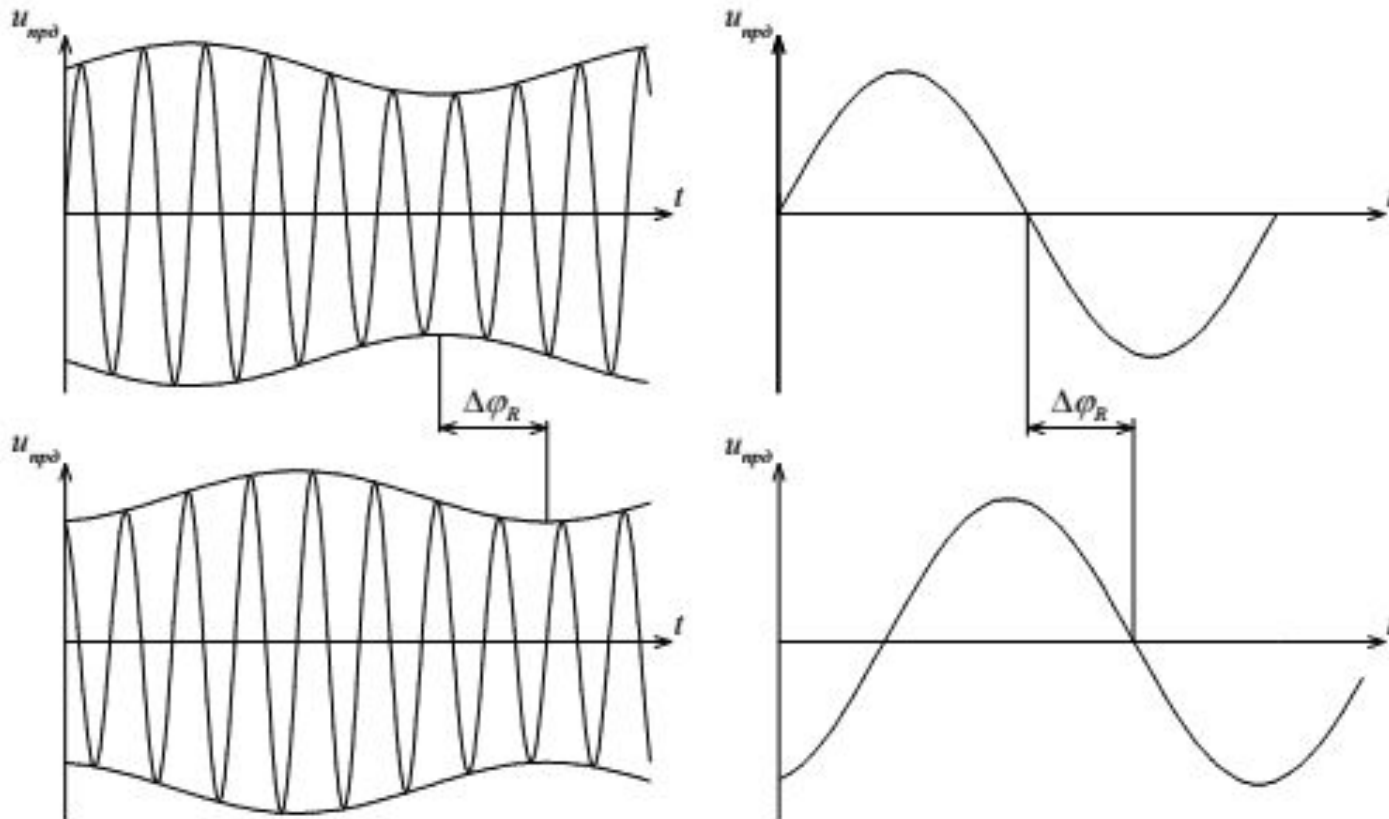
где $\delta\varphi$ – ошибка измерения разности фаз $\Delta\varphi$. Возведя в квадрат обе части последнего равенства и усредняя, получим среднеквадратическое отклонение (СКО) измерения дальности

$$\sigma_R = \frac{\lambda}{2\pi} \sigma_\varphi,$$

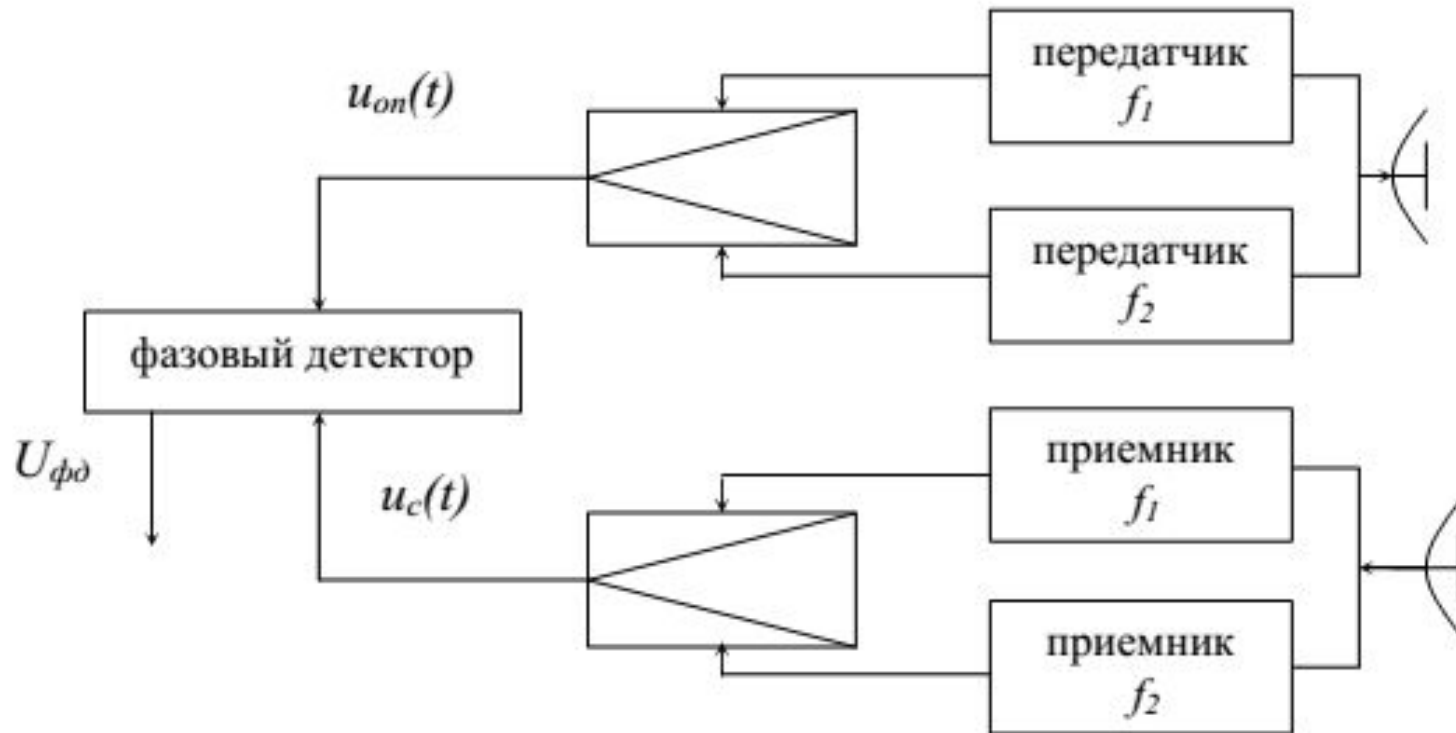
где σ_φ – СКО измерения $\Delta\varphi$. Несложно показать, что $\sigma_\varphi^2 = 1/2q^2$, где q^2 – отношение сигнал/шум на выходе линейной части ПРМ. Тогда для σ_R будет справедливо следующее равенство:

$$\sigma_R = \frac{\lambda}{2^{3/2} \pi q}.$$

Схема развертки фазового метода измерения дальности



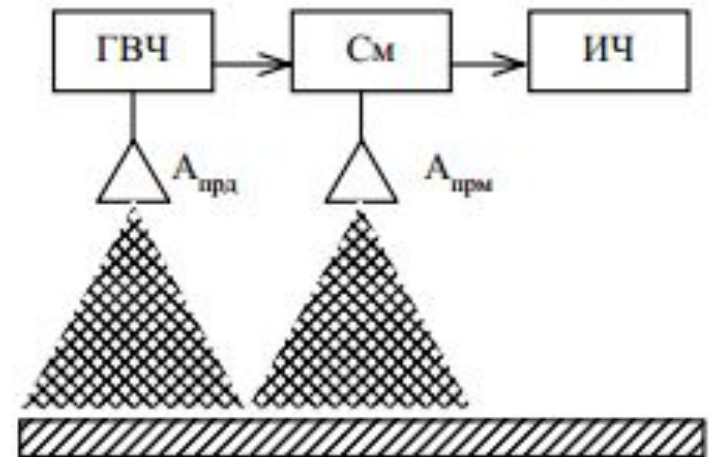
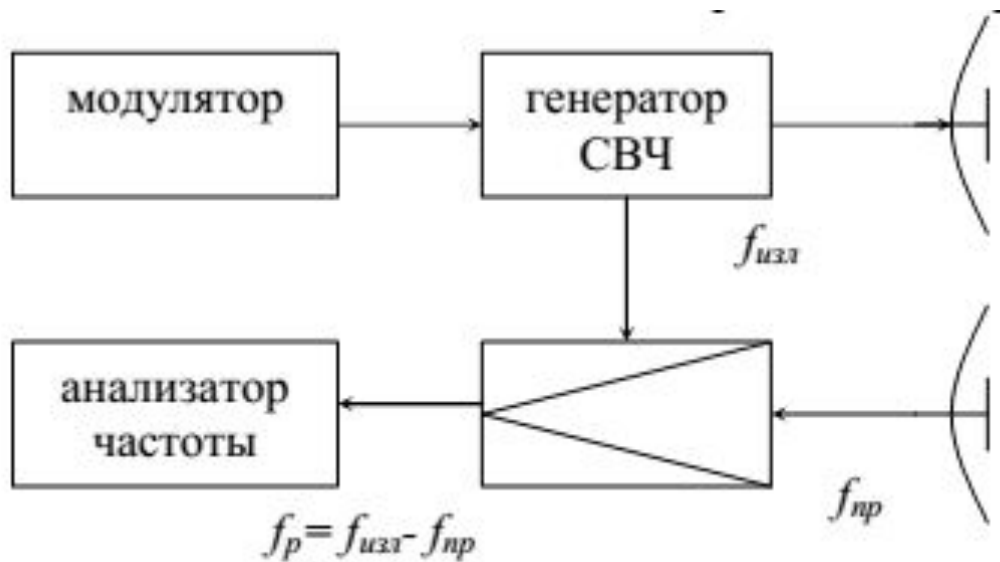
Функциональная схема двухчастотного фазового дальномера



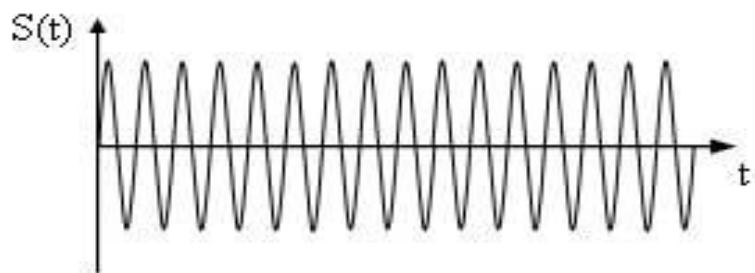
$$D = c\Delta\psi_p / 4\pi (f_1 - f_2), \quad (52)$$

где $\Delta\psi_p$ — разность фаз опорного напряжения и сигнала на разностной частоте, измеряемая фазовым детектором.

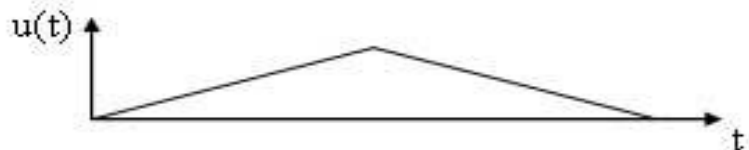
Частотный метод измерения дальности



Частотная модуляция — процесс изменения частоты несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями модулирующего сигнала

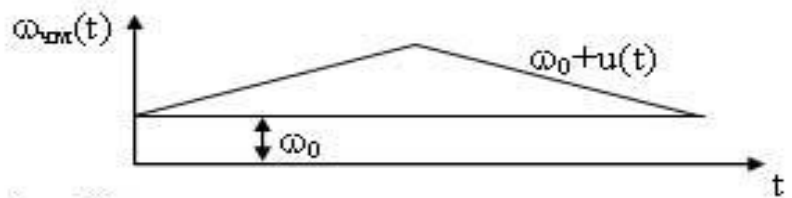


а)

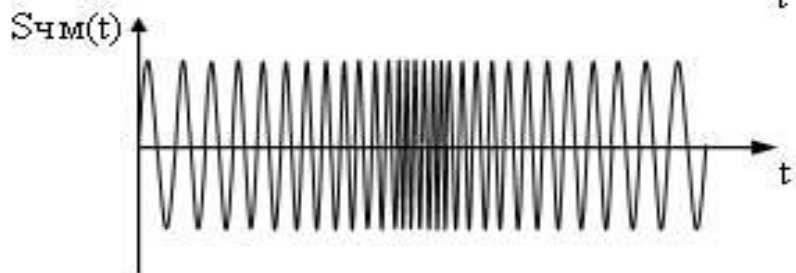


б)

Формирование ЧМ сигнала



в)



г)

Изменение частоты излучаемых колебаний по симметричному пилообразному закону

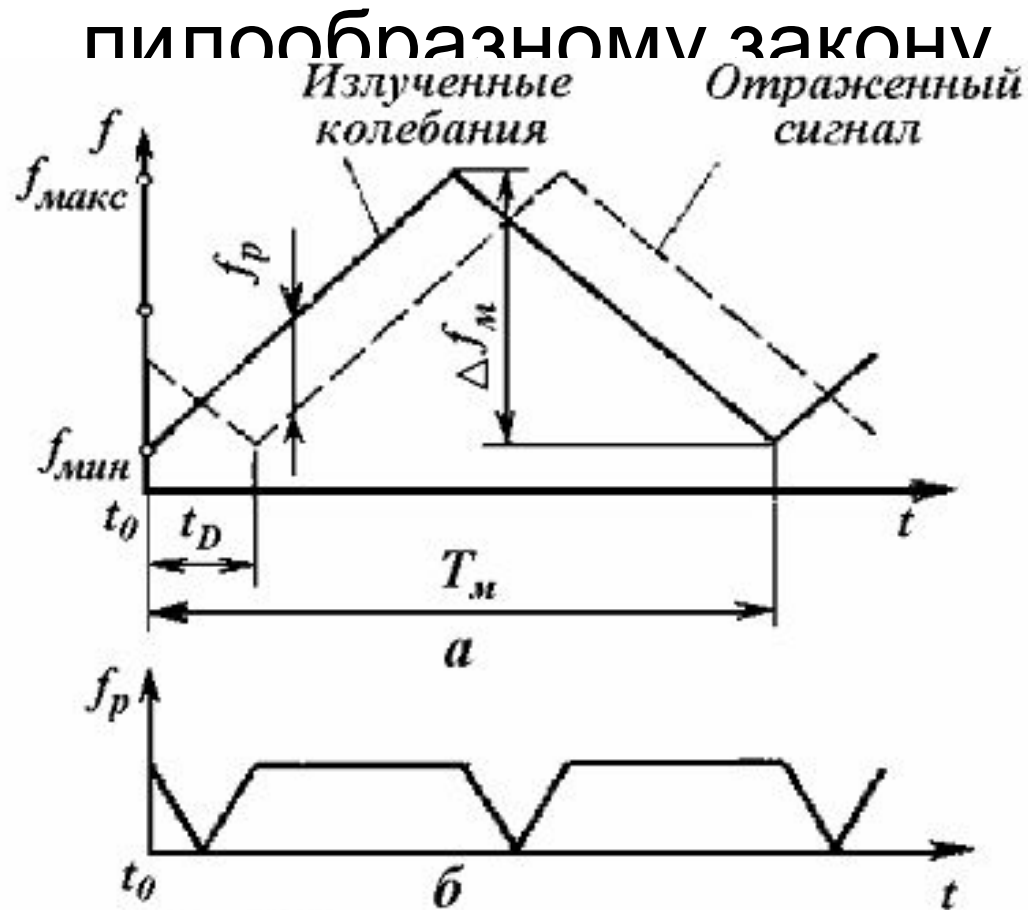
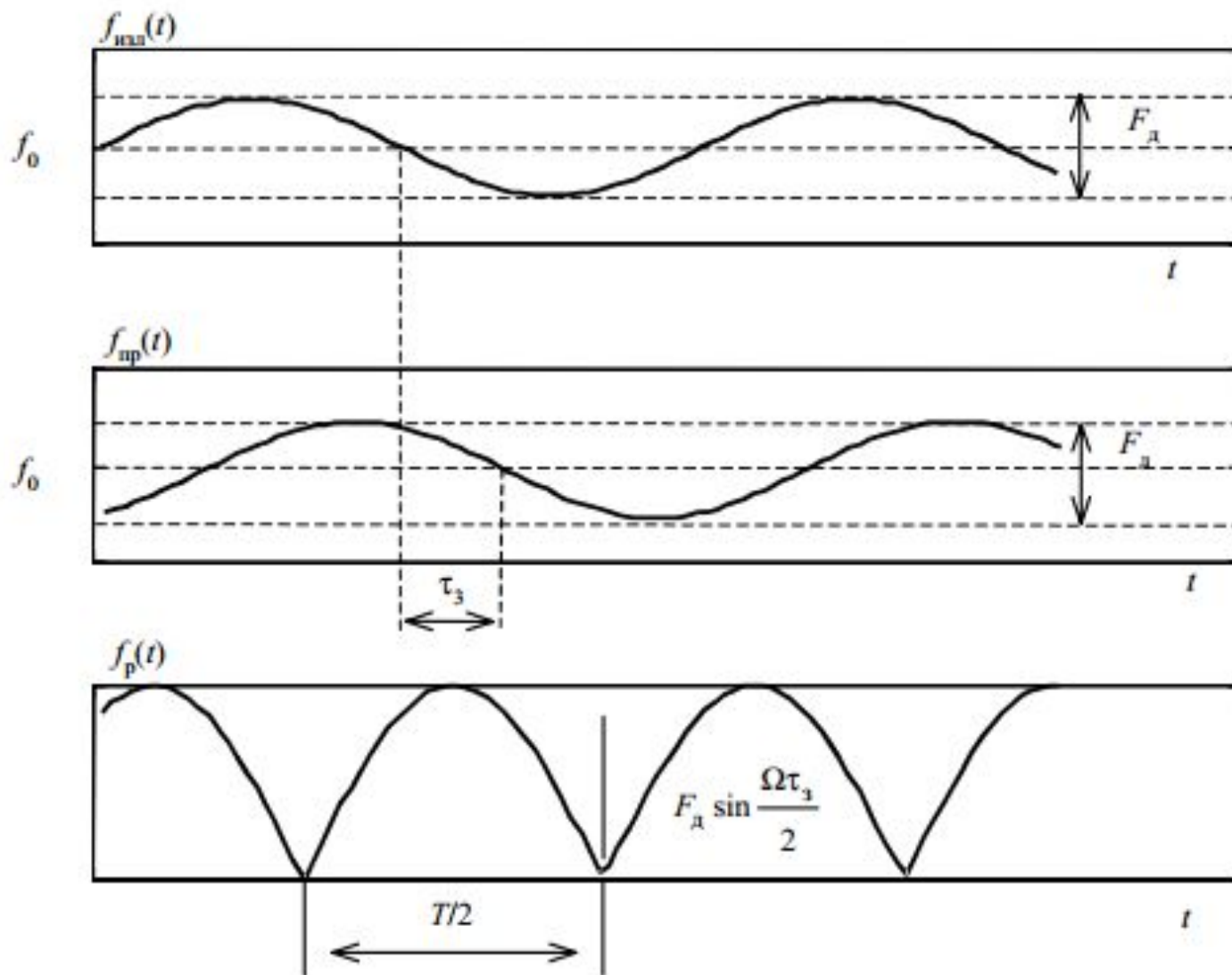


Рис. 9. К частотному измерению дальности:
а — изменение во времени частоты излучаемых и принимаемых колебаний;
б — разностная частота

Изменение частоты излучаемых колебаний по гармоническому закону



Мгновенная частота принятого сигнала (рис. 3.2, б)

$$f_{\text{изл}}(t) = f_0 + \frac{F_{\text{д}}}{2} \sin \Omega(t - \tau_3), \quad (3.20)$$

где $\tau_3 = 2H/c$ – время задержки; H – высота ЛА над поверхностью.

f_0 – средняя несущая частота; $F_{\text{д}}$ – девиация частоты; $\Omega = 2\pi/T$ – угловая частота частотной модуляции; T – период модуляции.

Разностная частота при этом будет равна

$$f_{\text{р}} = \frac{2F_{\text{д}}}{T} \tau_3.$$

Учитывая, что величина $1/T = F$ есть частота модуляции, для оценки высоты ЛА получим

$$H = \frac{c}{4FF_{\text{д}}} f_{\text{р}} = \frac{c}{2\nu} f_{\text{р}}. \quad (3.24)$$

Таким образом, измеряя среднюю частоту биений излученного и принятого сигналов $f_{\text{р}}$, можно определить высоту ЛА. Постоянный коэффициент $\nu = 2FF_{\text{д}}$ соответствует средней скорости изменения частоты излученного сигнала.

Считая множитель $c/(2\nu)$ постоянным, случайная ошибка измерения высоты

$$\delta H = \frac{c}{2\nu} \delta f_p, \quad (3.25)$$

где δf_p – ошибка измерения разностной частоты.

Возводя в квадрат обе части (3.25) и усредняя по случайным факторам, получим СКО ошибки измерения высоты

$$\sigma_H = \frac{c}{2\nu} \sigma_f. \quad (3.26)$$

Среднеквадратическое отклонение ошибки измерения частоты σ_f как известно, определяется отношением сигнал/шум q и длиной интервала наблюдения T_H

$$\sigma_f = \frac{1}{2\pi\sqrt{q^2 T_H^2}}. \quad (3.27)$$

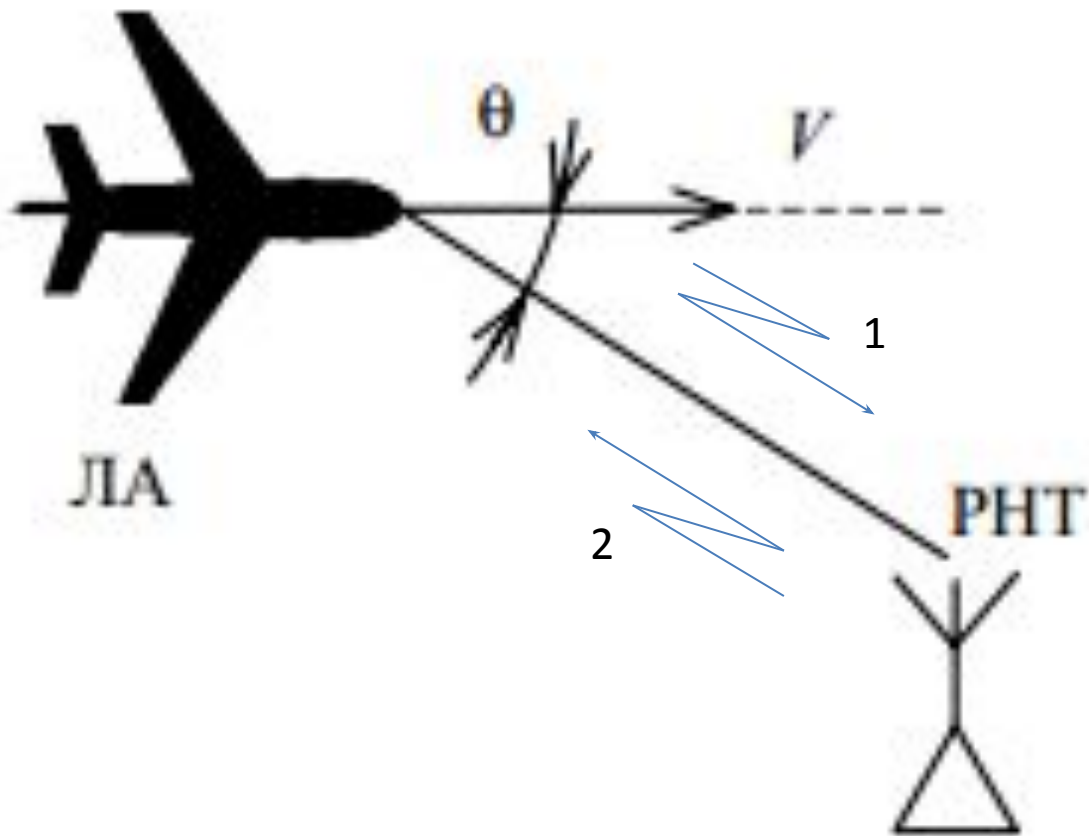
Тогда для σ_H окончательно получим

$$\sigma_H = \frac{c}{4\pi\nu q T_H}. \quad (3.28)$$

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ

- На основе эффекта Доплера
- Корреляционный

Метод измерения скорости на основе эффекта Доплера



Допустим, что с борта ЛА, движущегося относительно РНТ, как показано на рис. 4.1, излучается сигнал

$$e_{\text{изл}}(t) = a(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (4.1)$$

где $a(t)$, ω_0 и φ_0 – огибающая, частота и начальная фаза.

$$e_{\text{пр}}(t) = \rho a\left(t - \frac{2R}{c}\right) \cos\left[\omega_0\left(t - \frac{2R}{c}\right) + \varphi_1\right], \quad (4.2)$$

где ρ – коэффициент, учитывающий форму ДН антенн ЛА и РНТ и условия распространения на трассе; φ_1 – фаза сигнала; R – расстояние между ЛА и РНТ в момент времени t .

Разность фаз излученного и принятого на борту сигналов

$$\varphi(t) = -\omega_0 \frac{2R}{c} + \varphi_1 - \varphi_0 \quad (4.3)$$

будет изменяться во времени, так как изменяется расстояние R .

При прямолинейном полете ЛА относительно РНТ

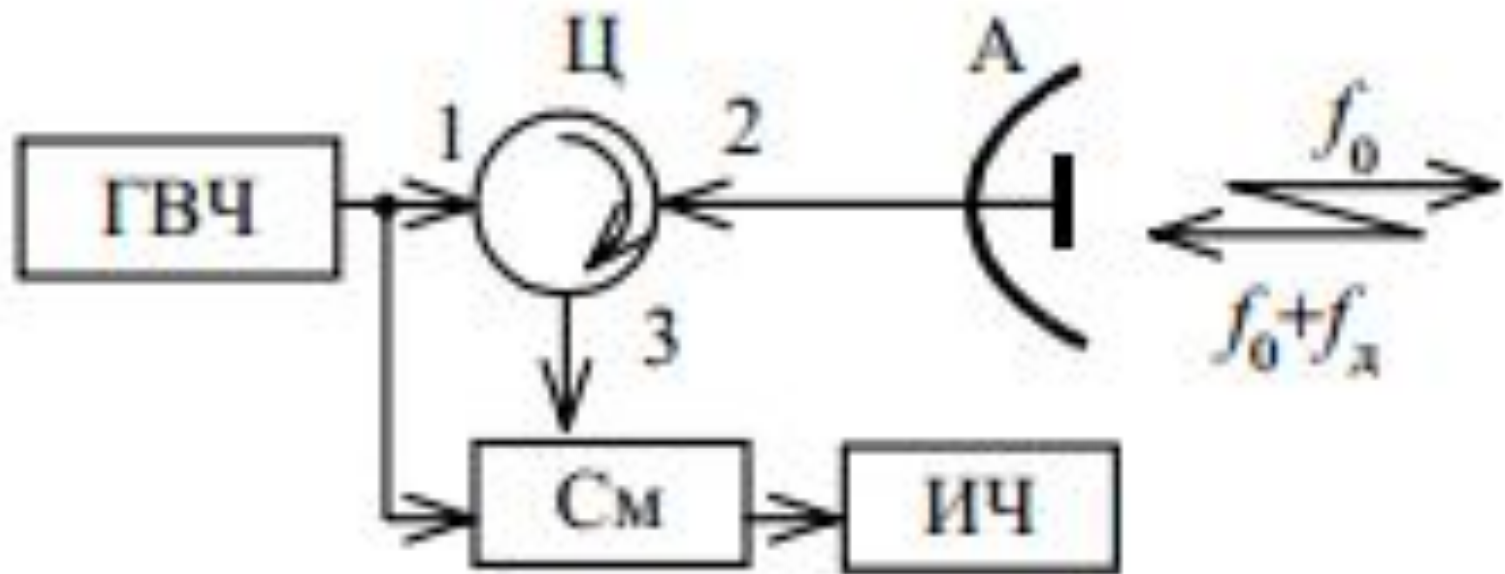
$$R(t) = R(0) - Vt \cos \theta = R(0) - V_r t, \quad (4.4)$$

где $R(0)$ – расстояние между ЛА и РНТ в момент времени $t = 0$; θ – угол между вектором скорости ЛА и направлением на РНТ; $V_r = V \cos \theta$ – радиальная скорость перемещения ЛА относительно РНТ.

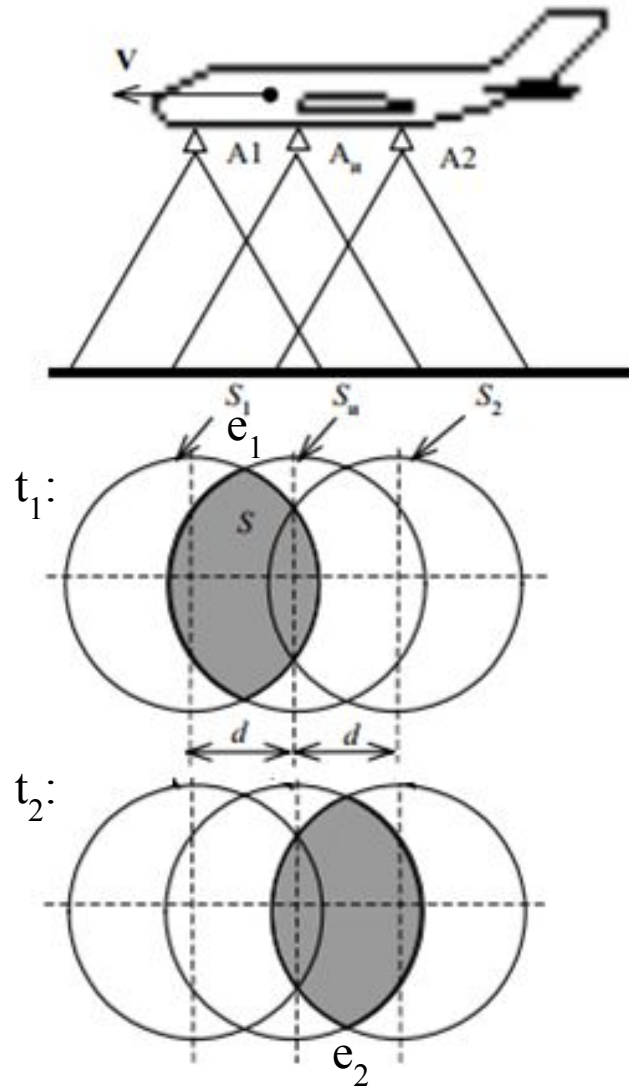
Изменение разности фаз $\varphi(t)$ свидетельствует о наличии дополнительного частотного сдвига между излученным и принятым сигналами. Величина этого сдвига может быть определена как скорость изменения фазы $\varphi(t)$

$$f_{\text{д}} = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{2\omega_0}{2\pi c} \frac{dR}{dt} = \frac{2V_r}{\lambda_0}. \quad (4.5)$$

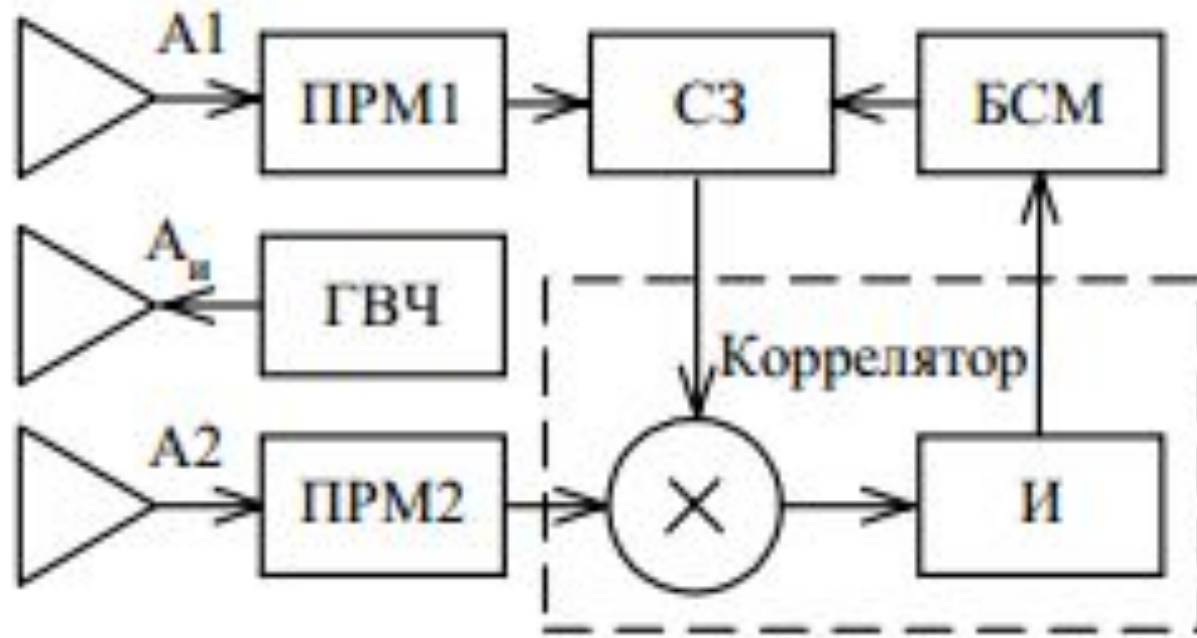
Схема фазового измерителя



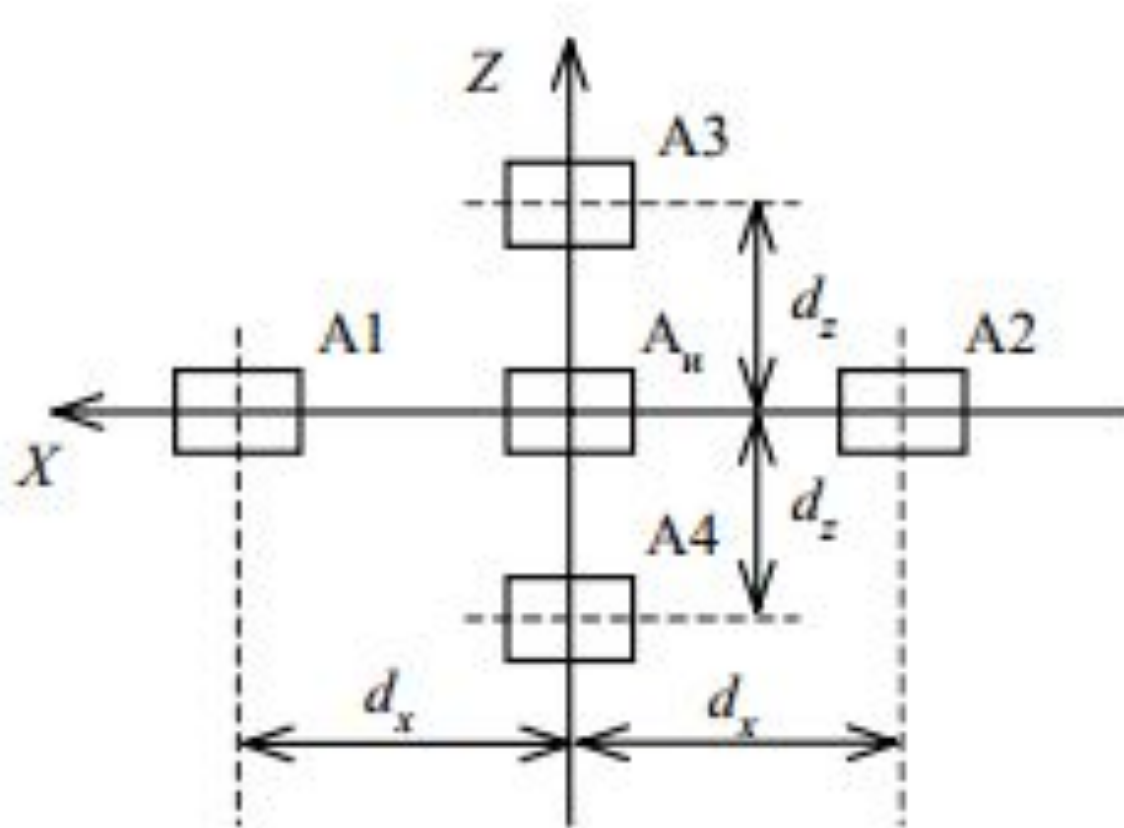
Корреляционный метод измерения скорости



Структурная схема устройства, реализующего корреляционный метод измерения скорости ВС



Определение полного вектора скорости

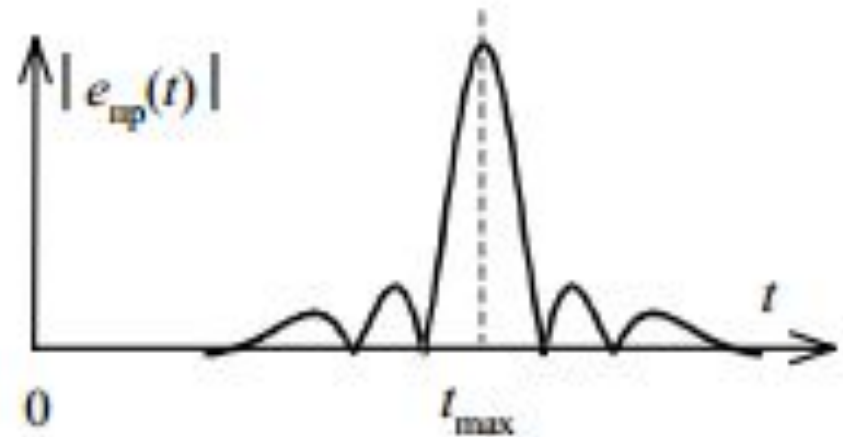
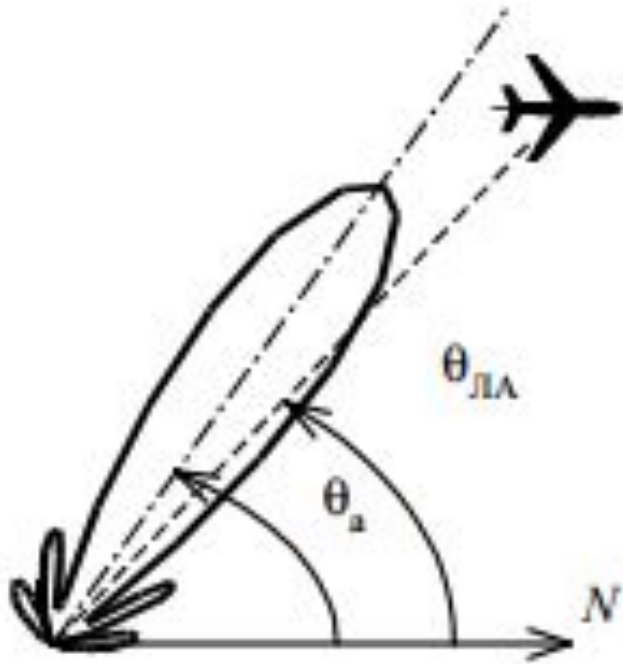


Радионавигационные методы углометрии

- Одноканальные:
 - Метод максимума
 - Метод минимума

- Многоканальные
 - Фазовый метод
 - Амплитудный метод
 - Доплеровский метод
 - Дифференциально-фазовый метод

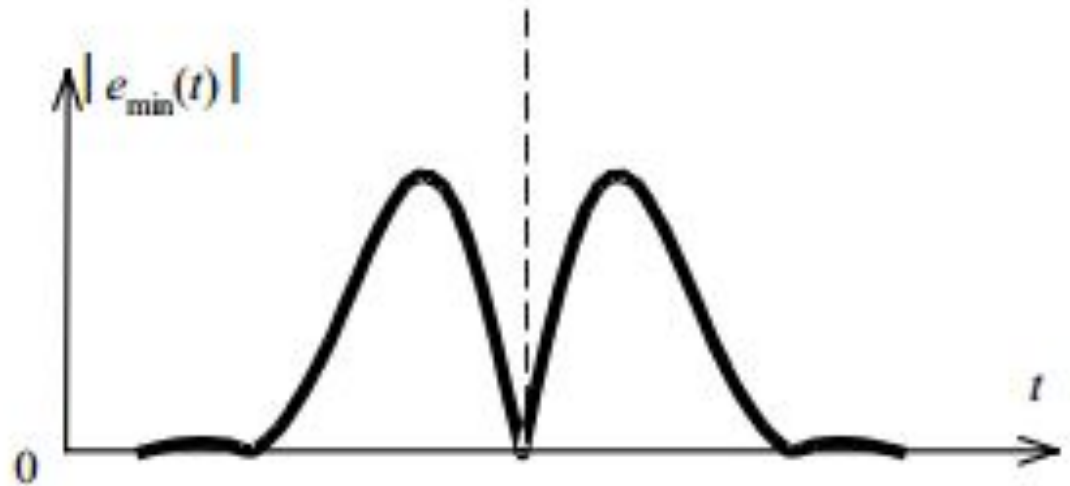
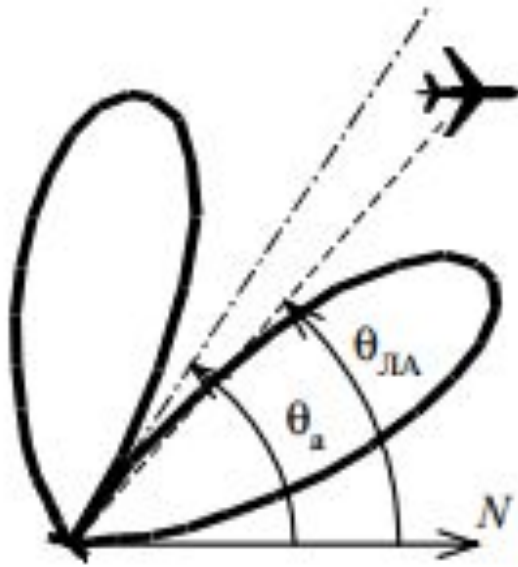
Метод максимума



$$\theta_{\text{ЛА}} = \Omega t_{\text{max}}.$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{\theta_{\text{ДН}}}{q \cdot (\sqrt{2} - 1)}$$

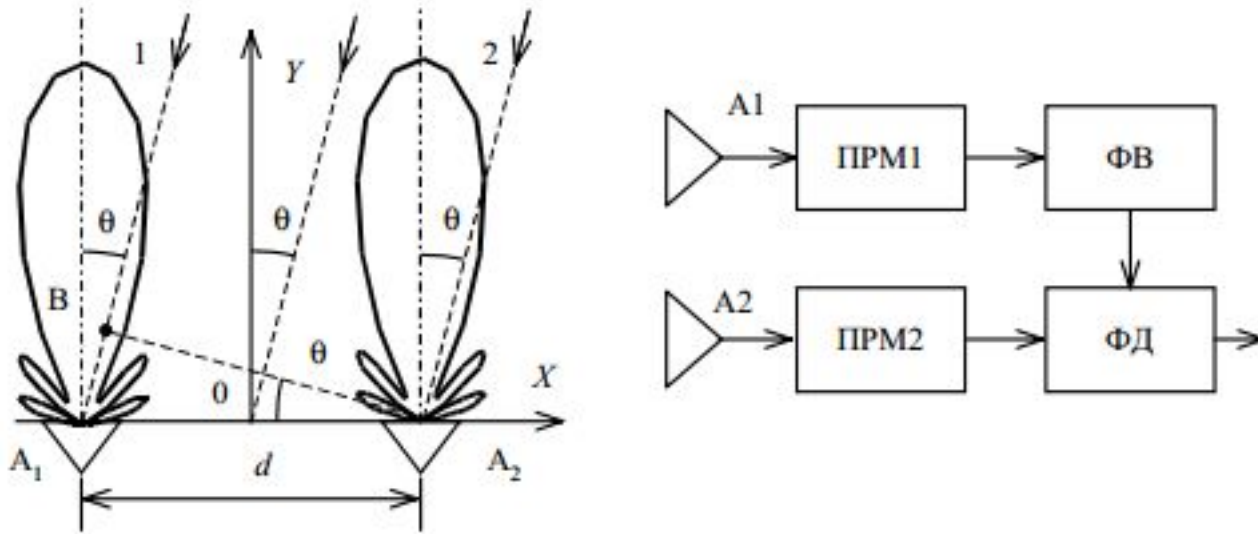
Метод минимума



$$\theta_{\text{ЛА}} = \Omega t_{\min}.$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{1}{\mu q}.$$

Фазовый метод



$$\Delta\varphi = k d \sin\theta, \text{ где } k = 2\pi/\lambda \text{ – волновое число.}$$

Можно показать, что СКО ошибки измерения угловой координаты при фазовом методе при малых θ равно

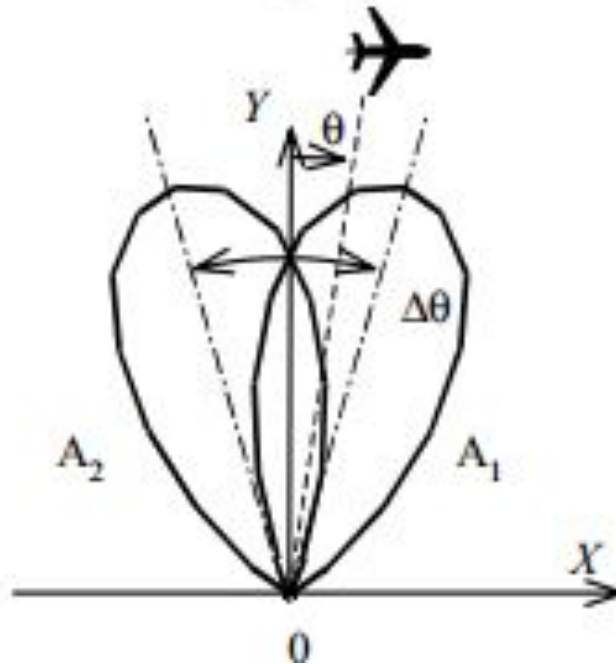
$$\sigma_{\theta} = \frac{\sqrt{2}}{q\mu},$$

где $\mu = \Pi'(0)$ – производная ПХ при $\theta = 0$.

$$\Pi(\theta) = \sin\left(\frac{2\pi d}{\lambda} \sin\theta\right).$$

В соответствии с (5.12) $\mu = \frac{2\pi d}{\lambda}$. Параметр μ носит название *крутизны* ПХ.

Амплитудный метод



Определение направления прихода сигнала θ возможно путем вычисления:

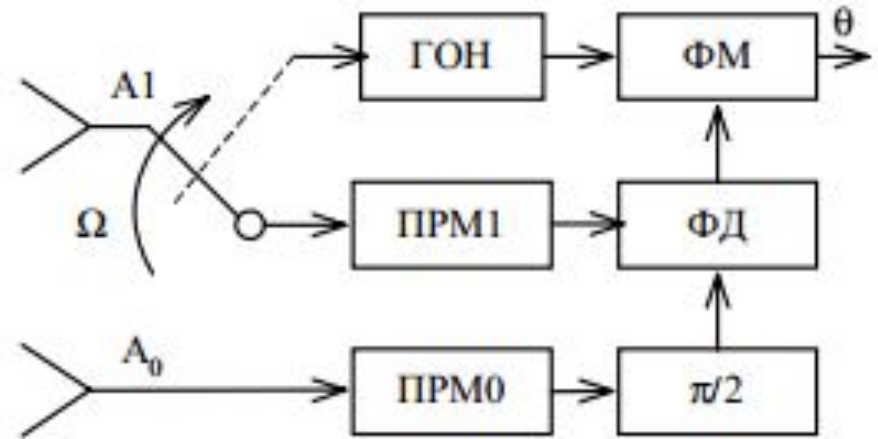
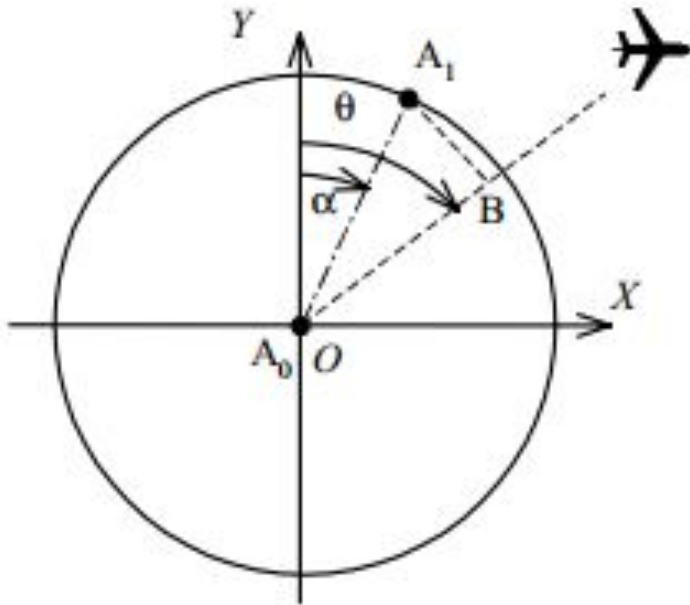
1) разности логарифмов амплитуд E_1 и E_2

$$\Pi_1(\theta) = 0,5(\log E_2 - \log E_1) = 0,5 \log \frac{E_2}{E_1} = 0,5 \log \frac{f(\theta - \Delta\theta/2)}{f(\theta + \Delta\theta/2)}; \quad (5.16)$$

2) отношения разности амплитуд E_1 и E_2 к их сумме

$$\Pi_2(\theta) = \frac{E_2 - E_1}{E_2 + E_1} = \frac{f(\theta - \Delta\theta/2) - f(\theta + \Delta\theta/2)}{f(\theta - \Delta\theta/2) + f(\theta + \Delta\theta/2)}. \quad (5.17)$$

Доплеровский метод

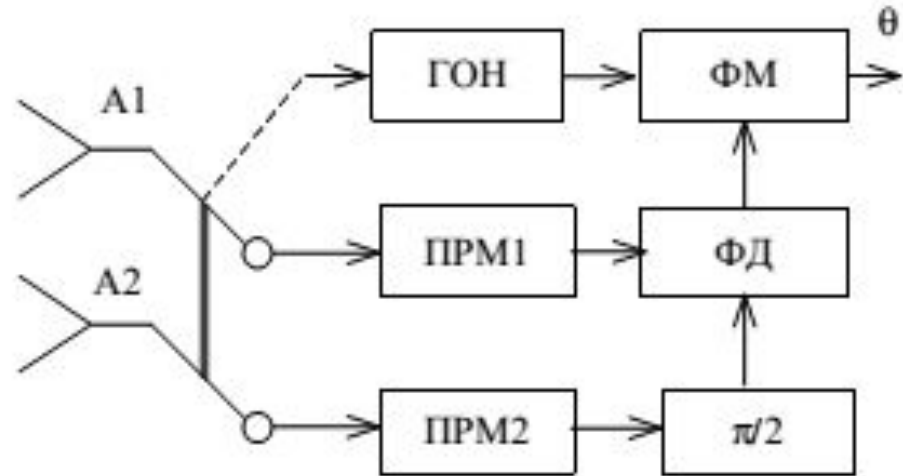
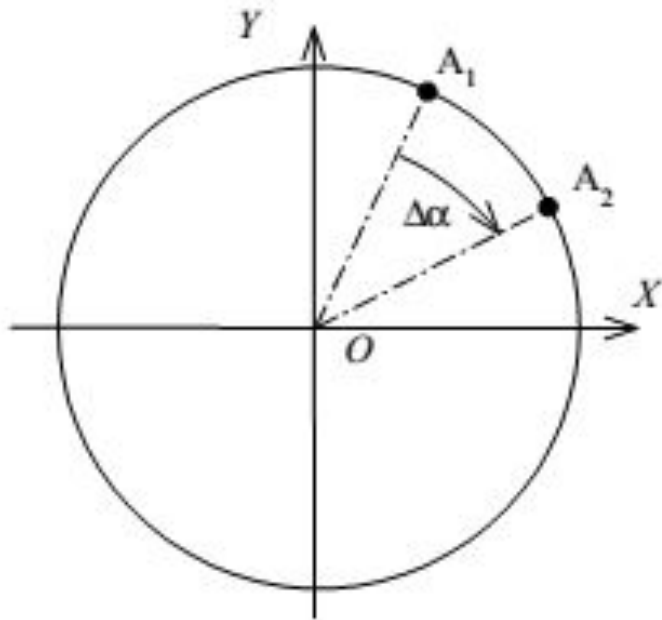


$$\varphi_1 - \varphi_0 = kr \cos(\Omega t - \theta).$$

$$\sigma_\theta = \frac{2}{qm},$$

где $m = kr$ – индекс фазовой модуляции

Дифференциально-фазовый МЕТОД



$$\varphi_1 = kr \cos(\Omega t - \theta) + \varphi_0;$$

$$\varphi_2 = kr \cos(\Omega t - \Delta\alpha - \theta) + \varphi_0,$$

где φ_0 – фаза падающей волны в начале координат O .

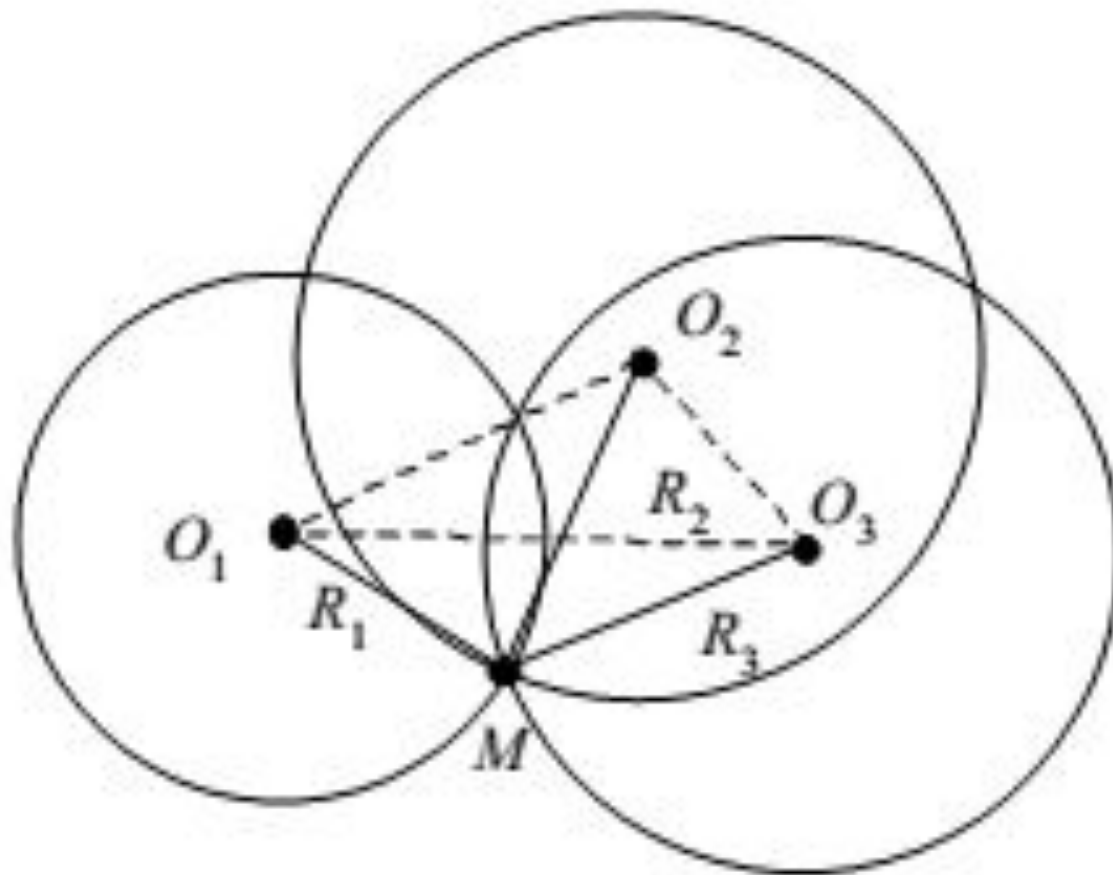
$$\sigma_\theta = \frac{1}{qm}, \tag{5.31}$$

где $m = kr \sin \frac{\Delta\alpha}{2} = kd$; d – линейное расстояние между антеннами A_1 и A_2 .

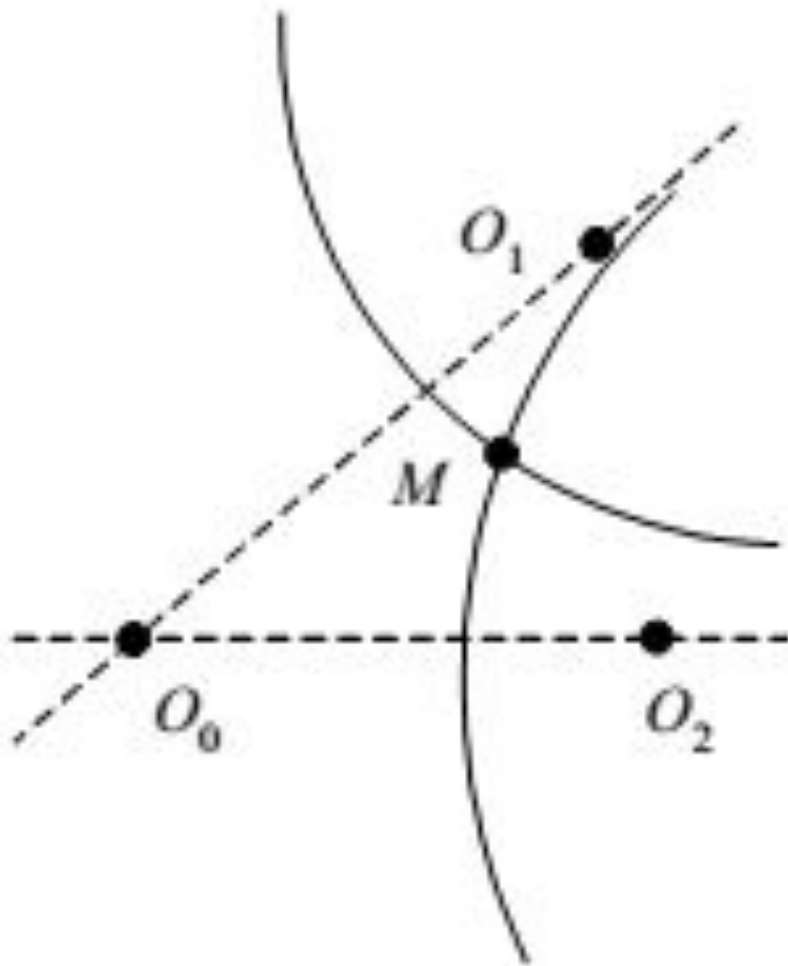
Позиционные способы определения местоположения

- Дальномерный способ
- Разностно-дальномерный способ
- Угломерный способ
- Дальномерно-угломерный способ

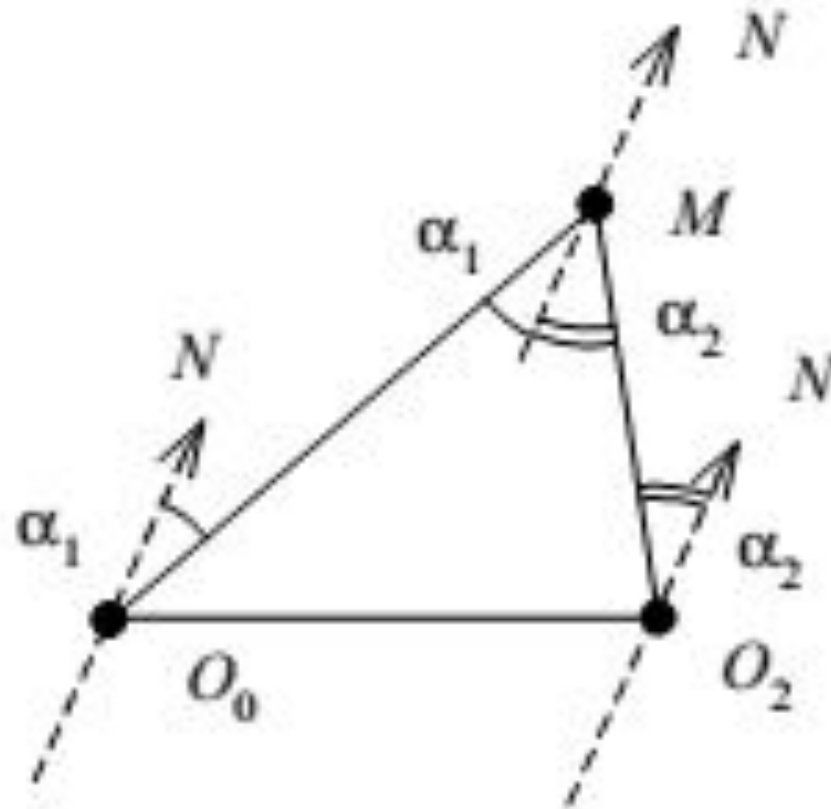
Дальномерный способ



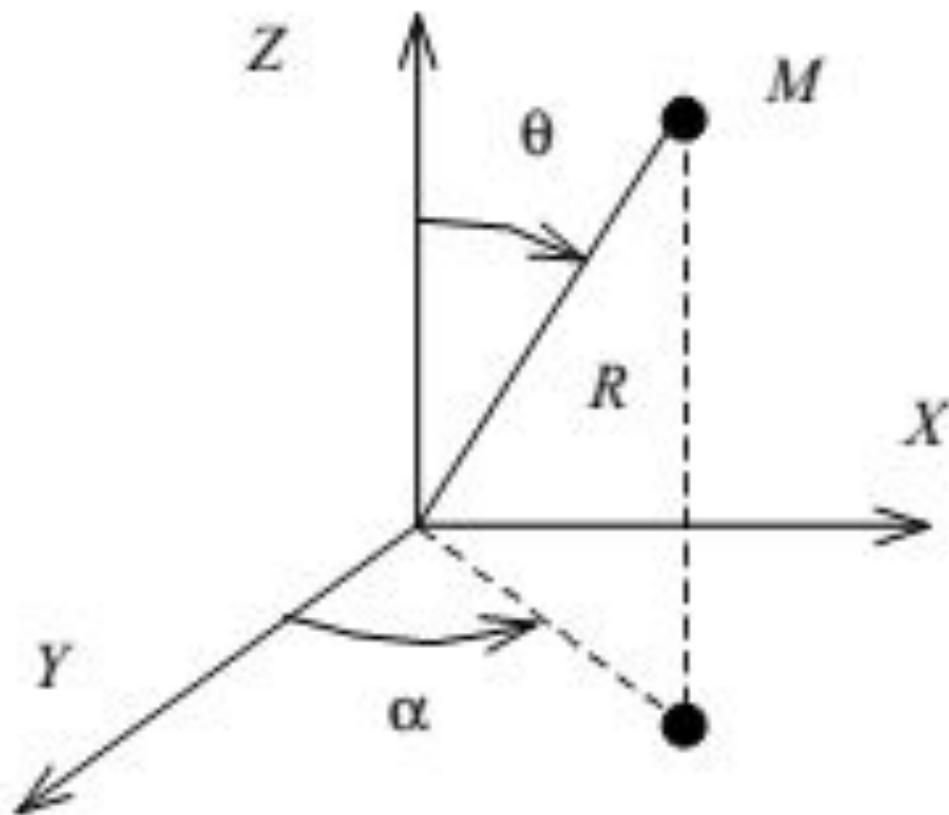
Разностно-дальномерный способ



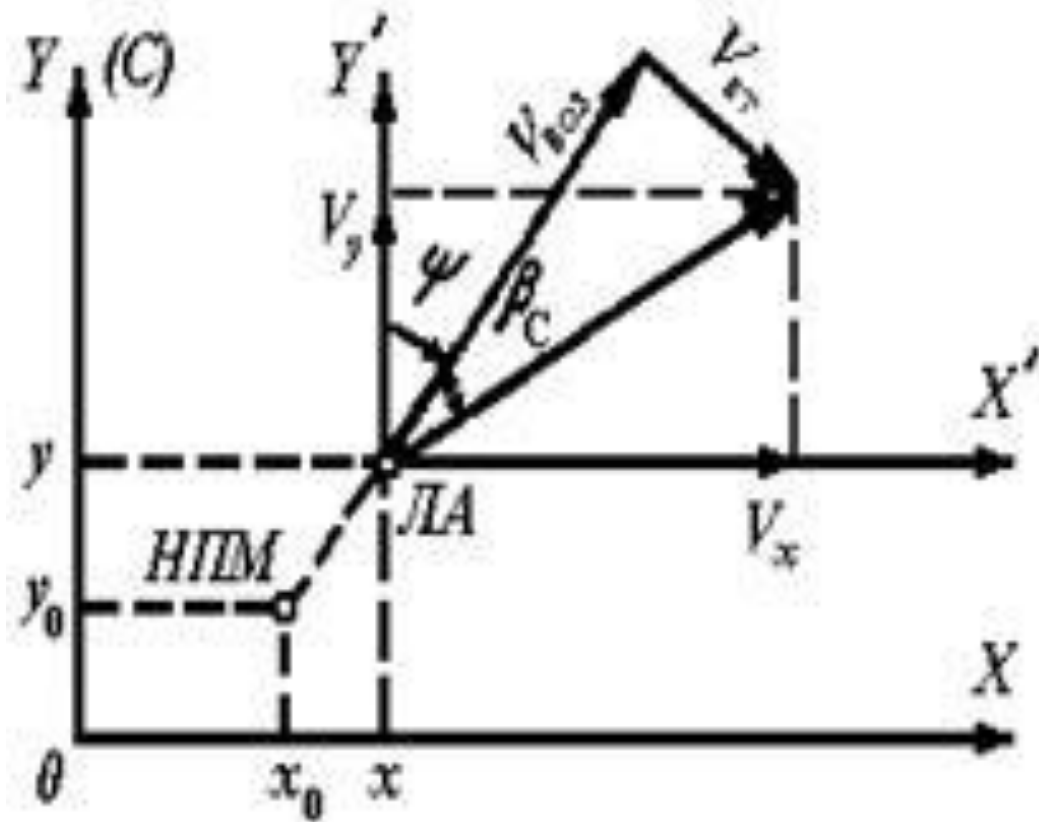
Угломерный способ



Дальномерно-угломерный способ



Метод счисления пути



Обзорно-сравнительный метод

