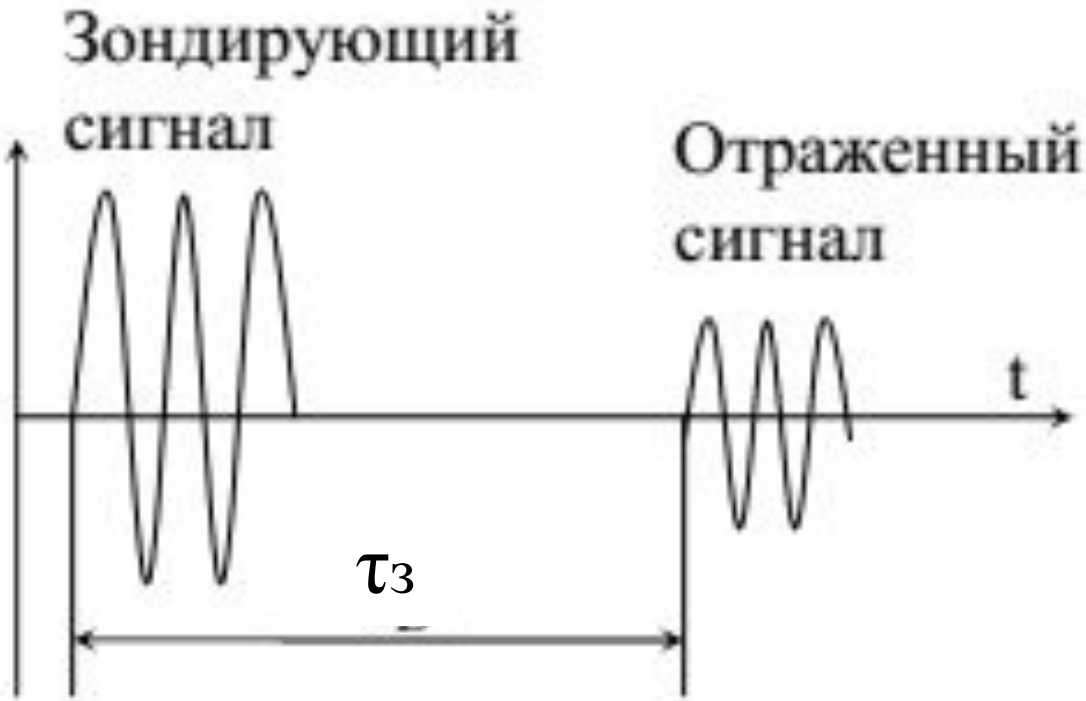
Методы определения координат в радиолокационных и радионавигационных системах УВД

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ

- Импульсные (временные)
- Фазовые
- Частотные

Функциональная схема импульсного радиолокационного дальномера

Схема развертки импульсного метода измерения дальности



$$R = c\tau_з/2.$$

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

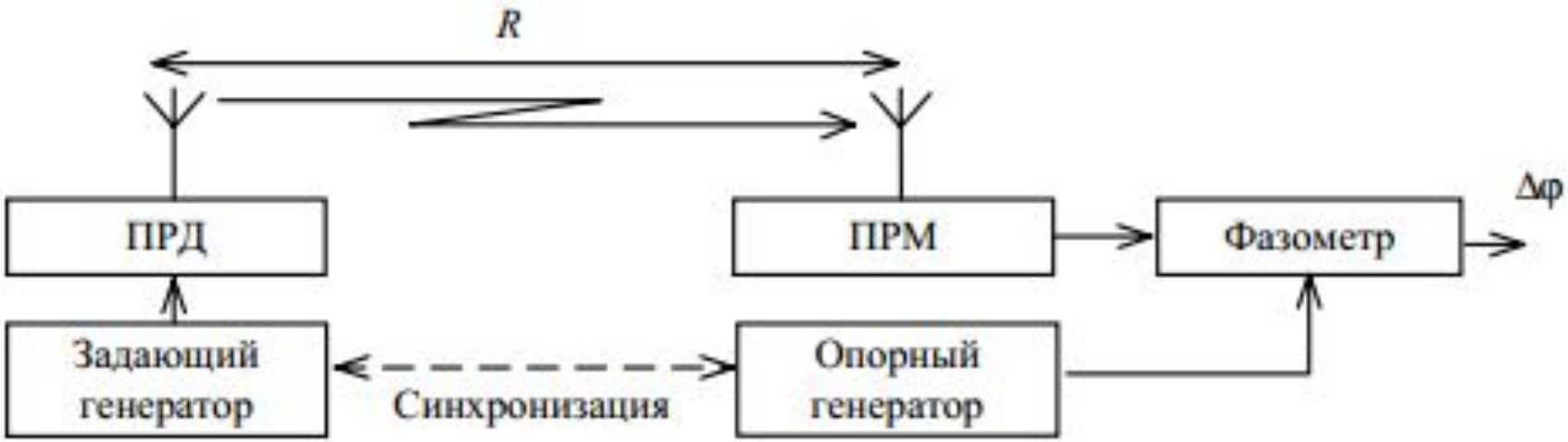
$$\delta R = \frac{c}{2}\delta\tau_з. \qquad (3.36)$$

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

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

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

Фазовый метод измерения дальности



Пусть задающий генератор вырабатывает моно хроматическое колебание

$$s(t) = a\cos(\omega_0 t + \psi_0), \tag{3.5}$$

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

$$s_{\text{прм}}(t) = \rho a\cos\left[\omega_0(t - \tau_з) + \psi_0 + \delta\psi\right] \tag{3.6}$$

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

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

Фазометр измеряет разность фаз принятого и опорного сигналов

$$\Delta\varphi = (\omega_1 t + \psi_1) - \left[\omega_0(t - \tau_з) + \psi_0 + \delta\psi\right] = \omega_0\tau_з + \\ + (\psi_1 - \psi_0 - \delta\psi) + (\omega_1 - \omega_0)t.$$

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

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

Ошибка измерения дальности на основании будет равна

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

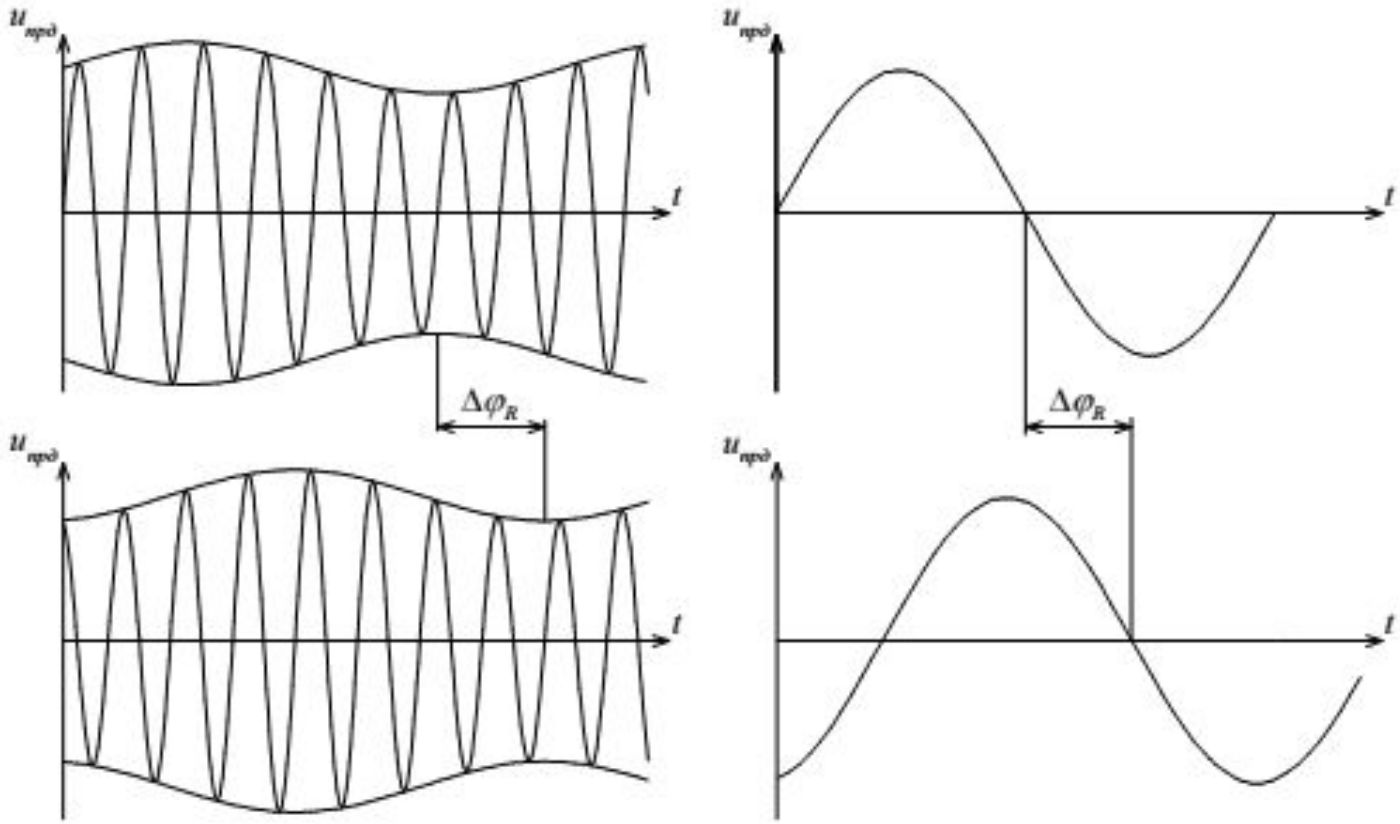
где $\delta\varphi$ – ошибка измерения разности фаз $\Delta\varphi$. Возведя в квадрат обе части последнего равенства и усредняя, получим среднеквадратическое отклонение (СКО) измерения дальности

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

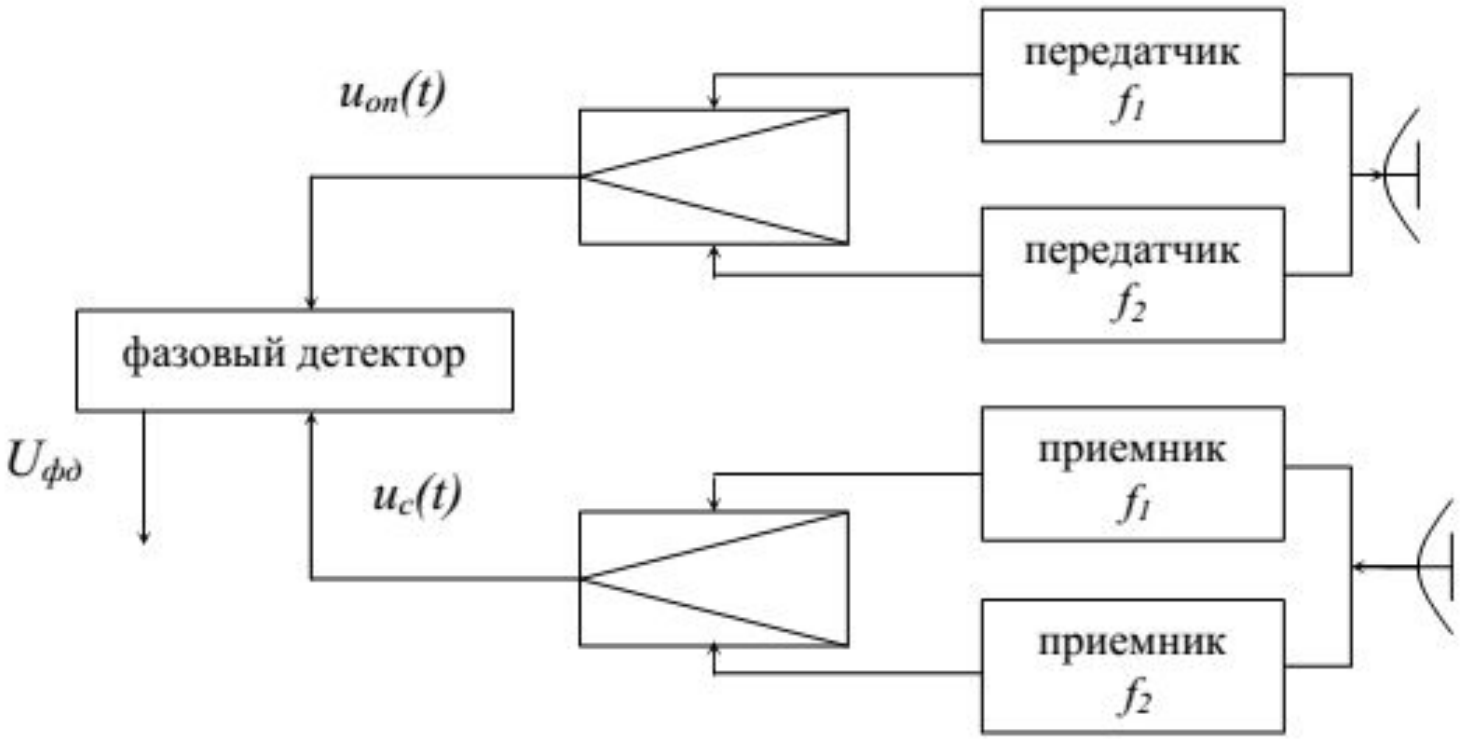
где σ_φ – СКО измерения $\Delta\varphi$. Несложно показать, что $\sigma_\varphi^2 = 1/2q^2$, где q^2 – отношение сигнал/шум на выходе линейной части ПРМ. Тогда для σ_R будет справедливо следующее равенство:

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

Схема развертки фазового метода измерения дальности



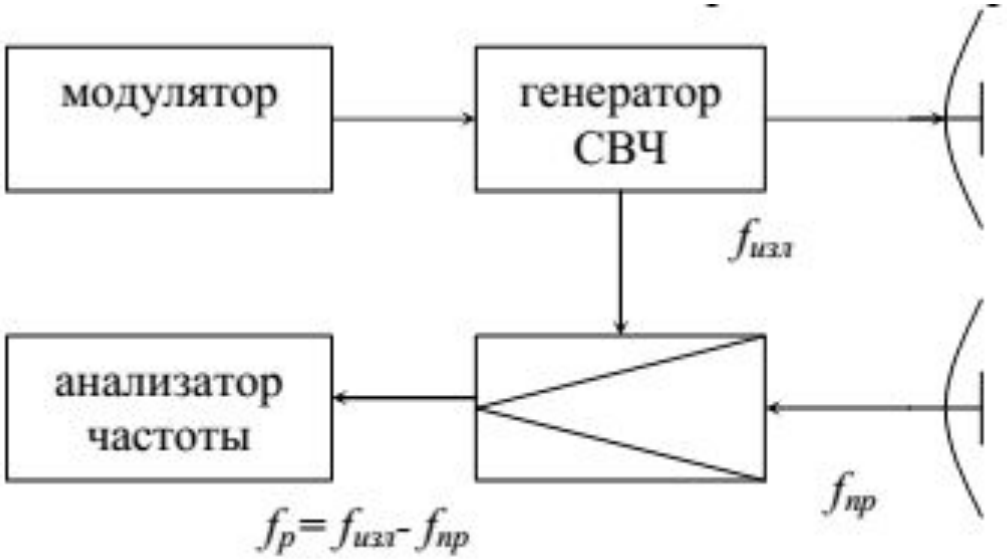
Функциональная схема двухчастотного фазового дальномера

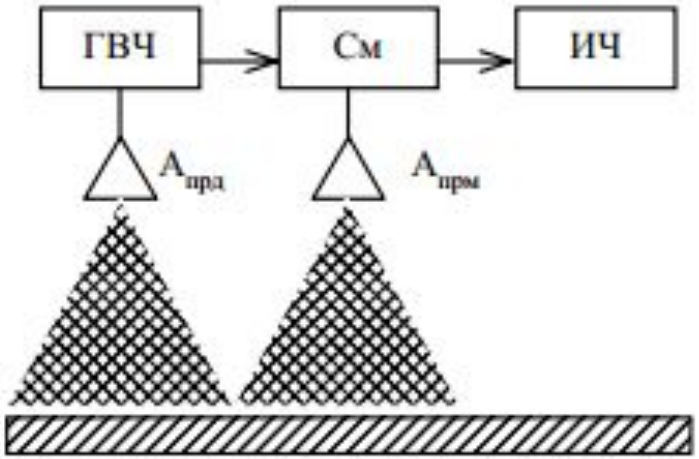


$$D = c\Delta\psi_P / 4\pi\,(f_1 - f_2), \qquad (52)$$

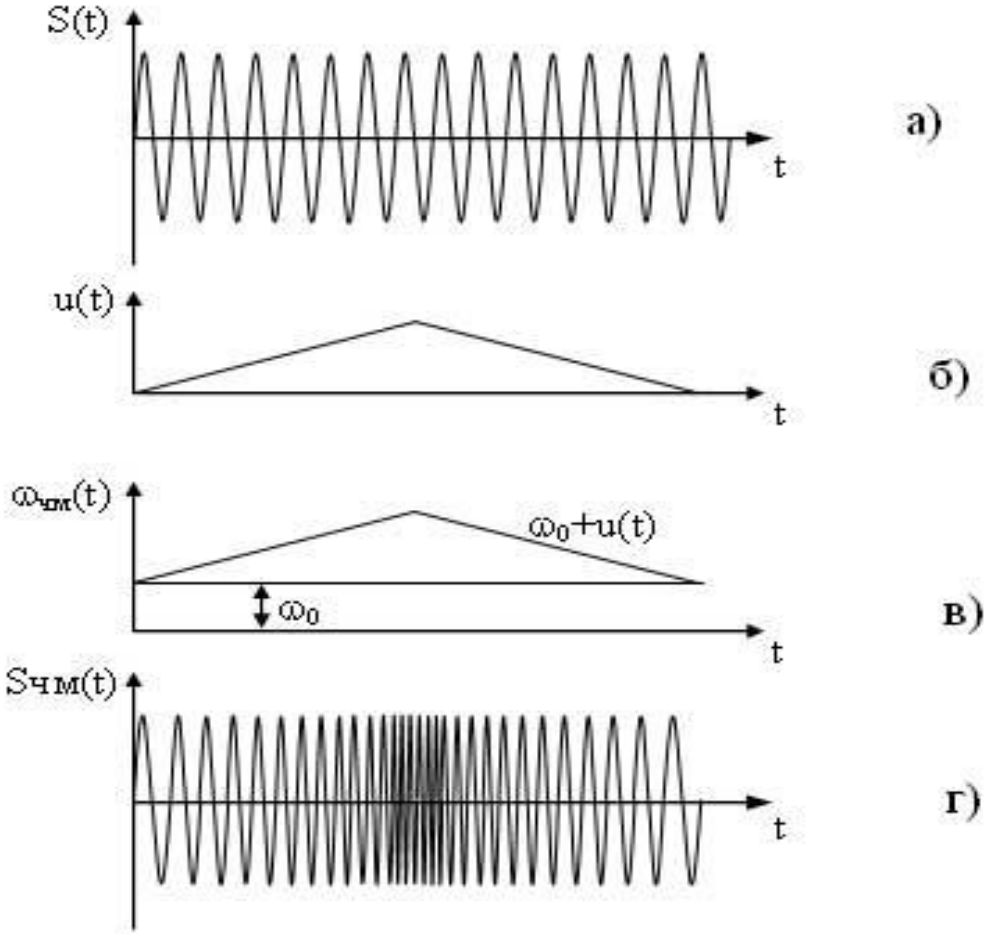
где $\Delta\psi_p$ — разность фаз опорного напряжения и сигнала на разностной частоте, измеряемая фазовым детектором.

Частотный метод измерения дальности





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



Формирование ЧМ сигнала

Изменение частоты излучаемых колебаний по симметричному пилообразному закону

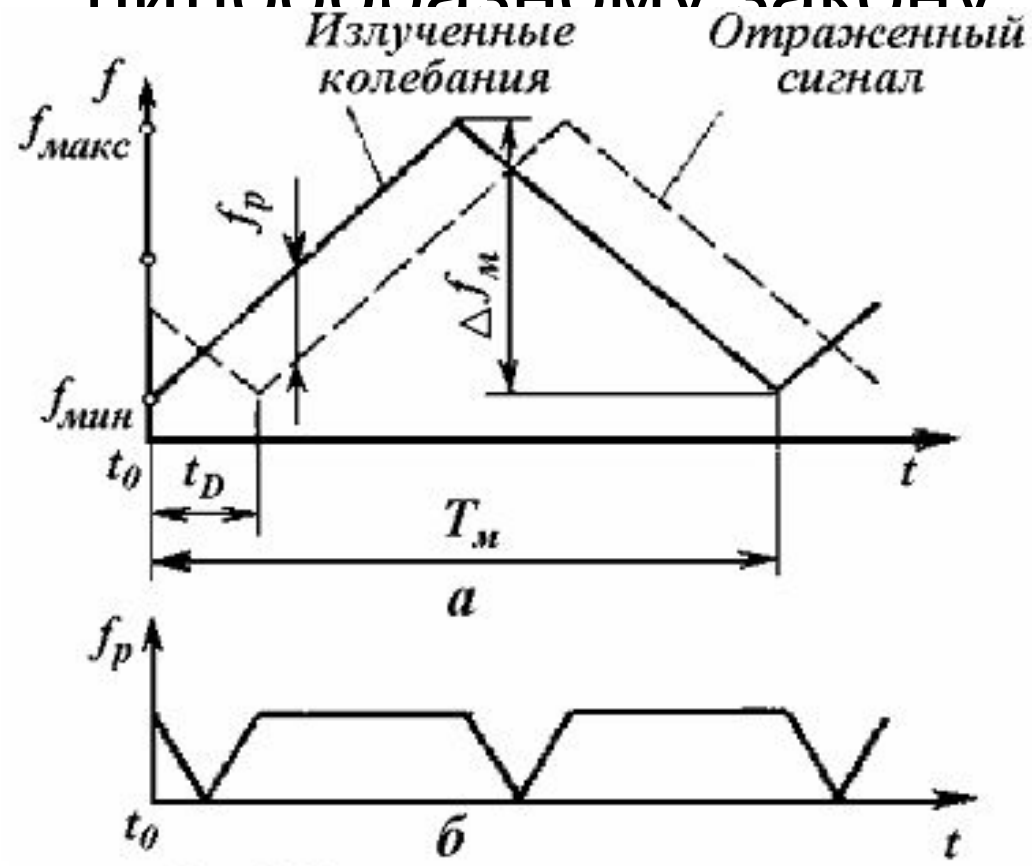
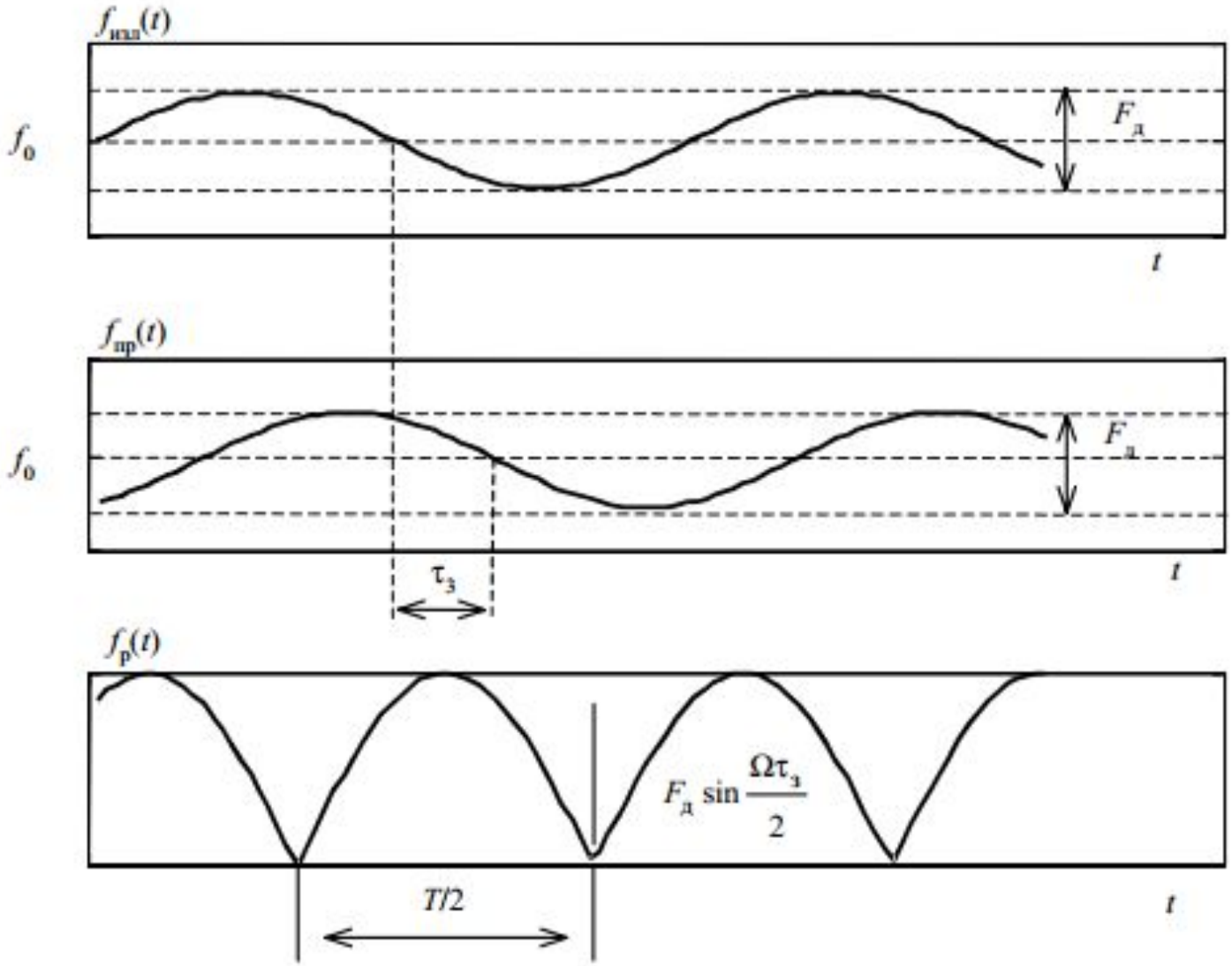


Рис. 9. К частотному измерению дальности:
а — изменение во времени частоты излучаемых и принимаемых колебаний;
б — разностная частота

Изменение частоты излучаемых колебаний по гармоническому закону



Мгновенная частота принятого сигнала (рис. 3.2, *б*)

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

где $\tau_{\text{з}} = 2H/c$ – 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

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

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

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

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

$$\delta H = \frac{c}{2\nu}\delta f_{\text{р}}, \tag{3.25}$$

где $\delta f_{\text{р}}$ – ошибка измерения разностной частоты.

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

$$\sigma_H = \frac{c}{2\nu}\sigma_f. \tag{3.26}$$

Среднеквадратическое отклонение ошибки измерения частоты σ_f, как известно, определяется отношением сигнал/шум q и длиной интервала наблюдения $T_{\text{н}}$

$$\sigma_f = \frac{1}{2\pi\sqrt{q^2 T_{\text{н}}^2}}. \tag{3.27}$$

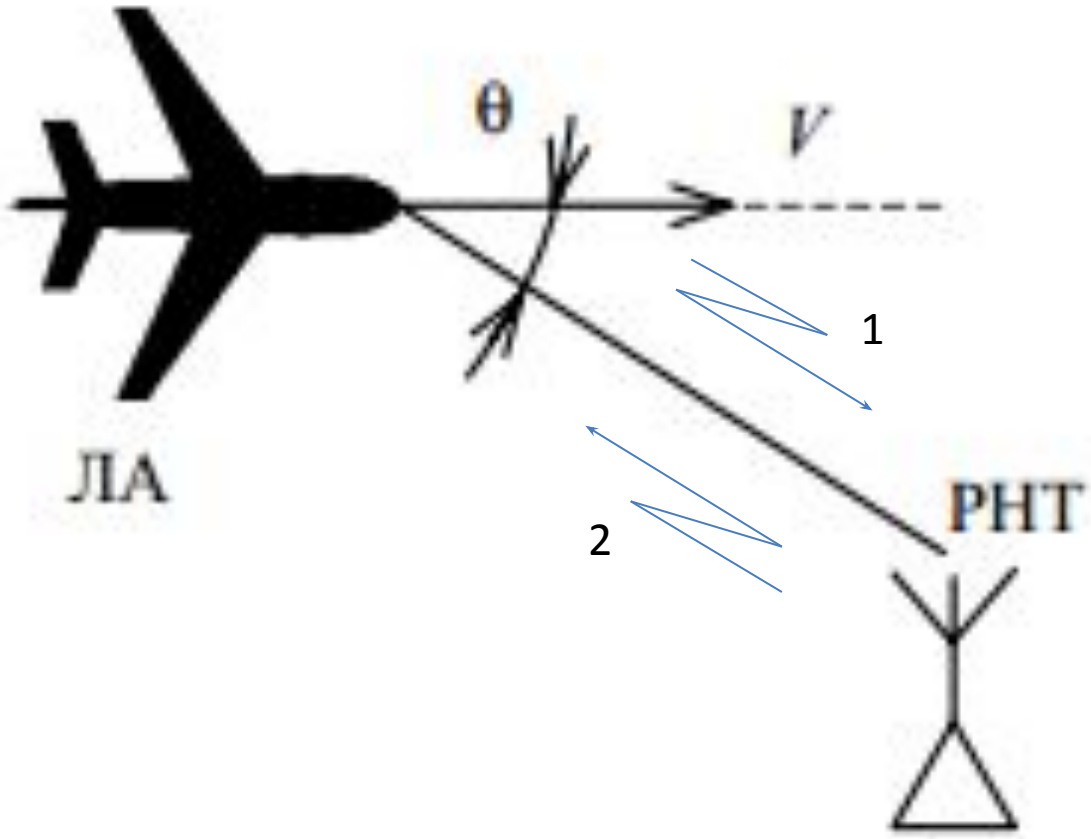
Тогда для σ_H окончательно получим

$$\sigma_H = \frac{c}{4\pi\nu q T_{\text{н}}}. \tag{3.28}$$

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

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

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

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

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

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

будет изменяться во времени, так как изменяется расстояние R.

При прямолинейном полете ЛА относительно РНТ

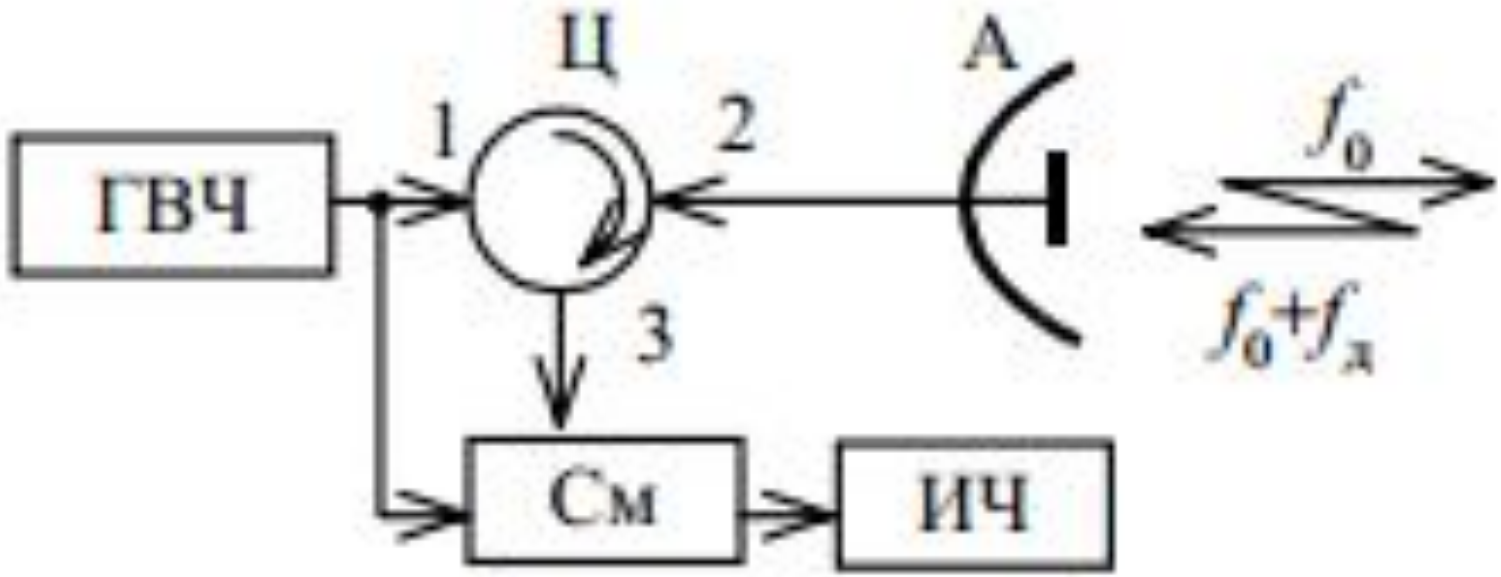
$$R(t) = R(0) - Vt\cos\theta = R(0) - V_r t, \tag{4.4}$$

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.

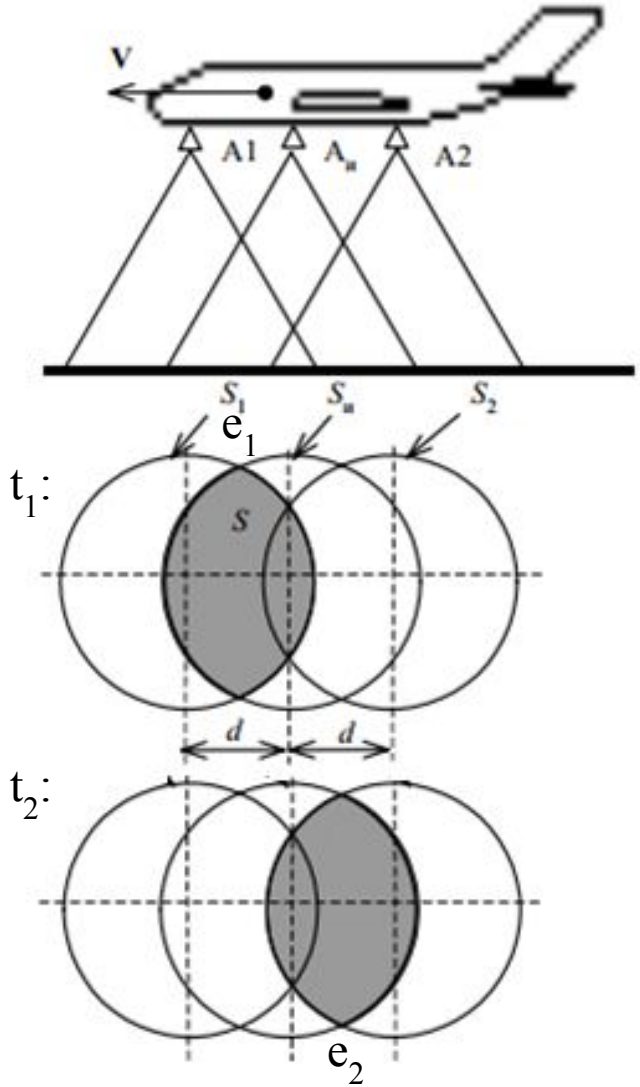
Изменение разности фаз $\varphi(t)$ свидетельствует о наличии дополнительного частотного сдвига между излученным и принятым сигналами. Величина этого сдвига может быть определена как скорость изменения фазы $\varphi(t)$

$$f_{\text{д}} = \frac{1}{2\pi}\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t} = \frac{2\omega_0}{2\pi c}\frac{\mathrm{d}R}{\mathrm{d}t} = \frac{2V_r}{\lambda_0}. \tag{4.5}$$

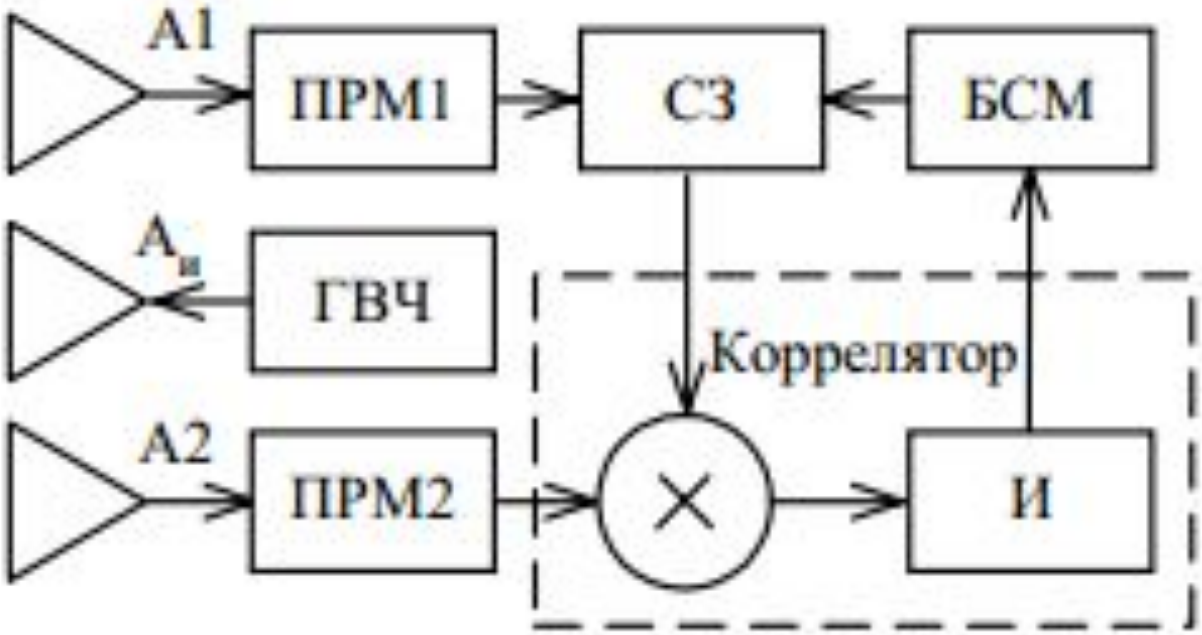
Схема фазового измерителя



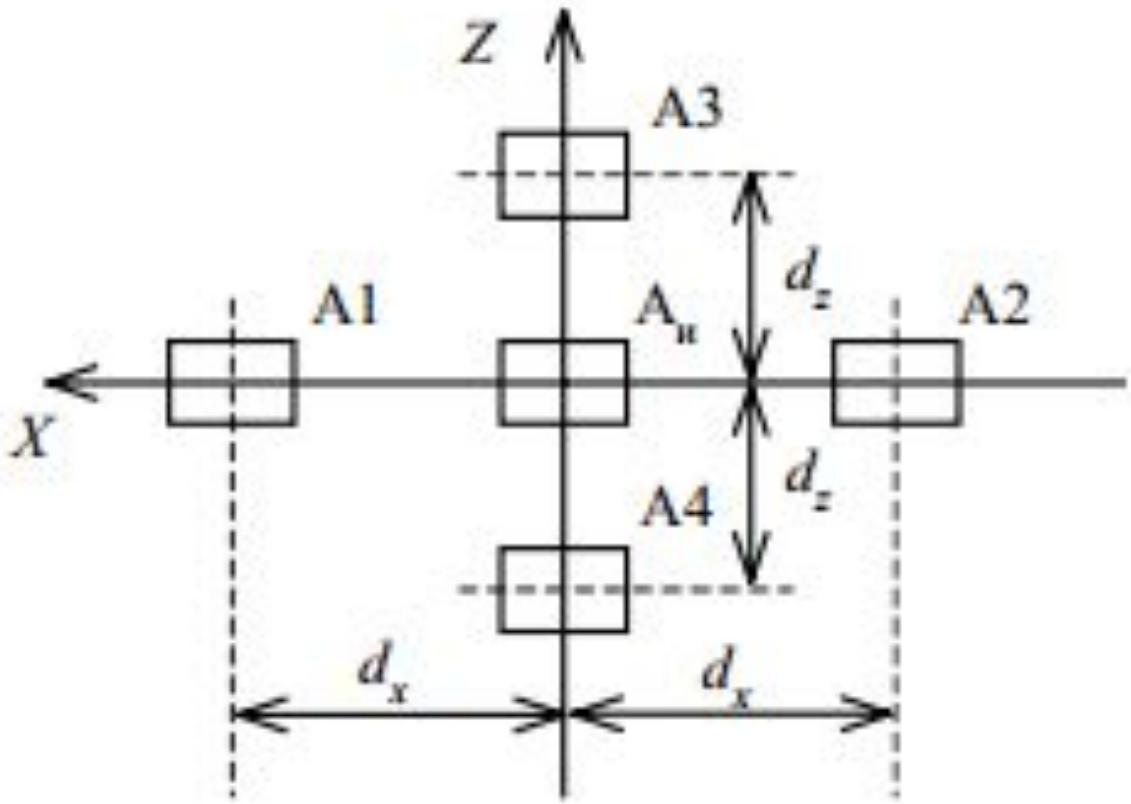
Корреляционный метод измерения скорости



Структурная схема устройства, реализующего корреляционный метод измерения скорости ВС



Определение полного вектора скорости



Радионавигационные методы углометрии

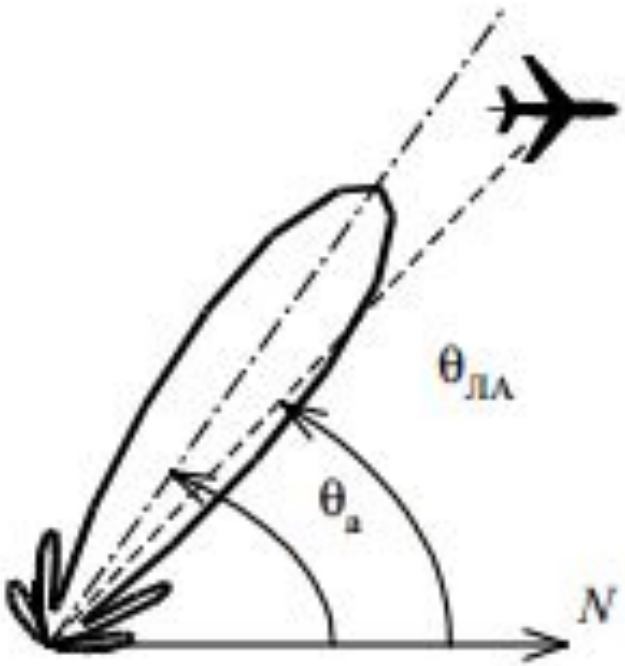
- Одноканальные:

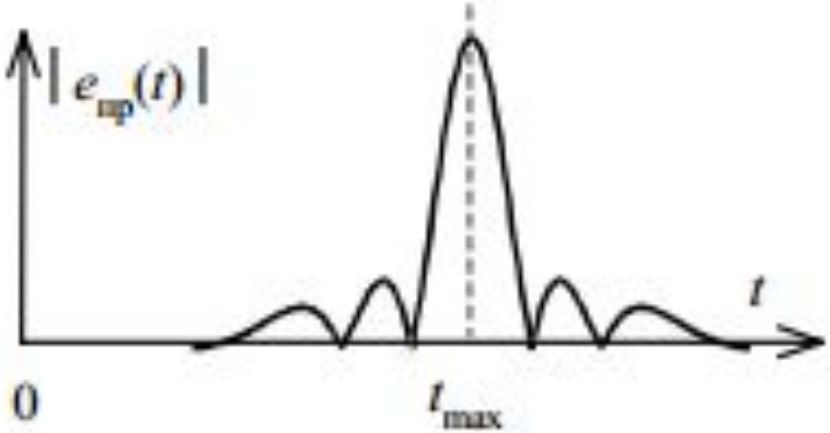
- Метод максимума
- Метод минимума

- Многоканальные

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

Метод максимума

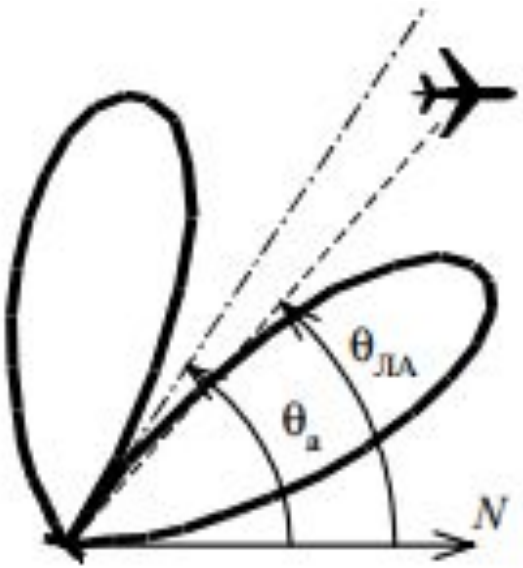


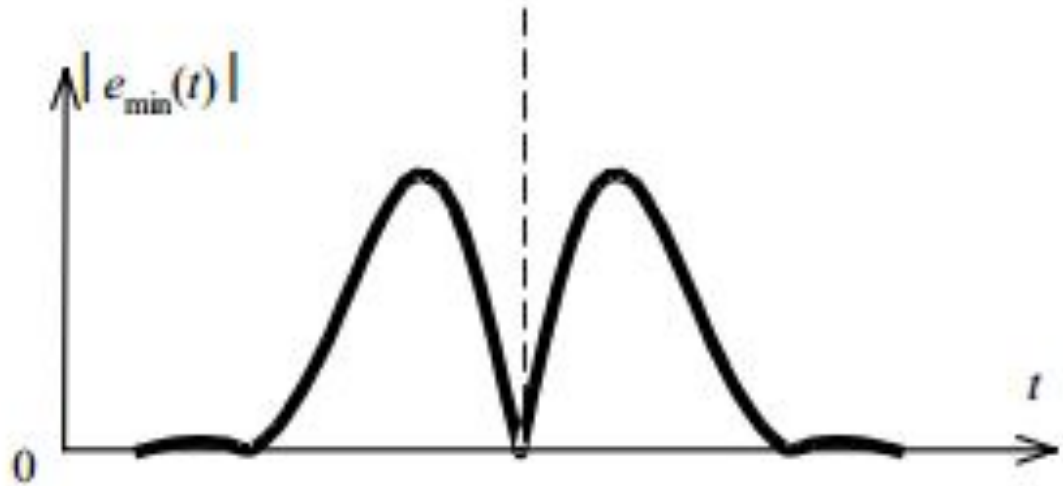


$$\theta_{ЛА} = \Omega t_{max}.$$

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

Метод минимума

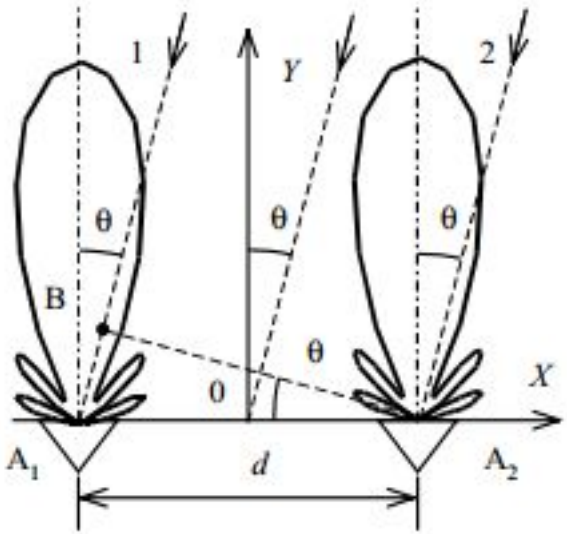


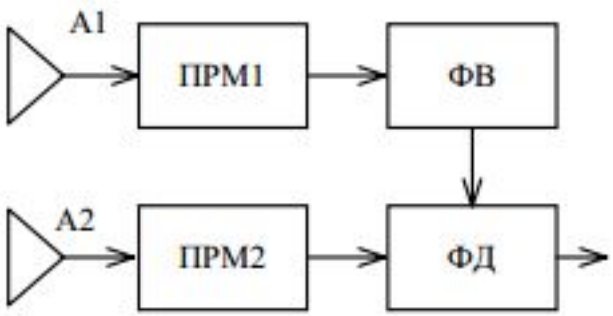


$$\theta_{ЛА} = \Omega t_{\min}.$$

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

Фазовый метод





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

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

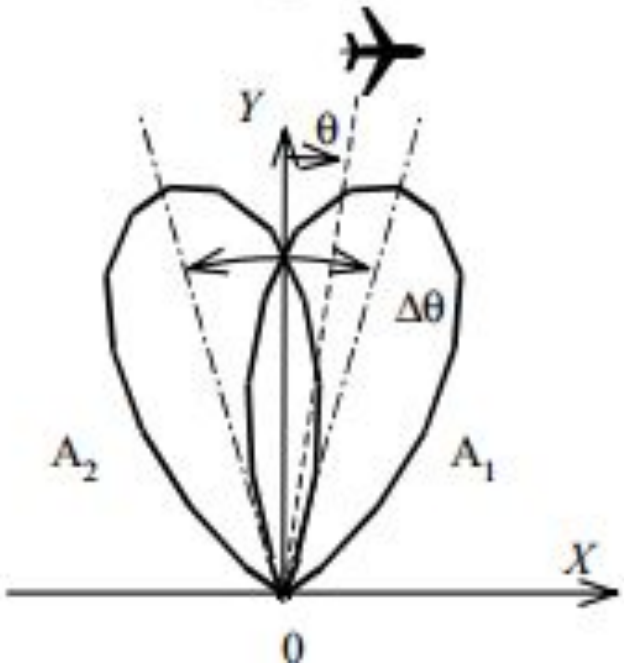
$$\sigma_\theta = \frac{\sqrt{2}}{q\mu},$$

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:

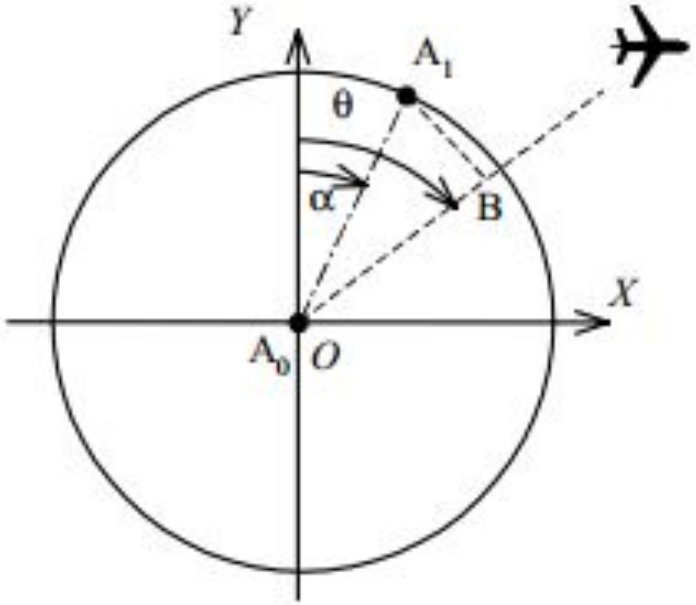
1) разности логарифмов амплитуд E_1 и E_2

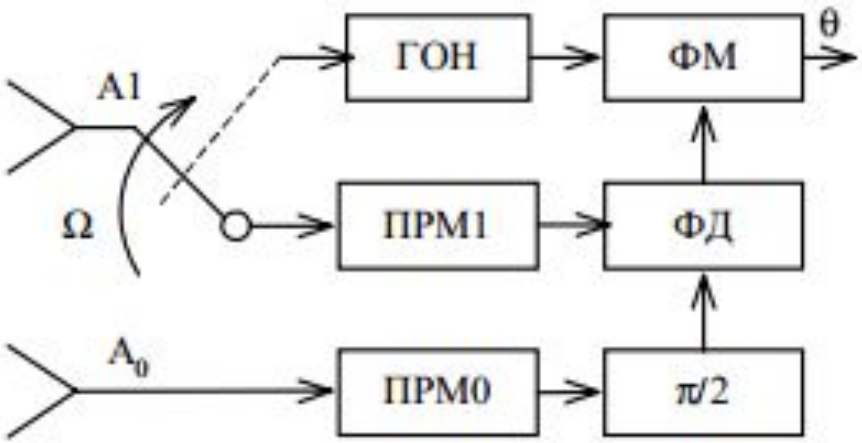
$$\Pi_1(\theta) = 0{,}5(\log E_2 - \log E_1) = 0{,}5\log\frac{E_2}{E_1} = 0{,}5\log\frac{f(\theta - \Delta\theta/2)}{f(\theta + \Delta\theta/2)}; \quad (5.16)$$

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



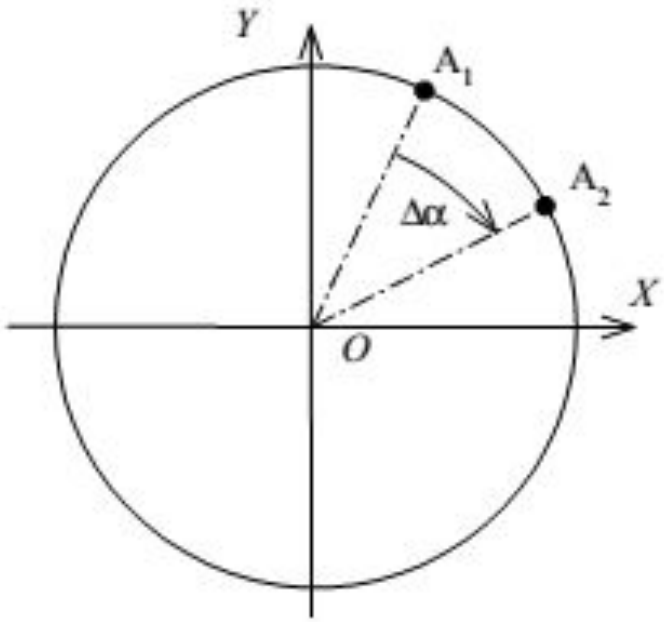


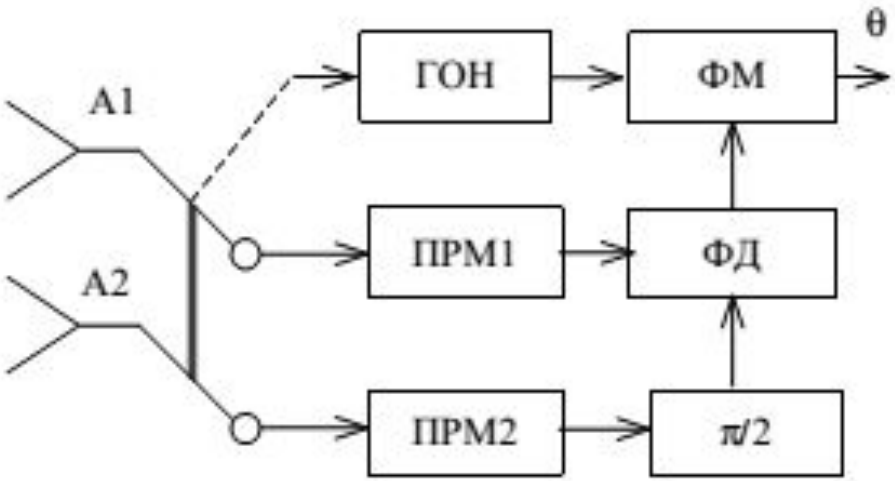
$$\varphi_1 - \varphi_0 = kr \cdot \cos(\Omega t - \theta).$$

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

где $m = kr$ – индекс фазовой модуляции

Дифференциально-фазовый метод





$$\varphi_1 = kr\cdot\cos(\Omega t - \theta) + \varphi_0;$$
$$\varphi_2 = kr\cdot\cos(\Omega t - \Delta\alpha - \theta) + \varphi_0,$$

где φ_0 – фаза падающей волны в начале координат O.

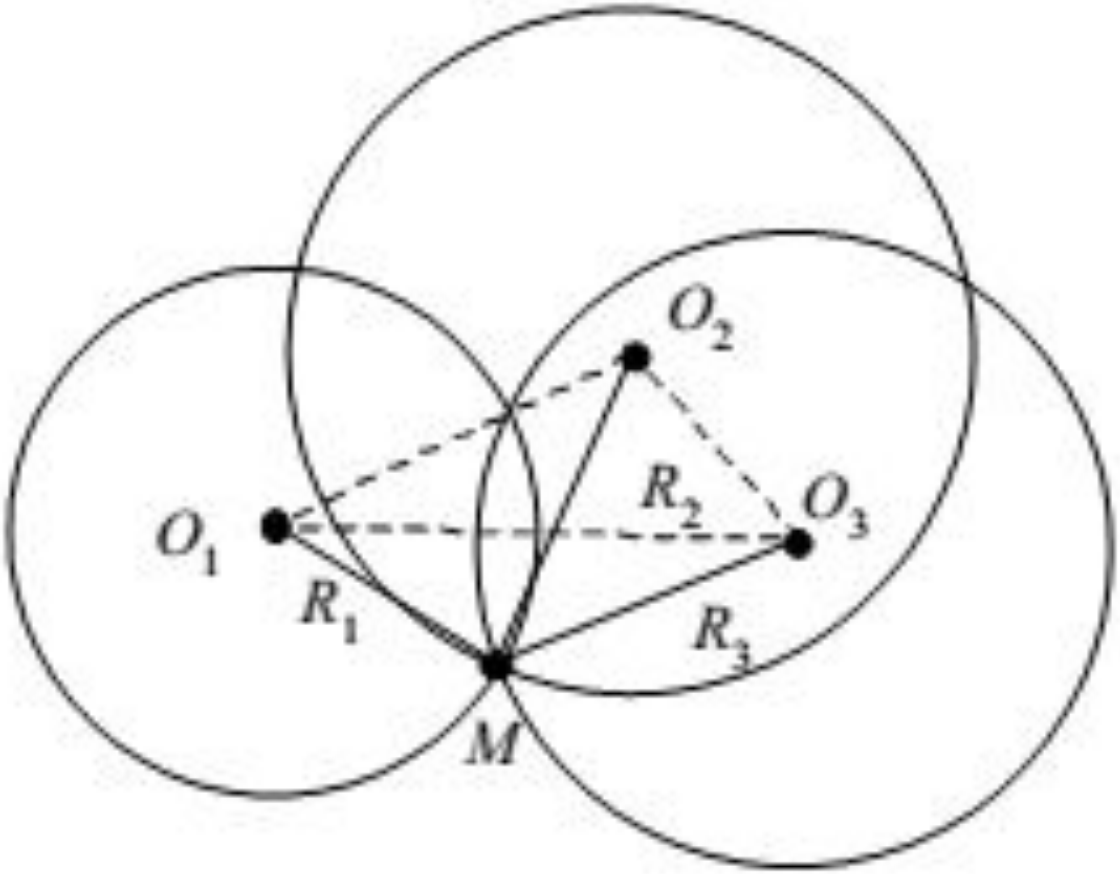
$$\sigma_\theta = \frac{1}{qm}, \qquad (5.31)$$

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

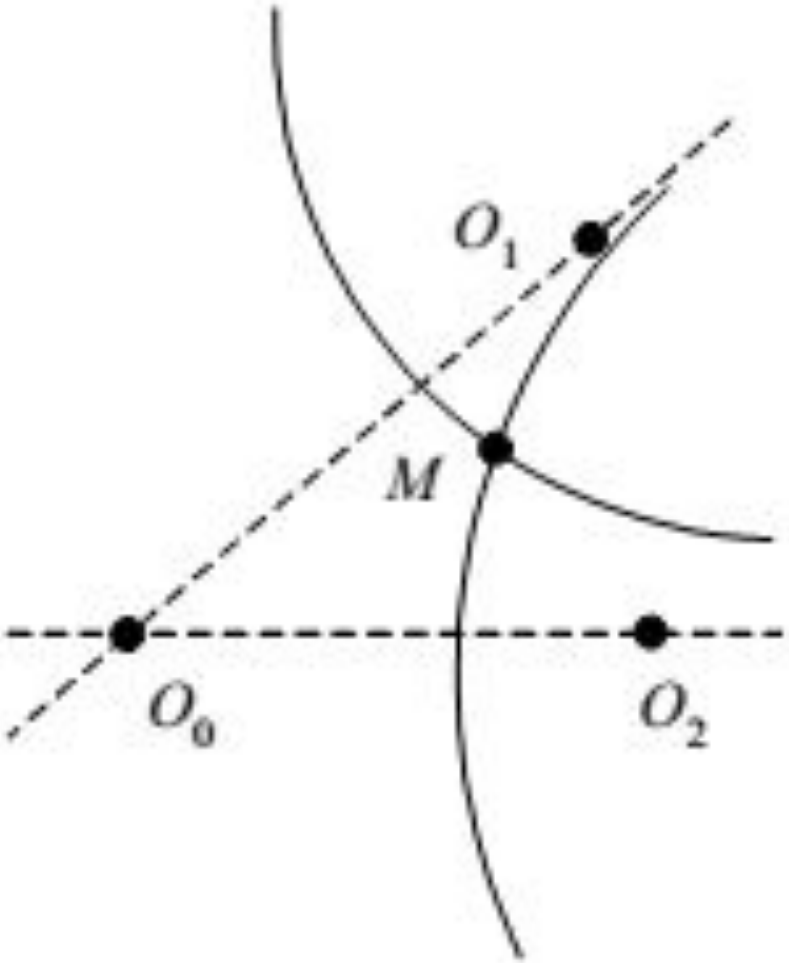
Позиционные способы определения местоположения

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

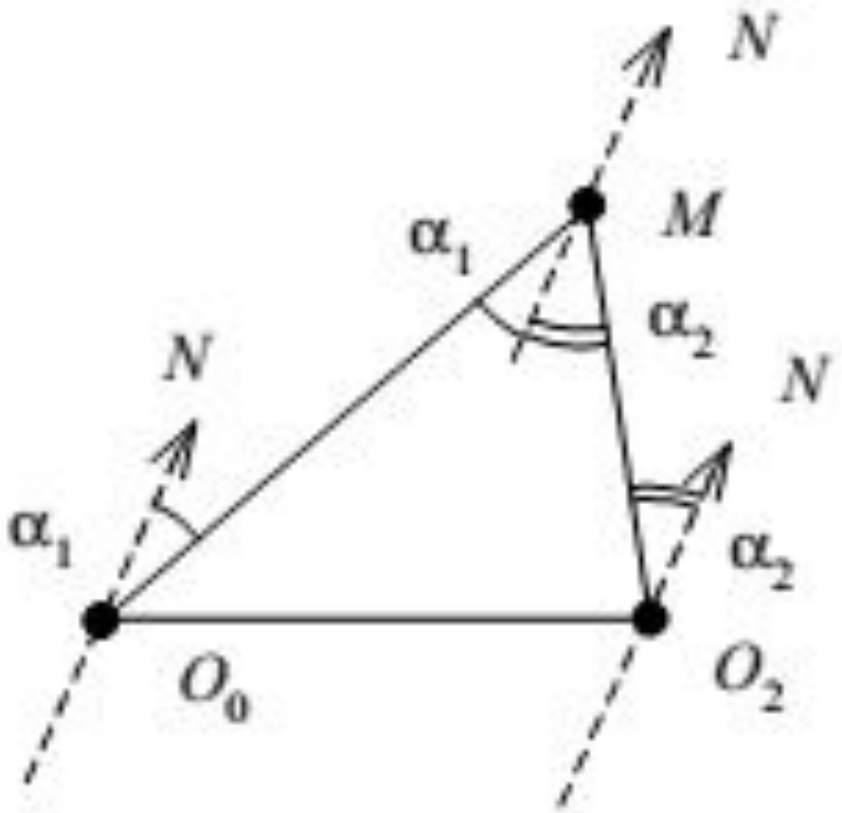
Дальномерный способ



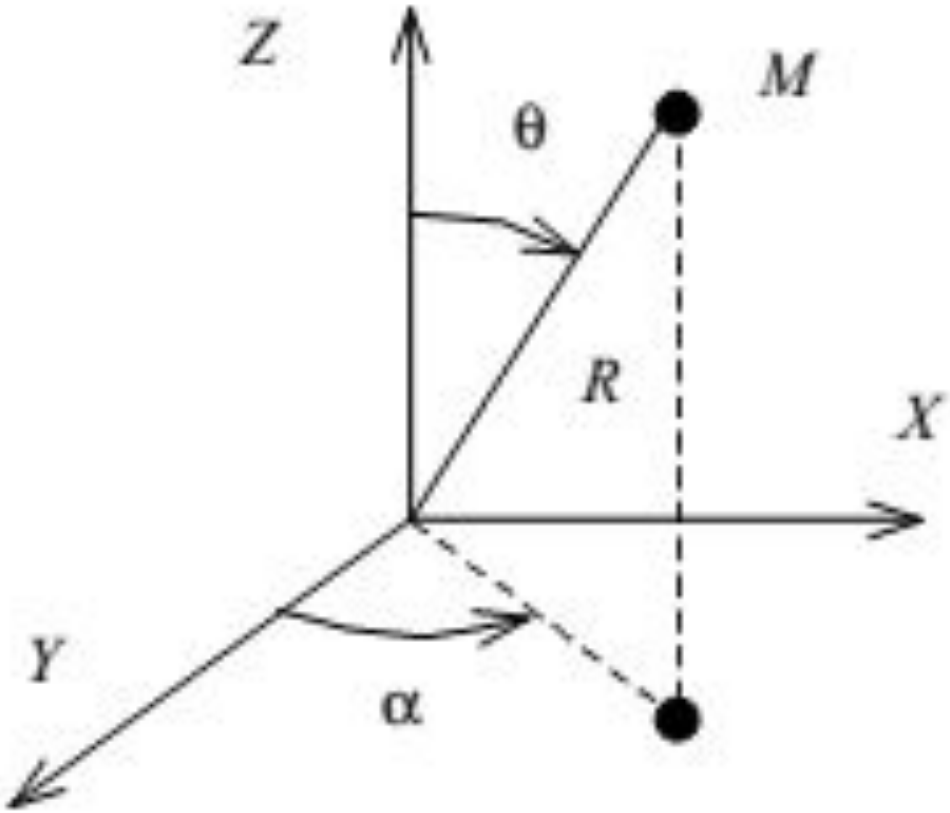
Разностно-дальномерный способ



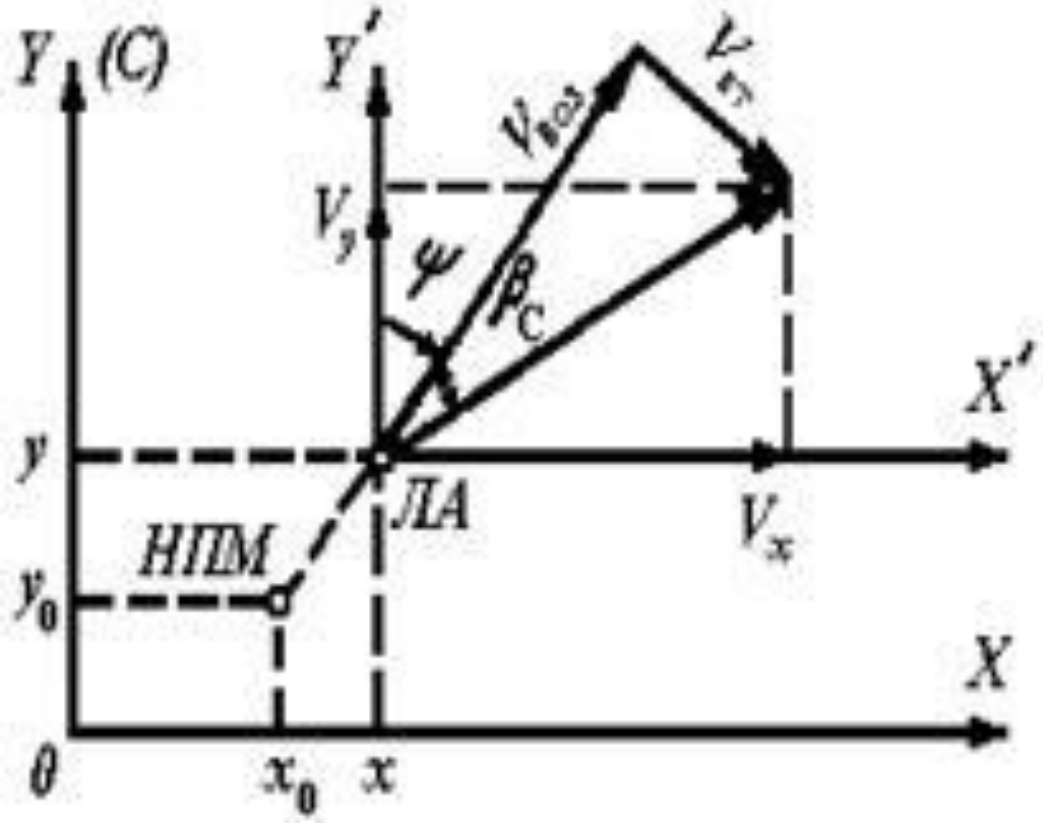
Угломерный способ



Дальномерно-угломерный способ



Метод счисления пути



Обзорно-сравнительный метод