

## Модели радиолокационных сигналов

1. Детерминированный сигнал.
2. Сигнал со случайной начальной фазой.
3. Сигнал со случайной начальной фазой и флуктуирующей амплитудой.

$$y(t) = \Theta u(t) + n(t)$$

$$y(t) = \Theta U_m(t, \mu) + n(t)$$

$$u(t, \varphi) = U_m \cos[\omega_0 t + \psi(t) - \varphi] \quad w(\varphi) = 1/2\pi$$

$$u(t, \varphi) = \alpha U_m \cos[\omega_0 t + \psi(t) - \varphi] \quad w(\varphi) = 1/2\pi$$

$$w(\alpha) = \frac{\alpha}{\sigma_\alpha} e^{-\frac{\alpha^2}{2\sigma_\alpha^2}}$$

## Синтез оптимальных обнаружителей сигналов

I. Обнаружение одиночного радиоимпульса с полностью известными параметрами на фоне белого шума. Единственное, что предполагается заранее неизвестным, это сам факт наличия сигнала

$$y(t) = \theta u(t) + n(t) \quad \theta = 0; 1$$

$$M\{n(t)\} = 0; \quad R(\tau) = M\{n(t)n(t-\tau)\} = \frac{N_0}{2} \delta(\tau)$$

$$G(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau = \frac{N_0}{2}.$$

$$\sigma^2 = N_0 \Delta f = K_{\text{ш}} kT_0 \Delta f \quad K_{\text{ш}} = T_a / T_0 + T_{\text{ип}} / T_0 - 1 \quad T_0 = 290^\circ\text{K}, \quad kT_0 = 4 \cdot 10^{-21}$$

*По гипотезе  $H_0$   $y(t) = n(t)$*

*а по гипотезе  $H_1$   $y(t) = u(t) + n(t)$*

*Тогда  $n(t) = y(t) - u(t)$*

$\lambda(y)$  – отношение правдоподобия

$$\sigma_n^2 = N_0(F_{\max} - F_{\min}) \quad \Delta t = \frac{1}{2F_{\max}} \Rightarrow dt$$

$$\frac{1}{\sigma_n^2} \sum_{i=1}^N n_i^2 = \frac{1}{N_0} \int_0^T n^2(t) dt$$

$$w[n^2(t)] = (2\pi\sigma_n^2)^{-N/2} \exp\left\{-\frac{1}{N_0} \int_0^T n^2(t) dt\right\} \rightarrow H_0$$

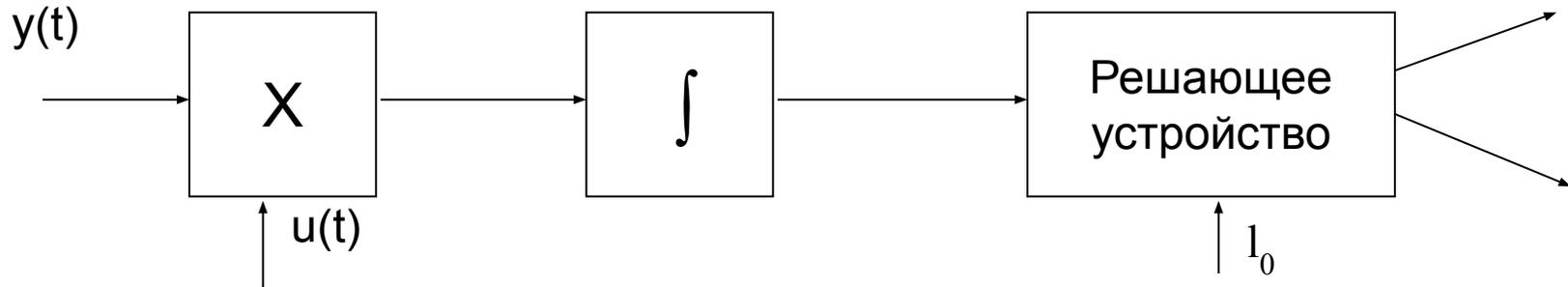
$$w[n^2(t)] = (2\pi\sigma_n^2)^{-N/2} \exp\left\{-\frac{1}{N_0} \int_0^T [y(t) - u(t)]^2 dt\right\} \rightarrow H_1$$

$$\lambda[y(t)] = \exp \left\{ -\frac{1}{N_0} \int_0^T [u^2(t) - 2u(t)y(t)] dt \right\}$$

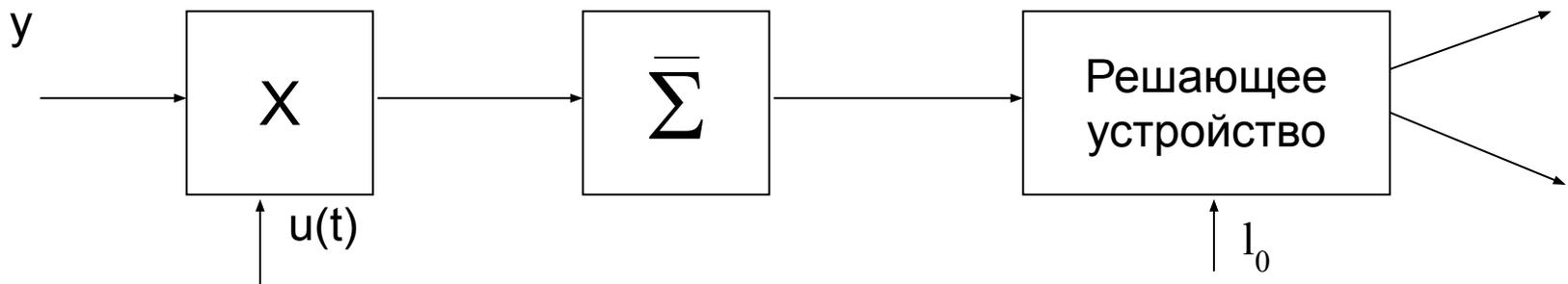
$$\int_0^T u^2(t) dt = \mathfrak{E}; \quad \int_0^T u(t)y(t) dt = R_{uy}(0)$$

$$\lambda[y(t)] = \exp \left\{ -\frac{\mathfrak{E}}{N_0} + 2R_{uy}(0)/N_0 \right\}$$

$$-\frac{\mathfrak{E}}{N_0} + 2R_{uy}(0)/N_0 \underset{>}{<} \ln l_0; \quad R_{uy}(0) \underset{>}{<} N_0/2 \ln l_0 + \mathfrak{E}/2$$



Корреляционная схема обнаружителя с интегратором



Корреляционная схема обнаружителя с сумматором

В оптимальном приёмнике независимо от выбранного критерия должны выполняться следующие операции

а) входное напряжение приёмника  $u_{ex}(t)$  нужно перемножить с опорным напряжением  $u_{оп}(t)$ , представляющим собой копию излученных передатчиком РЛС колебаний;

б) результат перемножения следует интегрировать за время существования сигнала  $T_c$ ;

в) выходное напряжение интегратора необходимо сравнивать с некоторым постоянным напряжением, именуемым пороговым или просто *порогом*  $U_{пор}$ .

$$\int_0^{T_c} u_{ex}(t)u_{оп}(t)dt$$

;

сравнивается с пороговым напряжением  $U_{пор}$ : если  $U_{вых} > U_{пор}$ , то принимается решение о наличии сигнала, и с вероятностью  $D$  это будет соответствовать действительности; при  $U_{вых} < U_{пор}$  считают, что сигнала нет и это соответствует действительному положению с вероятностью  $F$ .

Определим вероятности ошибочных решений ( $F$  и  $\overline{D}$ )  
Дисперсия на выходе коррелятора или согласованного фильтра

$$\sigma_x^2 = \int_0^T u(t) dt \int_0^T R_n(t - \tau) u(t) d\tau \quad R_n(t - \tau) = \frac{N_0}{2} \delta(\tau)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{N_0}{2} \mathcal{E}$$

Следовательно, ФПРВ выходного шума имеет вид

$$w(x_{\text{ш}}) = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0 \mathcal{E}}} \exp\left\{-x_{\text{ш}}^2 / (N_0 \mathcal{E})\right\}$$

$$F = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0 \mathcal{E}}} \int_{l_0}^{\infty} \exp\left\{-x_{\text{ш}}^2 / (N_0 \mathcal{E})\right\} dx = \frac{1 - \Phi(q_1)}{2}$$

где  $q_1 = l'_0 / \sqrt{N_0 \mathcal{E}}$  относительный порог

$$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp\{-\alpha^2\} d\alpha \quad \text{— интеграл вероятности}$$

Для смеси сигнала с шумом

$$M(x_{\text{сш вых}}) = M[u_{\text{вых}}(t) + n_{\text{вых}}(t)] = \int_0^T M[u_{\text{вых}}(t) + n_{\text{вых}}(t) \cdot u_{\text{вых}}(t)] dt$$

$$\int_0^T u^2(t) dt = \Theta, \text{ т.к. } \int_0^T M[n_{\text{вых}}(t) \cdot u_{\text{вых}}(t)] dt = 0$$

$$w(x_{\text{сш}}) = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0 \Theta}} \exp\left\{- (x_{\text{сш}} - \Theta)^2 / (N_0 \Theta)\right\}$$

$$D = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0 \Theta}} \int_{l_0}^{\infty} \exp\left\{- (x_{\text{сш}} - \Theta)^2 / (N_0 \Theta)\right\} dx = \frac{1 + \Phi(q_2/\sqrt{2} - q_1)}{2}$$

где  $q_1 = l_0 / \sqrt{N_0 \Theta}$  относительный порог

$q_2 = \sqrt{2\Theta / N_0}$  отношение сигнал - шум на выходе

Пороговый сигнал определяется как минимальное отношение сигнал-шум, при котором сигнал обнаруживается с заданными вероятностями  $D$  и  $F$ .

## Обнаружение сигнала со случайными параметрами

$Y(t) = \theta u(t, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) + n(t)$  Модель сигнала со случайными параметрами

$\alpha_1, \dots, \alpha_n$  – случайные неизмеряемые параметры сигналов. ОП -  $\lambda(y)$  определим, используя сведение сложной гипотезы к простой, т.е.

$$\lambda(y) = \int \dots \int \lambda(y, \alpha_1, \alpha_2, \dots) \cdot W(\alpha_1, \alpha_2, \dots) d\alpha_1 \dots d\alpha_n$$

$$W(\alpha_1, \alpha_2, \dots) = W(\alpha_1)W(\alpha_2) \dots W(\alpha_n)$$

Сигнал с неизвестной начальной фазой  $u(t) = u(t, \phi) = U(t)\cos(\omega_0 t + \phi)$

Пусть  $W(\phi)$ . – закон распределения фазы.

Если фаза распределена равномерно на промежутке  $[-\pi; \pi]$  или  $[0; 2\pi]$ , то  $W(\phi) = 1/2\pi \dots$

$$\begin{aligned}
 \lambda(y, \varphi) &= \frac{k \cdot \exp\left\{-1/N_0 \int_0^T [y(t) - u(t, \varphi)]^2 dt\right\}}{k \cdot \exp\left\{-1/N_0 \int_0^T y^2(t) dt\right\}} = \\
 &= \exp\left\{-1/N_0 \int_0^T u^2(t, \varphi) dt - 2/N_0 \int_0^T y(t) \cdot u(t, \varphi) dt\right\} = \\
 &= \exp\left\{-\frac{I_1}{N_0} - \frac{2I_2}{N_0}\right\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \int_0^T u^2(t, \varphi) dt = \int_0^T U^2(t) \cdot \cos^2(\omega_0 t + \varphi) dt = \\
 &= 1/2 \int_0^T U^2(t) dt + 1/2 \int_0^T U^2(t) \cdot \cos(2\omega_0 t + 2\varphi) dt \approx \exists
 \end{aligned}$$

$$I_1' = \frac{1}{2} \int_0^T U^2(t) dt \quad I_1'' = \frac{1}{2} \int_0^T U^2(t) \cdot \cos(2\omega_0 t + 2\varphi) dt$$

Т.к.  $I' \gg I''$ , то используя метод «стационарной фазы» получим

$$\begin{aligned} I_2 &= \int_0^T y(t) \cdot u(t, \varphi) dt = \int_0^T y(t) \cdot U(t) \cos(\omega_0 t + \varphi) dt = \\ &= \cos \varphi \int_0^T y(t) \cdot U(t) \cos \omega_0 t dt - \sin \varphi \int_0^T y(t) \cdot U(t) \sin \omega_0 t dt \end{aligned}$$

$$I_2 = x_1 \cos \varphi - y_1 \sin \varphi = z \cos(\varphi + \psi)$$

$$z = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \quad \psi = \arg \frac{y_1}{x_1}$$

$$\lambda(y(t), \varphi) = \exp \left\{ -\dot{Y}/N_0 + 2z \cdot \cos(\varphi + \psi) / N_0 \right\}$$

$$\begin{aligned} \lambda(y(t)) &= \int_{\varphi} \lambda[y(t), \varphi] \cdot \varpi(\varphi) d\varphi = \left| \varpi(\varphi) = 1/2\pi \right| = \\ &= 1/2\pi \int_0^{2\pi} \lambda[y(t), \varphi] d\varphi = 1/2\pi \int_0^{2\pi} \exp \left\{ -\dot{Y}/N_0 + \frac{2z \cdot \cos(\varphi + \psi)}{N_0} \right\} d\varphi = \\ &= \exp(-\dot{Y}/N_0) I_0 \left( \frac{2z}{N_0} \right) \end{aligned}$$

где  $I_0(2z/N_0)$  – функция Бесселя первого рода, нулевого порядка

## Характеристики обнаружения

$Z_{ш}$  – распределение шума,  $Z_{сш}$  – распределение смеси сигнала и шума. Модуль вектора  $\mathbf{Z}$  определяется составляющими  $x_{1ш}$  и  $x_{2ш}$ , которые представляют собой независимые случайные величины, распределенные по закону Релея.

Математическое ожидание составляющих  $x$  и  $y$  равно 0.

Дисперсия шума:

$$\sigma_{ш}^2 = N_0 \mathcal{E}_c / 2$$

$$\omega(z_{ш}^2) = \frac{1}{N_0 \mathcal{E}} e^{-\frac{z_{ш}^2}{N_0 \mathcal{E}}} F = \int_{U_0} \omega(z_{ш}^2) dz_{ш}^2 = \int_{U_0} \frac{1}{N_0 \mathcal{E}} e^{-\frac{z_{ш}^2}{N_0 \mathcal{E}}} dz_{ш}^2 = e^{-l_2}$$

$$l_2 = \frac{U_0}{N_0 \mathcal{E}} \Rightarrow U_0 = l_2 N_0 \mathcal{E}$$

$$\ln F = -l_2 = -\frac{U_0}{N_0 \mathcal{E}} \Rightarrow U_0 = -N_0 \mathcal{E} \ln F = N_0 \mathcal{E} \cdot \ln \frac{1}{F}$$

Модуль  $Z_{\text{сш}}$  будет распределен по закону Релея (Релея – Райса)

$$\begin{aligned} \omega(Z_{\text{сш}}) &= \frac{Z_{\text{сш}}}{\sigma_{\text{сш}}^2} \exp\left\{-\frac{Z_{\text{сш}}^2 + Z_c^2}{2\sigma_c^2}\right\} \cdot I_0\left(\frac{Z_{\text{сш}} Z_c}{\sigma^2}\right) = \\ &= \frac{2Z_{\text{сш}}}{N_0 \mathcal{E}} \exp\left\{-\frac{Z_{\text{сш}}^2 + \mathcal{E}^2}{N_0 \mathcal{E}^2}\right\} \cdot I_0\left(\frac{2Z_{\text{сш}}}{N_0}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D &= \int_{U_0} \omega(Z_{\text{сш}}^2) dz_{\text{сш}}^2 = \int_{\sqrt{U_0}} \omega(Z_{\text{сш}}) dZ_{\text{сш}} = \\
&= \int_{\sqrt{N_0 \mathcal{E} \cdot \ln(1/F)}} \frac{2Z_{\text{сш}}}{N_0 \mathcal{E}} \cdot \exp\left\{-\frac{z_{\text{сш}}^2 + \mathcal{E}^2}{N_0 \mathcal{E}}\right\} \cdot I_0\left(\frac{2Z_{\text{сш}}}{N_0}\right) dZ_{\text{сш}} = \\
&= \int_{\sqrt{N_0 \mathcal{E} \cdot \ln(1/F)}} X_2 e^{-\frac{X_2^2 + q_2^2}{2}} I_0(q_2 x_2) dx_2
\end{aligned}$$

$$q_2 = \frac{Z_c}{\sigma} = \sqrt{\frac{2E}{N_0}}$$

Характеристика обнаружения  $D(q_2)$  по сравнению со случаем известной начальной фазы смещается вправо.

Это связано с тем, что при неизвестной начальной фазе для обеспечения эквивалентного значения вероятности правильного обнаружения (по сравнению со случаем известных параметров сигнала) необходимо более высокое отношение с-ш.

## Обнаружение сигнала со случайной амплитудой и случайной начальной фазой

$U(t) = AU(t)\cos(\omega_0 t + \phi)$ ,  $\phi \rightarrow 0 \dots 2\pi$ ,  $\omega(\phi) = 1/2\pi$ .

$U(t)$  в отличие от случайного сигнала с известными параметрами является статистически усредненной по большому числу реализаций.

$A$  – случайная величина, распределенная по закону Релея.

$$\lambda(y) = \frac{N_0}{N_0 + \mathcal{E}_{\text{cp}}} \exp\left\{-\frac{Z^2}{N_0(N_0 + \mathcal{E}_{\text{cp}})}\right\}$$

Структура обнаружителя аналогична варианту со случайной начальной фазой,  
Отличие в величине порога обнаружения:

$$\frac{U_0}{N_0 \mathcal{E}_{cp}} \quad \text{Дисперсия смеси сигнала с шумом}$$

$$\sigma_{\text{сш}}^2 = \sigma_c^2 + \sigma_{\text{ш}}^2 = \sigma_{\text{ш}}^2 (1 + \sigma_c^2 / \sigma_{\text{ш}}^2) = \sigma_{\text{ш}}^2 (1 + q^2) \quad \text{Условие равенства энергий}$$

$$\sigma_c^2 = \frac{\mathcal{E}_{cp}}{2} \quad \sigma_{\text{ш}}^2 = \frac{N_0}{2} \quad q^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_{\text{ш}}^2} = \frac{\mathcal{E}_{cp} / 2}{N_0 / 2} = \mathcal{E}_{cp} / N_0$$

$$w(Z_{\text{сш}}^2) = \frac{1}{2\sigma_{\text{сш}}^2} \exp\left\{-\frac{Z_{\text{сш}}^2}{2\sigma_{\text{сш}}^2}\right\}$$

$$D = \int_{U_0}^{\infty} w(Z_{\text{сш}}^2) dZ_{\text{сш}}^2 = \exp\left\{-\frac{U_0}{2\sigma_{\text{сш}}^2}\right\} = \exp\left\{-\frac{U_0}{N_0 \mathcal{E}_{cp} (1 + q_2)}\right\}$$

$$F = \exp\left\{-\frac{U_0}{N_0 \dot{Y}_{\text{н}\delta}}\right\}$$

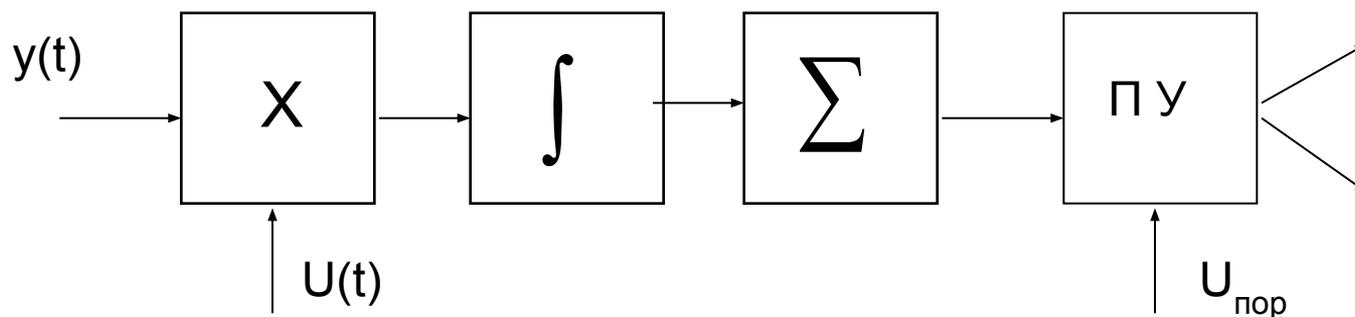
$$D = F^{\frac{1}{1+q_2}}$$

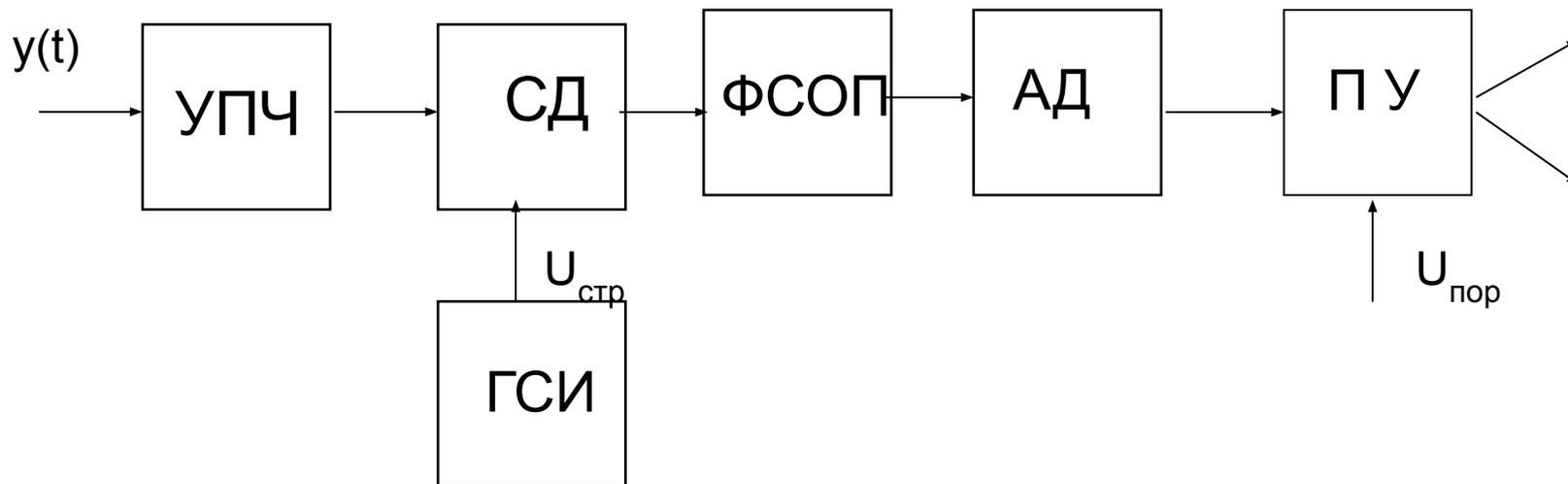
## Обнаружение пачки когерентных радиоимпульсов

Условие: шум некоррелирован, а сигнал когерентная пачка импульсов

$$W(y) = \prod_{i=1}^N W_i(y) \quad \Lambda(y) = \prod_{i=1}^N \Lambda_i(y) \quad \ln[\Lambda(y)] = \sum_{i=1}^N \Lambda_i(y)$$

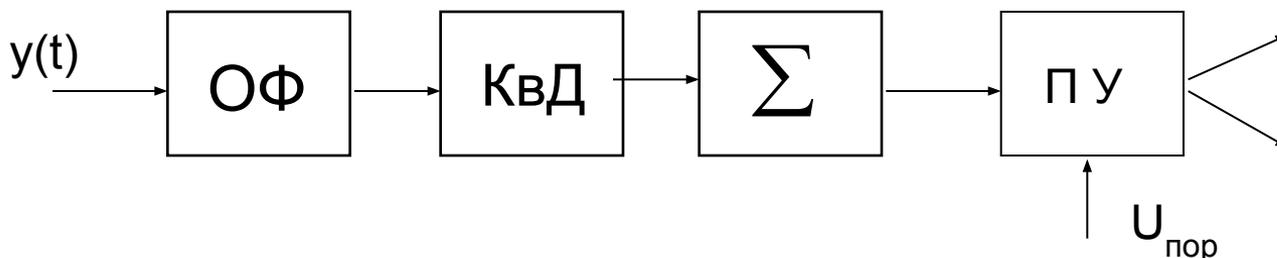
$$\ln[\Lambda(y)] = -\frac{\sum_{i=1}^N E_i}{N_0} + \frac{2 \sum_{i=1}^N z_i}{N_0}$$





Структура обнаружителя пачки с неизвестной начальной фазой имеет 2 канала. А обнаружитель сигнала со случайной начальной фазой и флуктуирующей амплитудой отличается аналогично как и для одиночного импульса.

### Обнаружение некогерентных радиоимпульсов



## Оптимальная фильтрация

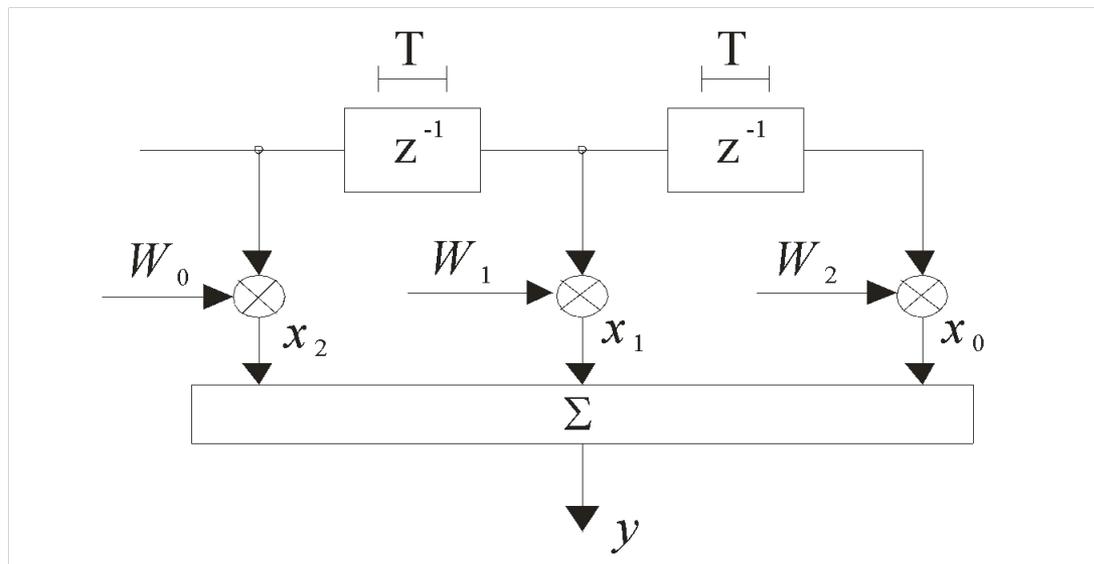
Критерии построения оптимального фильтра:

Минимума среднеквадратичной ошибки фильтрации (СКО).

Максимум отношения с/ш.

Максимум апостериорной вероятности.

Минимума дисперсии шума.



$$\mathbf{W}^T \mathbf{X}$$

Сигнал на выходе  
фильтра

$$y = \mathbf{W}^T \mathbf{x}$$

Мощность (дисперсия) на выходе фильтра

$$\bar{y}^2 = \overline{\mathbf{W}^T \mathbf{x} \mathbf{x}^T \mathbf{W}} = \mathbf{W}^T \overline{\mathbf{x} \mathbf{x}^T} \mathbf{W} = \mathbf{W}^T \mathbf{R}_x \mathbf{W}$$

$$\bar{y}^2 = \sigma_{x_{\text{ВЫХ}}}^2 = D_{x_{\text{ВЫХ}}}$$

$$\sigma_{S_{\text{ВЫХ}}}^2 = \mathbf{W}^T \mathbf{R}_s \mathbf{W}$$

$$\mathbf{R}_s \rightarrow \mathbf{R}_n = \sigma_{\text{Ш}_{\text{ВХ}}}^2 \cdot \mathbf{I}$$

# УРАВНЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ

## Дальность действия РЛС в свободном пространстве

*Дальностью действия* радиолокационной станции называется наибольшее расстояние между РЛС и целью, на котором ее обнаружение производится с заданными вероятностями правильного обнаружения и ложной тревоги.

Дальность действия зависит от различных факторов: технических параметров станции, характеристик цели, условий распространения радиоволн, наличия и уровня различного рода помех и ряда других факторов, большинство из которых изменяется во времени случайным образом. График иллюстрирует характер зависимости относительного изменения дальности обнаружения от значения вероятности правильного обнаружения  $D$  при заданной ложной тревоге  $F$ .

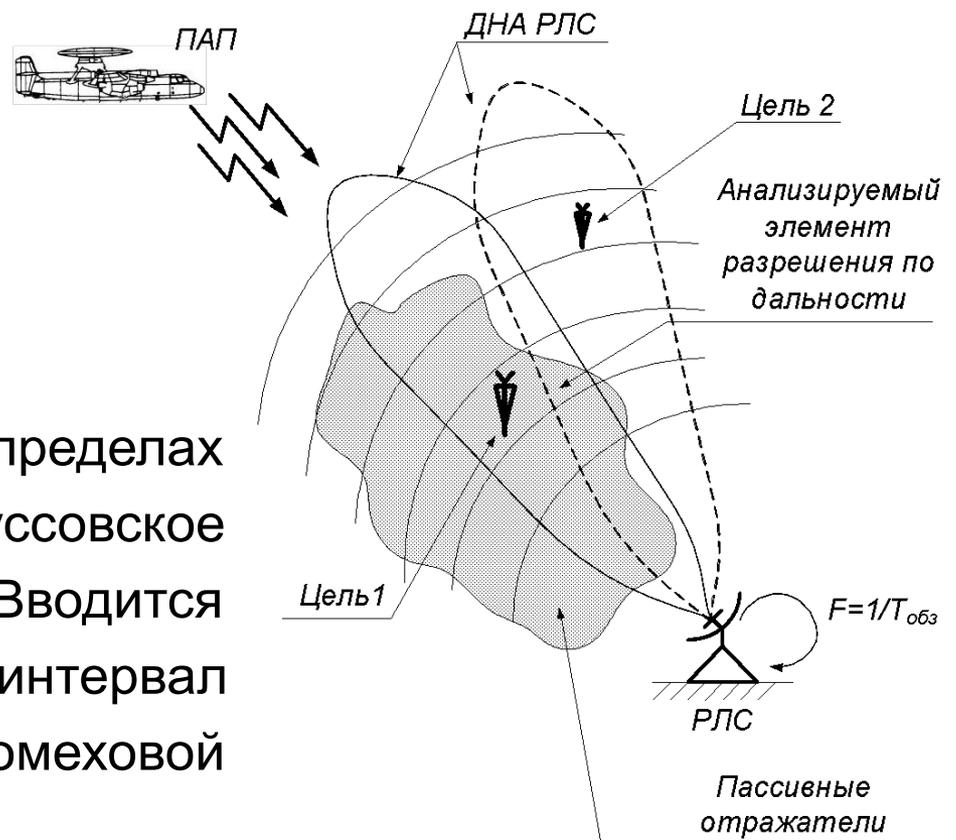
Вначале рассмотрим дальность действия РЛС без учёта влияния земной поверхности и атмосферы на распространение радиоволн, т.е. РЛС и цель находятся в «свободном» пространстве.

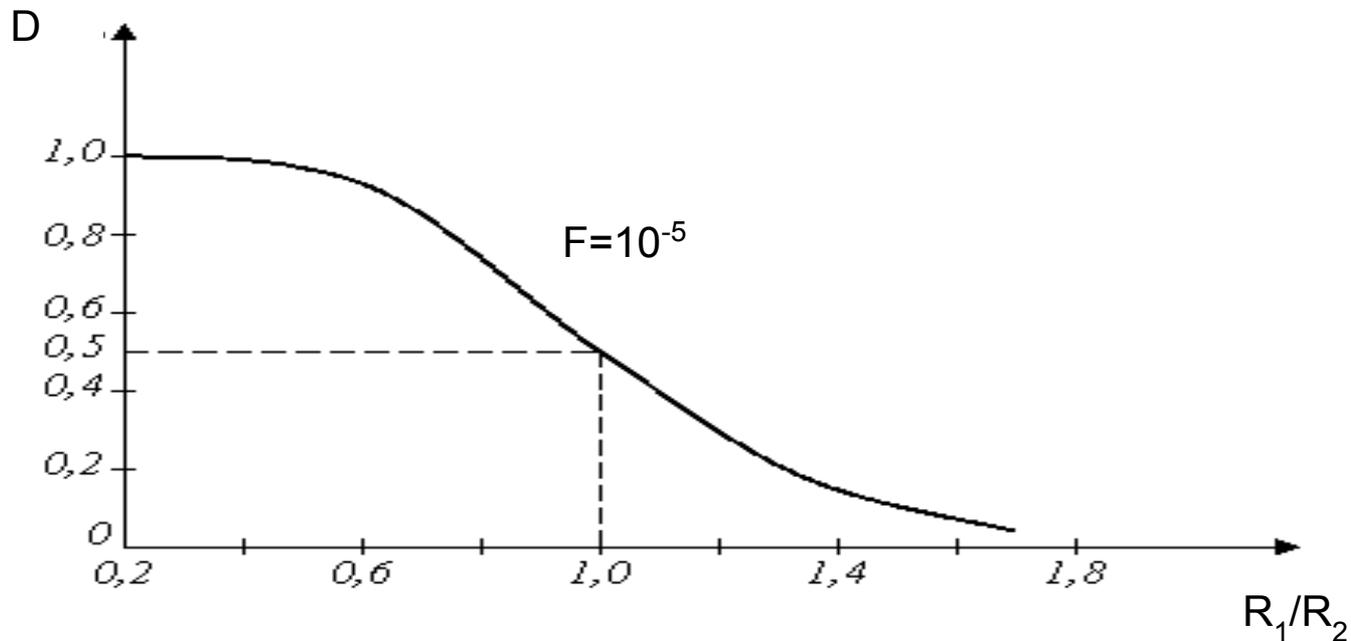
□ В условиях нестационарной помеховой обстановки зону обзора РТС (в частности, РЛС) удобно представить в виде ячеистой модели:  $n_0 = n_R n_\varepsilon n_\alpha$ .

□ Сигнал, помеха и шум в пределах колец дальности имеют гауссовское распределение вероятности. Вводится временной интервал квазистационарности помеховой обстановки:  $T_3 < \Delta T_{\text{КВ}} < T_{\text{обз}}$ .

□ Тип РЛС: когерентно-импульсная.

□ Отраженный сигнал – квазидетерминированный с нефлуктуирующей амплитудой:  $s(t) = A(t - \tau) \cos[2\pi(f_0 + F_\partial)(t - \tau) + \phi_0]$ .





На входе приемного устройства активной РЛС мощность сигнала

$$P_{\text{пор}} = \frac{P_p G_1 G_2 \lambda^2 S_c}{(4\pi)^3 R_{\text{max}}^4} \quad \frac{P_c}{P_{\text{ш}} k_r} > q_c k_p, \quad G_{1,2} = 4\pi (S_a / \lambda)$$

$S_a$  – активная площадь антенны

$$R_{\max 0} = \sqrt[4]{\frac{P_p G_1 G_2 \lambda^2 S_c}{(4\pi)^3 P_{\text{пор}}}} \quad R_{\max 0} = \sqrt[4]{\frac{P_p S_{a1} S_{a2} S_c}{4\pi \lambda^2 P_{\text{пор}}}}$$

Для РЛС с активным ответом

$$R_{\max 0} = \sqrt{\frac{P_p G_1 G_2 \lambda^2 S_c}{(4\pi)^3 P_{\text{пор}}}} \quad R_{\max 0} = \sqrt{\frac{P_p S_{a1} S_{a2} S_c}{4\pi \lambda^2 P_{\text{пор}}}}$$

Дальность действия запросчика и ответчика должны быть эквивалентными.

При прямолинейном распространении радиоволн дальность действия, кроме того, Ограничивается зоной прямой видимости:

$$R_{\text{ПВ}} = 4,12(\sqrt{H} + \sqrt{h}) \quad H = H_r + \Delta H$$

$$H_r = h + R \sin \beta \quad \Delta H = R^2 / (2R_3)$$

## Дальность действия РЛС в условиях пассивных помех пространстве

$$P_c = K S_c,$$

$$P_n = K S_n,$$

где  $S_c$ ,  $S_n$  – эффективные площади рассеяния цели и помехи,

$$K = \frac{P_p G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \quad \frac{P_c}{(P_n + P_{ui}) k_r} > q_c k_p,$$

$$q_c = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\ln F}{\ln D} - 1 \right),$$

$$q_c = \left( \frac{\ln F}{\ln D} - 1 \right) k_r k_p$$

$$P_0 = \frac{k_c P_c / P_{ui}}{k_n P_n / P_{ui} + 1}$$

где  $k_c$ ,  $k_n$  – соответственно коэффициенты передачи по мощности сигнала и помехи.

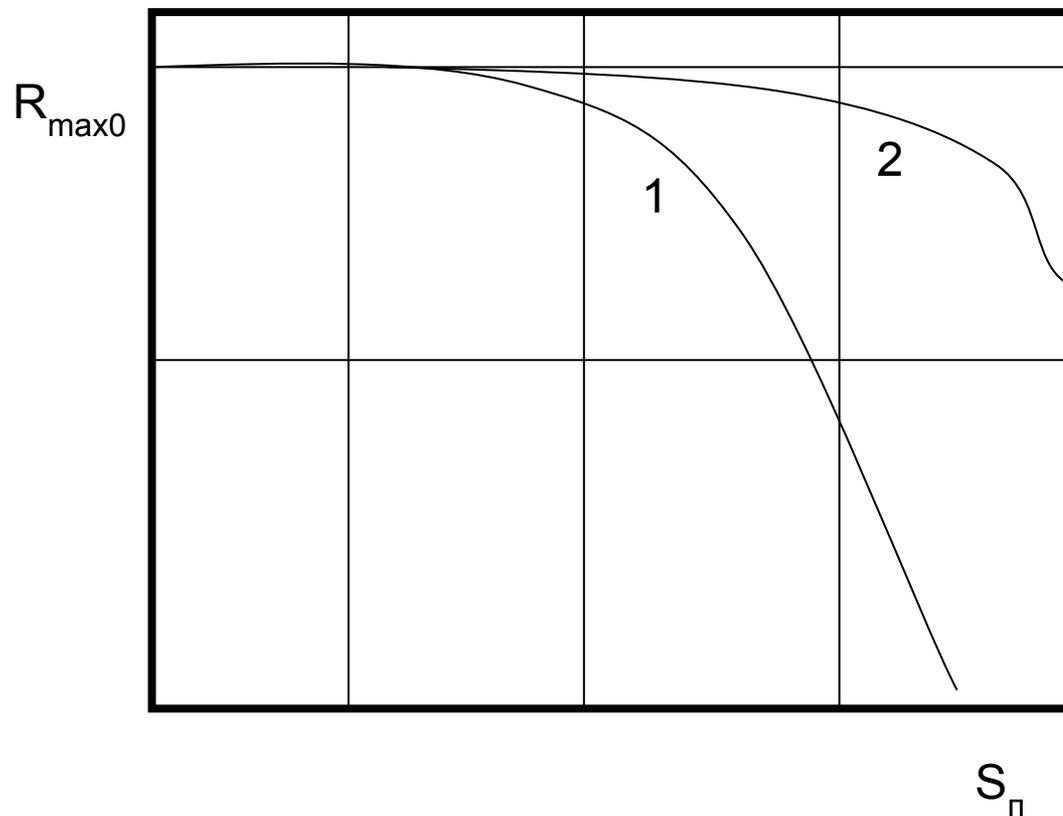
$$\mu = \frac{P_c P_0}{P_n + P_{iu}}$$

$k_c = N$ ;  $k_n = P_{iu}/P_n$ , где  $N$  – число импульсов в пачке.

$$P_p = \frac{(4\pi)^3 R^4 P_{iu}}{G^2 \lambda^2 \left( \frac{S_c k_c}{Q} - S_n k_n \right)}$$

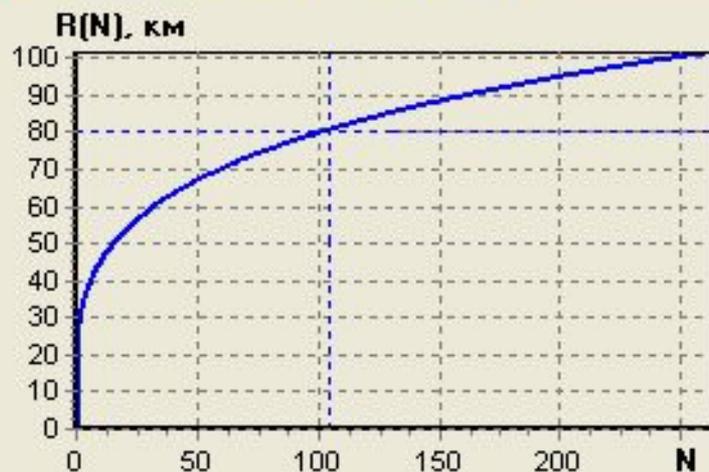
$$D = F \frac{1}{1 + q_c \mu}$$

Соотношения позволяют отразить зависимость энергетических и вероятностных параметров РЛС, адекватно отражающего взаимозависимость параметров РЛС.

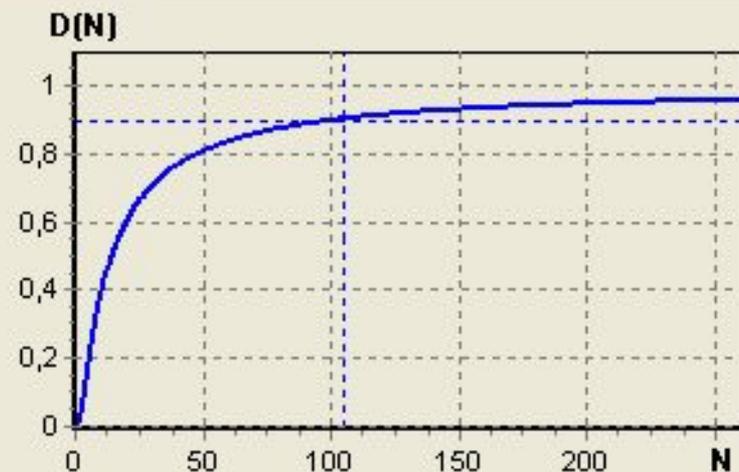


1 – при действии пассивных помех;  
2- при применении методов режекции пассивных помех (РФ).

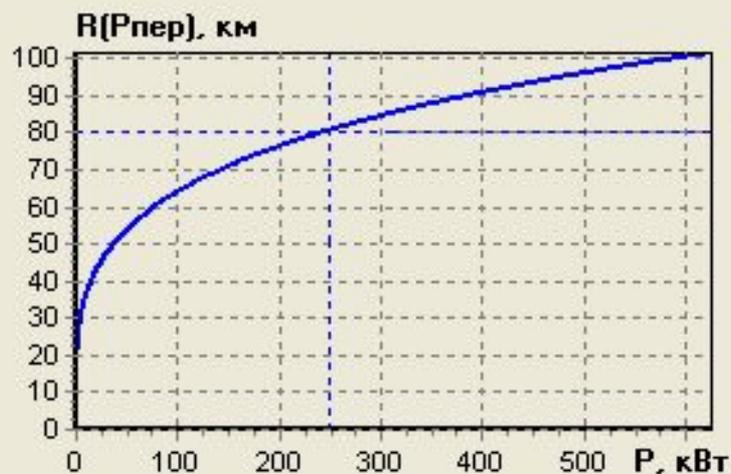
## Зависимости основных параметров



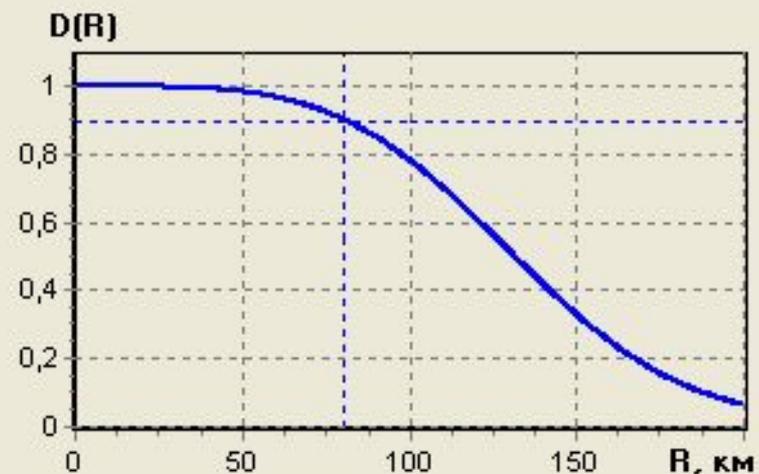
Зависимость максимальной энергетической дальности от числа импульсов в пачке



Зависимость вероятности правильного обнаружения от числа импульсов в пачке



Зависимость максимальной энергетической дальности от мощности передатчика



Зависимость вероятности правильного обнаружения от энергетической дальности

OK

# Классификация активных помех



## Дальность действия РЛС в условиях активных помех

Типы активных помех: заградительные, прицельные (импульсные или непрерывные; по частоте и направлению), маскирующие, уводящие, мерцательные, имитирующие, ответные (однократные или многократные).

Рассмотрим заградительные и прицельные шумовые помехи.

Заградительные имеют  $\Delta F_{\text{п}} \gg \Delta f_{\text{пр}}$ . Отношение  $\mathcal{E}_{\text{п}} / \Delta F_{\text{п}}$  – спектральная плотность помех.

Энергетически выгоднее применение прицельных помех.

$\Delta F_{\text{п}} \approx \Delta f_{\text{пр}}$ . Отсюда следует, что параметр  $\mathcal{E}_{\text{п}} / \Delta F_{\text{п}}$  много меньше, чем для заградительных помех и следовательно