Методы определения координат в радиолокационных и радионавигационных системах УВД

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ

- Импульсные (временные)
- Фазовые
- Частотные

Функциональная схема импульсного радиолокационного дальномера

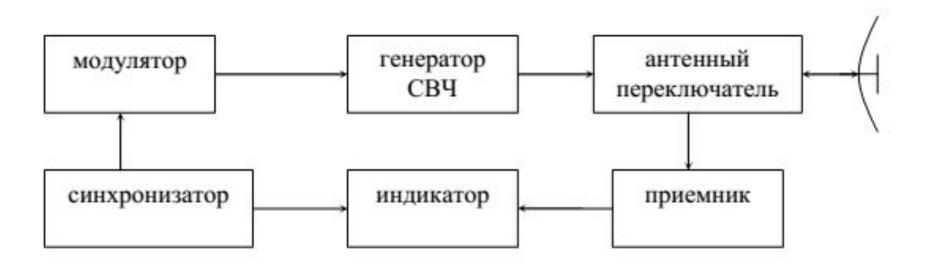
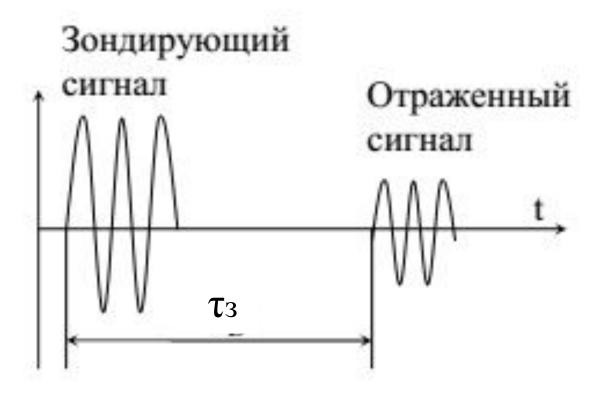


Схема развертки импульсного метода измерения дальности



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

Ошибка измерения дальности временным методом δR определяется ошибкой измерения времени задержки $\delta \tau_{_3}$

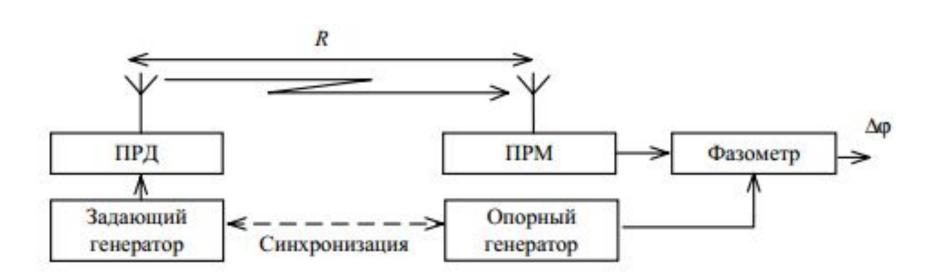
$$\delta R = \frac{c}{2} \delta \tau_3. \tag{3.36}$$

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

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

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

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

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

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

Фазометр измеряет разность фаз принятого и опорного сигналов

$$\Delta \varphi = (\omega_1 t + \psi_1) - \left[\omega_0 (t - \tau_3) + \psi_0 + \delta \psi\right] = \omega_0 \tau_3 + \left(\psi_1 - \psi_0 - \delta \psi\right) + \left(\omega_1 - \omega_0\right) t.$$

Если выполняются условия $\omega_1 = \omega_0$ и $\psi_1 = \psi_0 + \delta \psi$, то $\Delta \phi = \omega_0 \tau_3$. 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

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

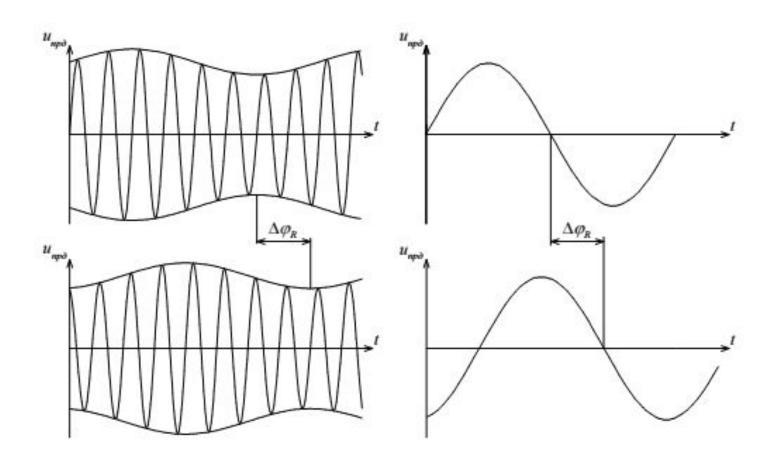
где δφ — ошибка измерения разности фаз Δφ. Возведя в квадрат обе части последнего равенства и усредняя, получим среднеквадратическое отклонение (СКО) измерения дальности

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

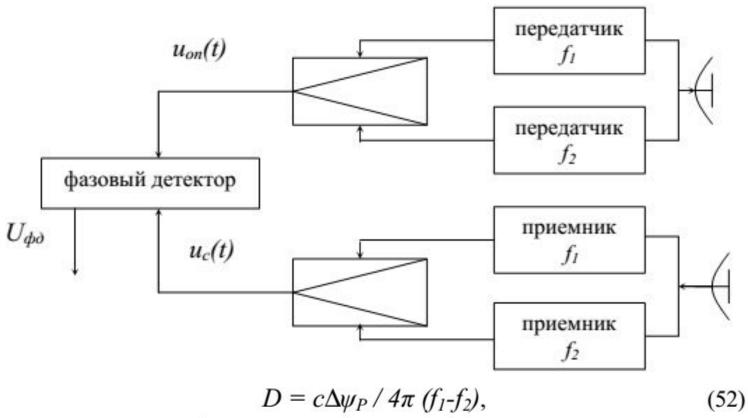
где σ_{ϕ} – СКО измерения $\Delta \phi$. Несложно показать, что $\sigma_{\phi}^{\ 2} = 1/2q^2$, где q^2 – отношение сигнал/шум на выходе линейной части ПРМ. Тогда для σ_R будет справедливо следующее равенство:

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

Схема развертки фазового метода измерения дальности

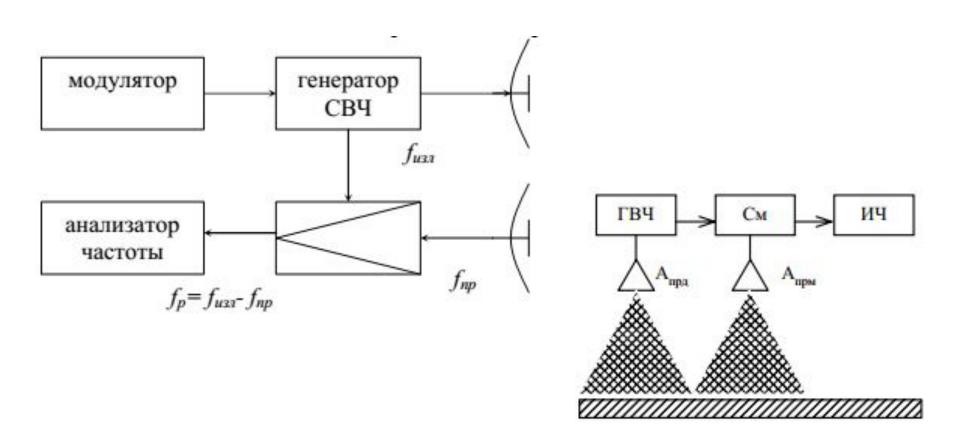


Функциональная схема двухчастотного фазового дальномера

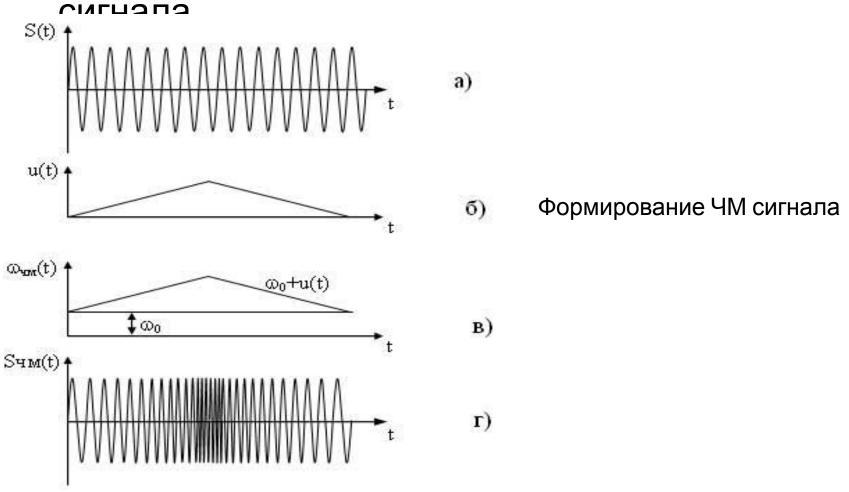


где $\Delta \psi_p$ — разность фаз опорного напряжения и сигнала на разностной частоте, измеряемая фазовым детектором.

Частотный метод измерения дальности



Частоты несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями модулирующего



Изменение частоты излучаемых колебаний по симметричному

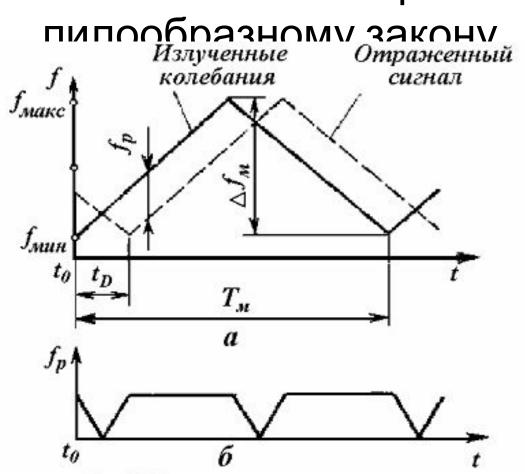
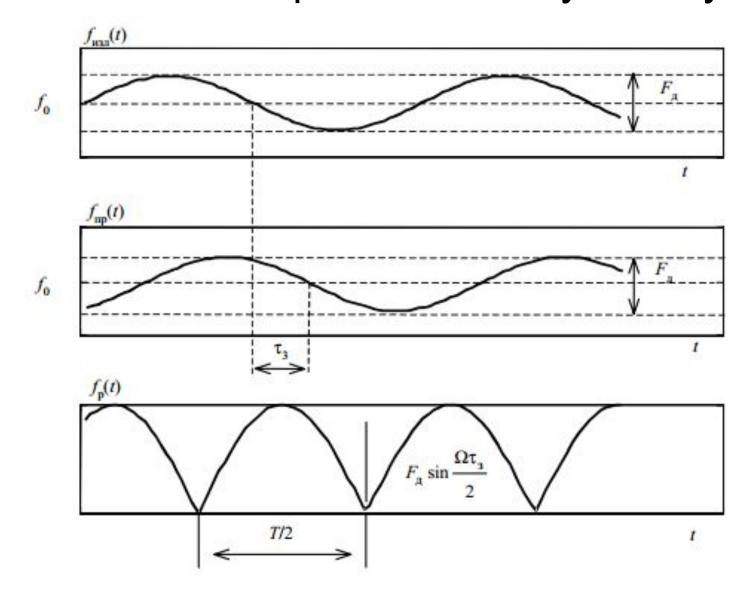


Рис. 9. К частотному измерению дальности: a — изменение во времени частоты излучаемых и принимаемых колебаний; δ — разностная частота

Изменение частоты излучаемых колебаний по гармоническому закону



Мгновенная частота принятого сигнала (рис. 3.2, δ)

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

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

 f_0 – средняя несущая частота; F_{π} – девиация частоты; Ω =2 π /T – угловая частота частотной модуляции; T – период модуляции.

Разностная частота при этом будет равна

$$f_{\rm p} = \frac{2F_{\rm H}}{T} \tau_{\rm s}.$$

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

$$H = \frac{c}{4FF_{\pi}} f_{p} = \frac{c}{2v} f_{p}.$$
 (3.24)

Таким образом, измеряя среднюю частоту биений излученного и принятого сигналов f_p , можно определить высоту ЛА. Постоянный коэффициент $V = 2FF_{\pi}$ соответствует средней скорости изменения частоты излученного сигнала.

Считая множитель c/(2v) постоянным, случайная ошибка измерения высоты

$$\delta H = \frac{c}{2v} \delta f_{\rm p},\tag{3.25}$$

где $\delta f_{\rm p}$ – ошибка измерения разностной частоты.

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

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

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

$$\sigma_f = \frac{1}{2\pi\sqrt{q^2 T_{\rm H}^2}}. (3.27)$$

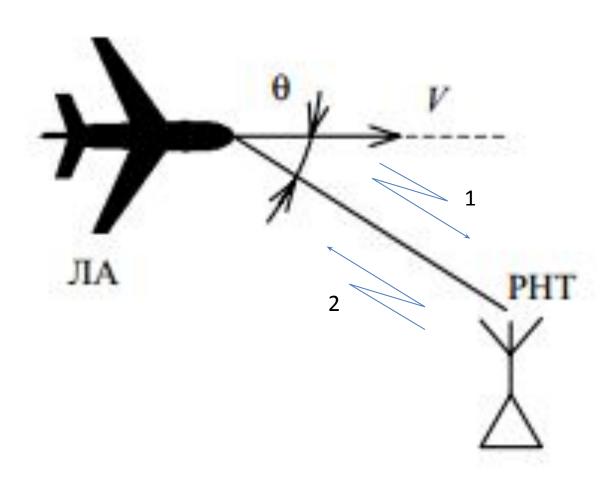
Тогда для σ_H окончательно получим

$$\sigma_H = \frac{c}{4\pi v q T_{\rm H}}.\tag{3.28}$$

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

$$e_{\text{H3JI}}(t) = a(t)\cos(\omega_0 t + \varphi_0), \tag{4.1}$$

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

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

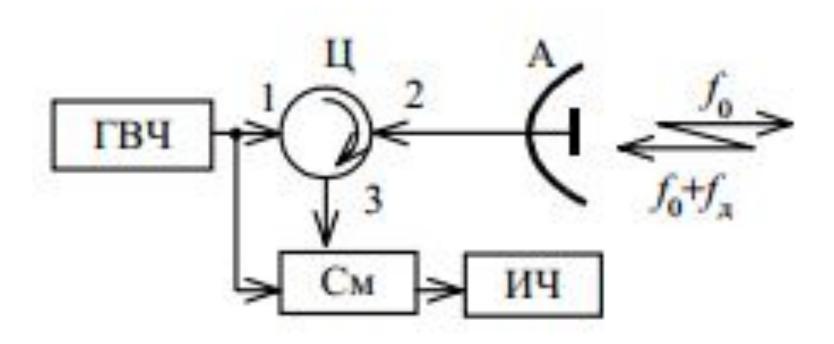
$$R(t) = R(0) - Vt \cos \theta = R(0) - V_r t,$$
 (4.4)

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

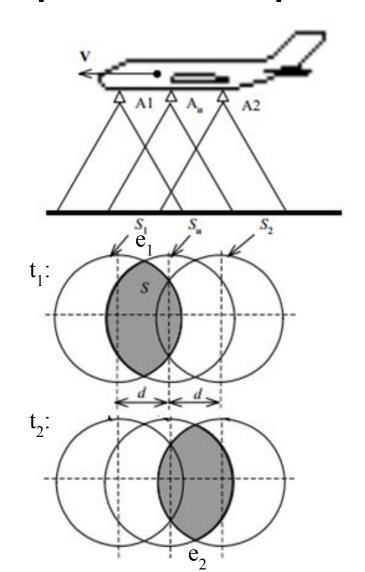
Изменение разности фаз $\varphi(t)$ свидетельствует о наличии дополнительного частотного сдвига между излученным и принятым сигналами. Величина этого сдвига может быть определена как скорость изменения фазы $\varphi(t)$

$$f_{\pi} = \frac{1}{2\pi} \frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t} = \frac{2\omega_0}{2\pi c} \frac{\mathrm{d}R}{\mathrm{d}t} = \frac{2V_r}{\lambda_0}.$$
 (4.5)

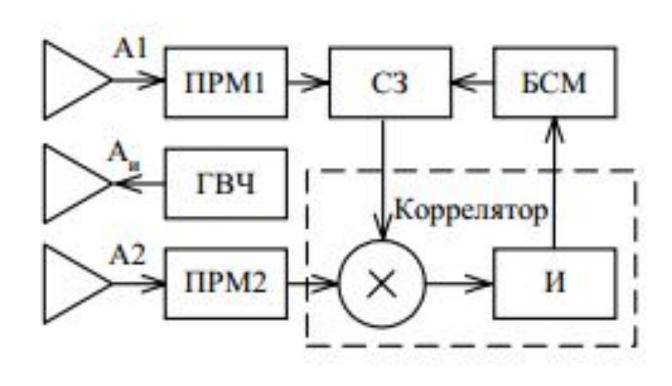
Схема фазового измерителя



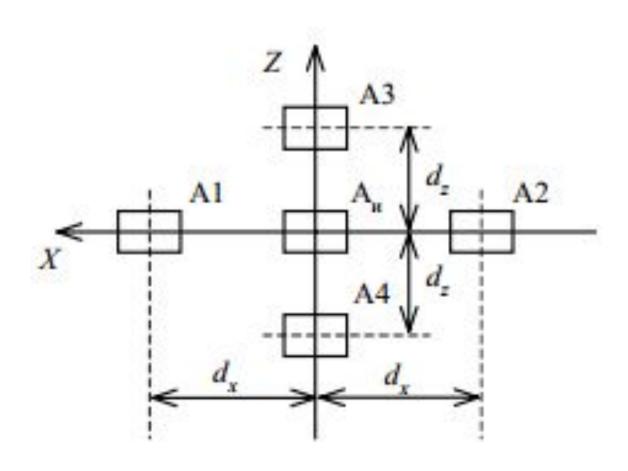
Корреляционный метод измерения скорости



Структурная схема устройства, реализующего корреляционный метод измерения скорости ВС



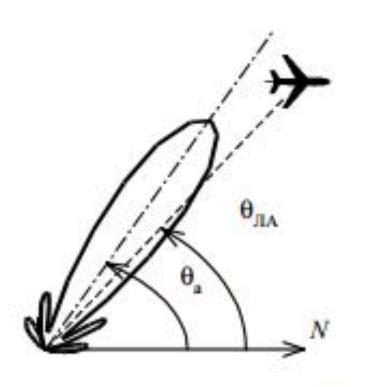
Определение полного вектора скорости

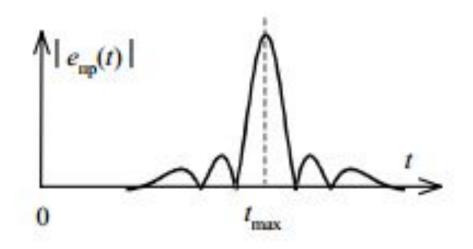


Радионавигационные методы углометрии

- Одноканальные:
- □ Метод максимума
- □ Метод минимума
 - Многоканальные
- □ Фазовый метод
- □ Амплитудный метод
- □ Доплеровский метод
- ☐ Дифференциально-фазовый метод

Метод максимума

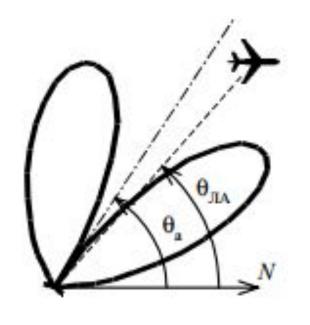


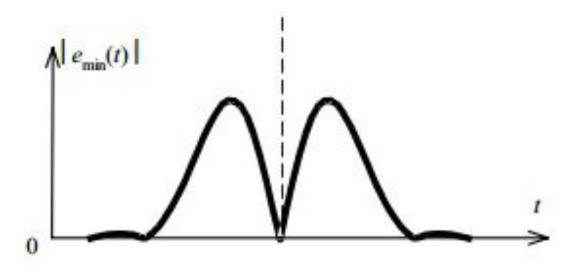


$$\theta_{\text{JIA}} = \Omega t_{\text{max}}$$
.

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

Метод минимума

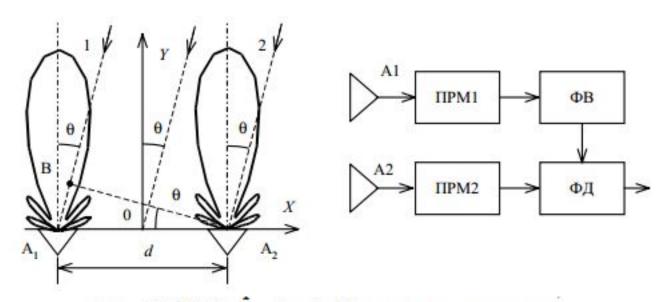




$$\theta_{\rm JIA} = \Omega t_{\rm min}$$
.

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

Фазовый метод



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

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

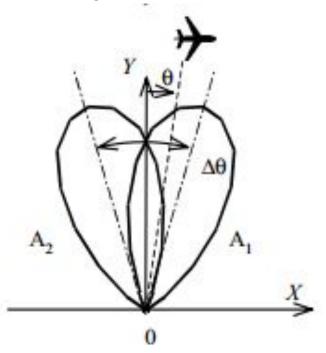
$$\sigma_{\theta} = \frac{\sqrt{2}}{q\mu}$$

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 κpy -

Амплитудный метод



Определение направления прихода сигнала θ возможно путем вычисления:

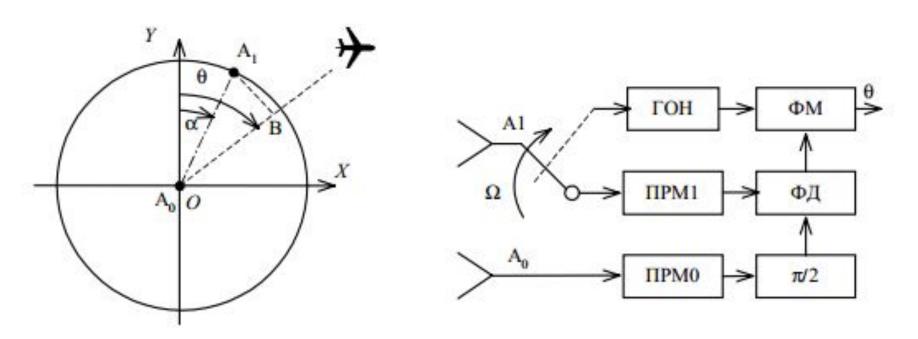
1) разности логарифмов амплитуд E_1 и E_2

$$\Pi_1(\theta) = 0.5(\log E_2 - \log E_1) = 0.5\log \frac{E_2}{E_1} = 0.5\log \frac{f(\theta - \Delta\theta/2)}{f(\theta + \Delta\theta/2)};$$
 (5.16)

2) отношения разности амплитуд E_1 и E_2 к их сумме

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

Доплеровский метод

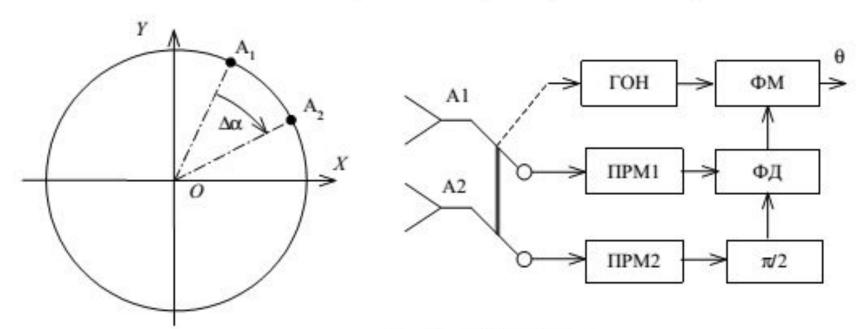


$$\varphi_1 - \varphi_0 = kr \cdot \cos(\Omega t - \theta).$$

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

где m = kr — индекс фазовой модуляции

Дифференциально-фазовый метод



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

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

где ϕ_0 – фаза падающей волны в начале координат O.

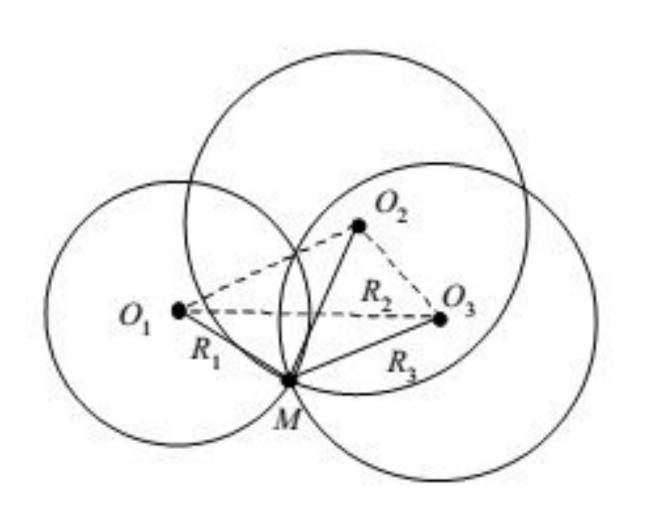
$$\sigma_{\theta} = \frac{1}{qm},\tag{5.31}$$

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

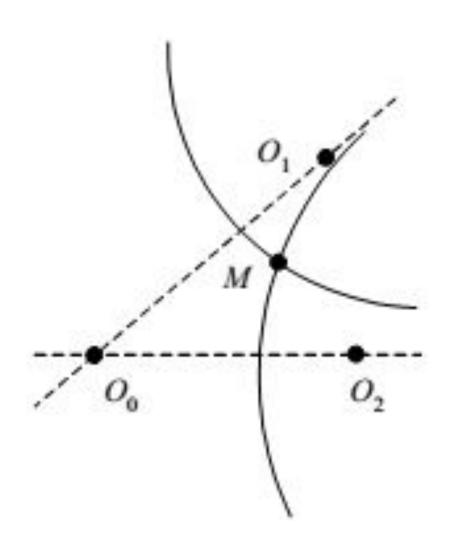
Позиционные способы определения местоположения

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

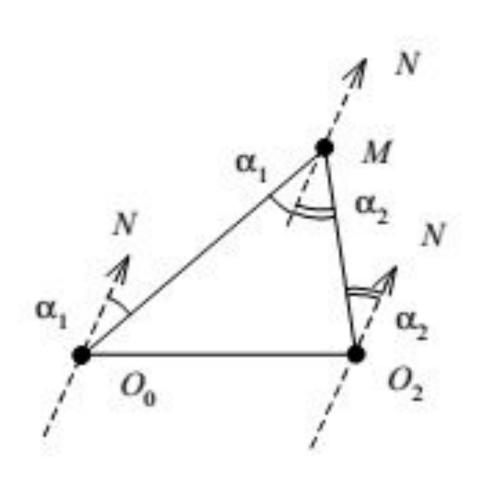
Дальномерный способ



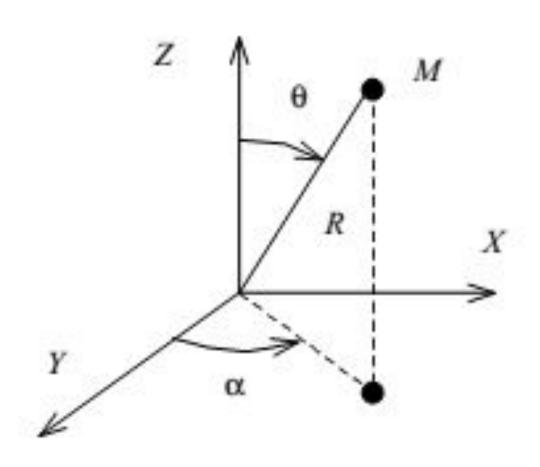
Разностно-дальномерный



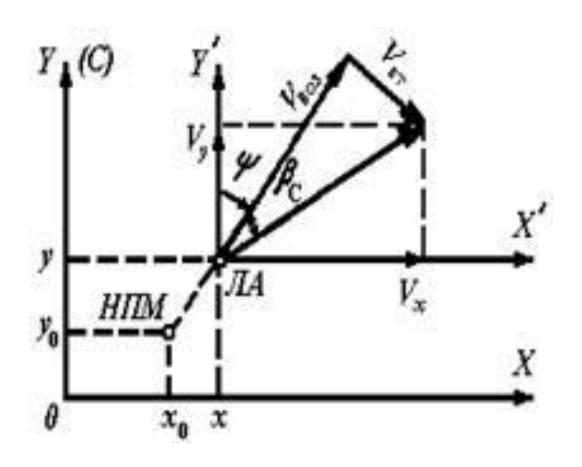
Угломерный способ



Дальномерно-угломерный способ



Метод счисления пути



Обзорно-сравнительный метод

