

Рупорные антенны

Лекция 12

Это апертурная антенна, у которой в соответствии с теоремой эквивалентности выделяется плоская поверхность раскрыва S , формирующая остронаправленное излучение.

$$D = \frac{4\pi S}{\lambda^2} v$$

$$v = KИП_{\Sigma} \leq 1$$

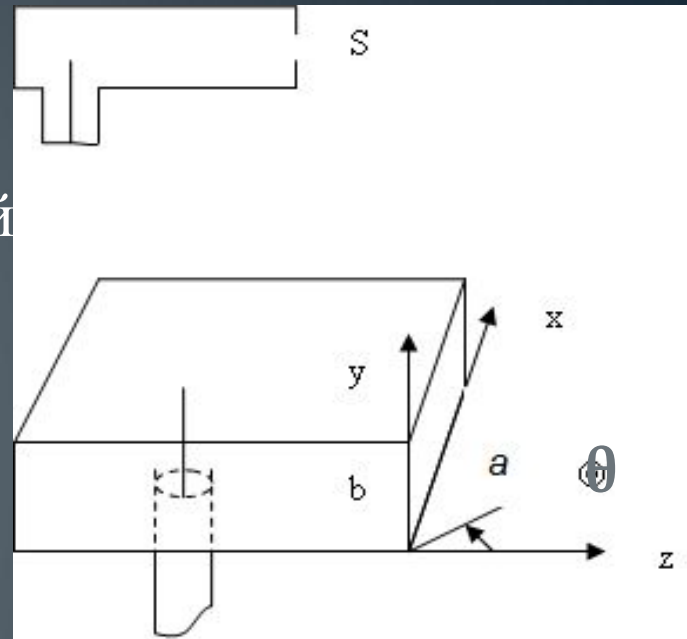
$$2\theta_{0,5p} = \frac{51^{\circ} \lambda}{L} KРЛ_{\Sigma}$$

ширина луча апертурных антенн в плоскости перпендикулярной поверхности раскрыва,

где $KРЛ_{\Sigma} \geq 1$ - коэффициент расширения луча.

Рассмотрим излучения из открытого конца прямоугольного волновода возбуждаемого волной H_{10} .

Тангенсальные компоненты поля в раскрыве волновода представляют собой сумму падающей и отраженной волн основного типа колебаний.



$$\left. \begin{aligned} E_y = -\eta_x^M &= (1 + \Gamma) \sin \frac{\pi x}{a}, \\ H_x = -\eta_y^E &= (1 - \Gamma) \frac{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}}{Z_0} \sin \left(\frac{\pi x}{a} \right), \end{aligned} \right\} (1)$$

Γ - коэффициент отражения от открытого конца волновода

Раскрыв волновода-
соединение 2 линий передач с

$$Z = Z_0 \frac{\lambda_B}{\lambda_0} = \frac{Z_0}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}}$$

$$\Gamma \approx \frac{Z_0 - Z}{Z_0 + Z} = \frac{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2} - 1}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2} + 1} \quad (2)$$

ДН распределения эквивалентных токов в плоскости E (пл. YOZ)

$$f_E(\theta) = \left[1 + \frac{1 - \Gamma}{1 + \Gamma} \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2} \cos \theta \right] \frac{\sin \left(\frac{Kb}{2} \sin \theta \right)}{\frac{Kb}{2} \sin \theta} \quad (3)$$

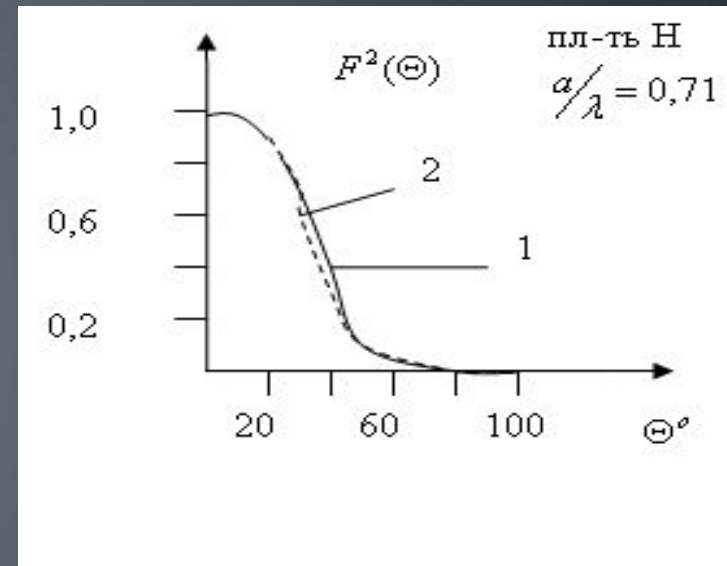
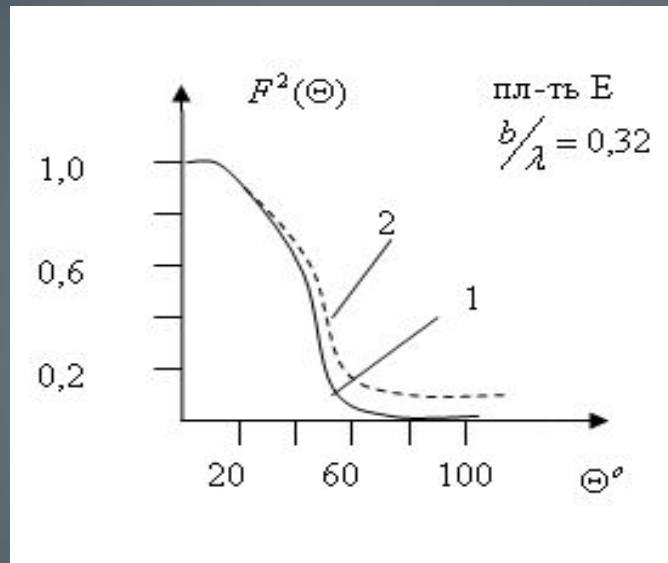
ДН распределения эквивалентных токов в плоскости H (пл. XOZ)

$$f_H(\theta) = \left[\cos \theta + \frac{1 - \Gamma}{1 + \Gamma} \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2} \right] \frac{\cos \left(\frac{Ka}{2} \sin \theta \right)}{\left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2 - \sin^2 \theta} \quad (4)$$

собственная ДН $f_0(\theta)$
элементарного излучателя
с плоской поверхностью
раскрыва

ДН системы $f_{\text{сист}}(\theta)$ линейной
синфазной антенны
с равномерным (3)
косинусоидальным (4)
распределениями возбуждения

ДН по мощности в Е и Н-плоскостях.



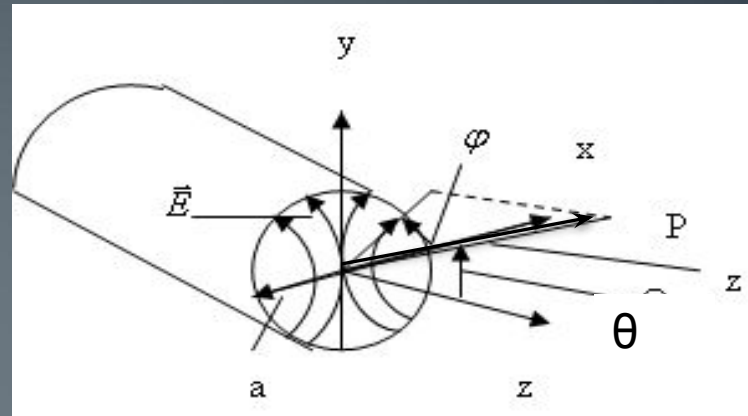
$$1 - \Gamma = 0$$

$$2 - \Gamma \neq 0$$

$$|\Gamma| \approx 0,2 \dots 0,3$$

Излучение из открытого конца круглого волновода.

Поле волны H_{11}



Рассмотрим отдельно составляющие вектора \vec{E} :
 E_y (поле основной поляризации),
 E_x (поле поперечной поляризации, «кросс-поляризации»).
Представим раскрыв как две одновременно существующие системы одинаково ориентированных излучателей Гюйгенса ($\Gamma=0$), пренебрегаем отраженной волной и волнами высших типов.

Полный вектор поля в т.н. P :

$$\vec{E}(P) = \vec{E}_{ox}(P) f_{сист} x(\theta, \varphi) + \vec{E}_{oy}(P) f_{сист} y(\theta, \varphi), \quad (5)$$

ДН в главных плоскостях:

$$F_E(\theta) = \frac{1 + \cos \theta}{2} \frac{2J_1(\psi)}{\psi}, \quad F_H(\theta) = \frac{1 + \cos \theta}{2} \frac{2J'_1(\psi)}{1 - \left(\frac{\psi}{\mu_{11}}\right)^2}$$

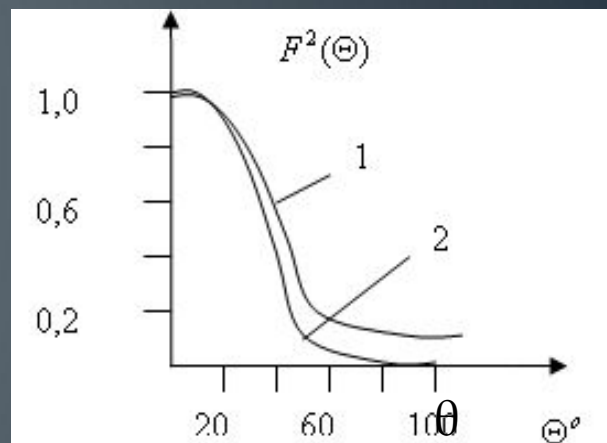
$J_1(\psi)$ функция Бесселя первого рода I порядка

$J'_1(\psi)$ производная функции Бесселя

$d = 2a$ - диаметр раскрыва

$\mu_{11} = 1,84$ - первый корень производной функции Бесселя

$$\psi = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta$$



1 - Н -пл-ть
2 - Е -пл-ть
 $d=0,75\lambda$

$$2\theta_{0,5p}^E = 70^\circ \quad 2\theta_{0,1p}^E = 140^\circ$$

$$2\theta_{0,5p}^H = 85^\circ \quad 2\theta_{0,1p}^H = 160^\circ$$

Выводы при сравнении результатов с точным решением:

1. приближенное решение хорошо согласуется со строгим при небольших θ ;
2. точность приближенного решения увеличивается при увеличении размеров раскрыва.

КНД синфазного раскрыва (прямоугольный раскрыв)

$$D = \frac{4\pi \left[\int_S E_p(x, y) ds \right]^2}{\lambda^2 \int_S E_p^2(x, y) ds} = \frac{4\pi \left[\int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} E_{mp} \cos \frac{\pi x}{a} dx dy \right]^2}{\lambda^2 \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} E_{mp}^2 \cos^2 \frac{\pi x}{a} dx dy} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{8}{\pi^2} ab = \frac{4\pi}{\lambda^2} 0,81 ab \quad (8)$$

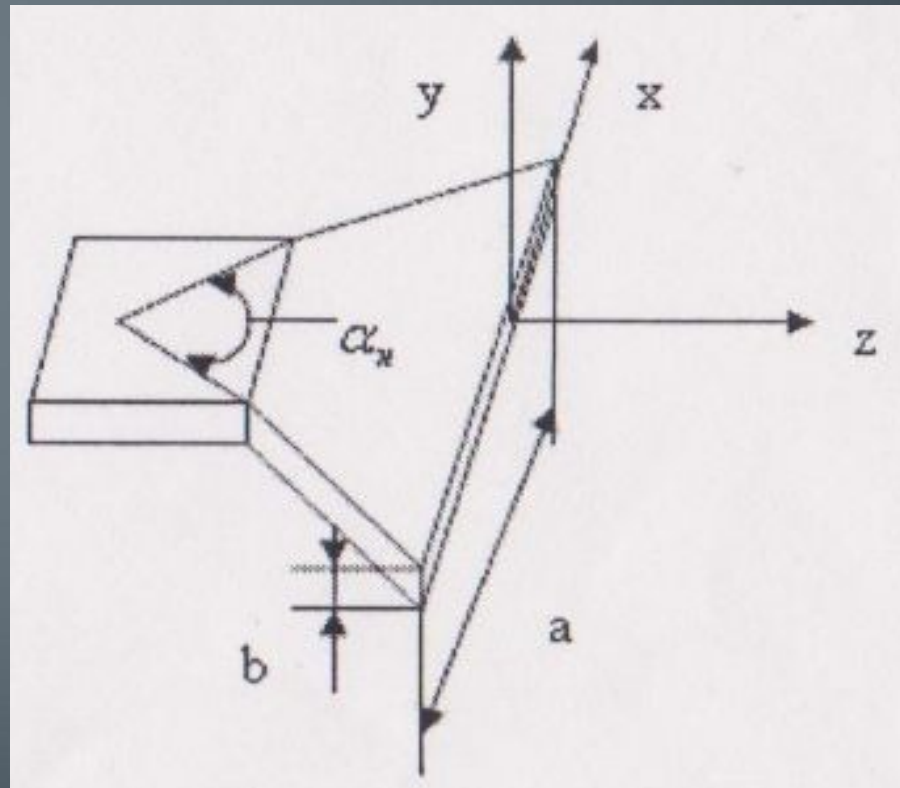
Здесь КИП=0,81

Используя аналогичные вычисления для круглого раскрыва, получаем КИП=0,84

Рупорные антенны

Для увеличения направленности и уменьшения отражения от открытого конца волновода.

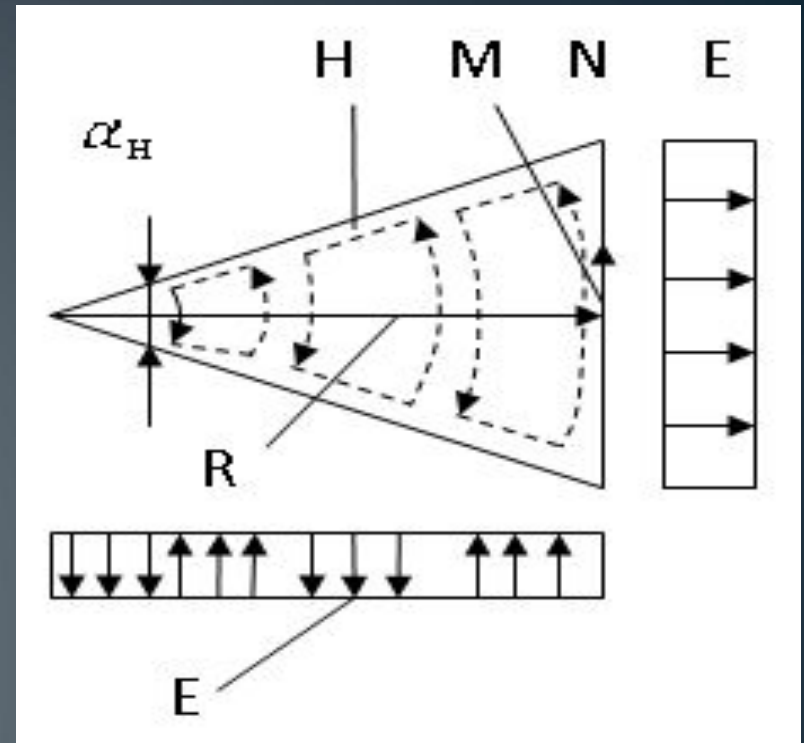
→
Н-секториальный рупор, расширяющийся в плоскости вектора Н с постепенным увеличением a .



Возникает волна подобная волне H_{10} в прямоугольном волноводе.

Картина поля

MN -разница между фронтом сферической волны и плоским фронтом волны в раскрые.



Фронт волны образует цилиндрическую поверхность:

V_{Φ} зависит от a/λ .

На большом расстоянии от горловины рупора поле принимает

характер поперечной волны: $V_{\Phi} = c / \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}$

Если угол раствора α мал- фронт волны близок к плоскому, главный лепесток DH сужается (DH находим по формуле 4)

Если α не мал- фронт волны отличается от плоского, DH расширяется.

Фаза поля на краю раскрыва по отношению к её значению в середине определяется по формуле

$$\varphi_2 = -\frac{2\pi}{\lambda} MN \approx -\frac{\pi a^2}{4\lambda R} = -\frac{\pi}{2} \frac{a}{\lambda} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (9)$$

R- длина рупора

КНД при фиксированном R зависит от размера a/λ . При $\uparrow a/\lambda$, то $2\theta_{0,5p} \downarrow$, но $\uparrow \varphi_2$, ДН расширяется.

При 2 факторах и $(a/\lambda)_{\text{опт}}$ имеем max D.

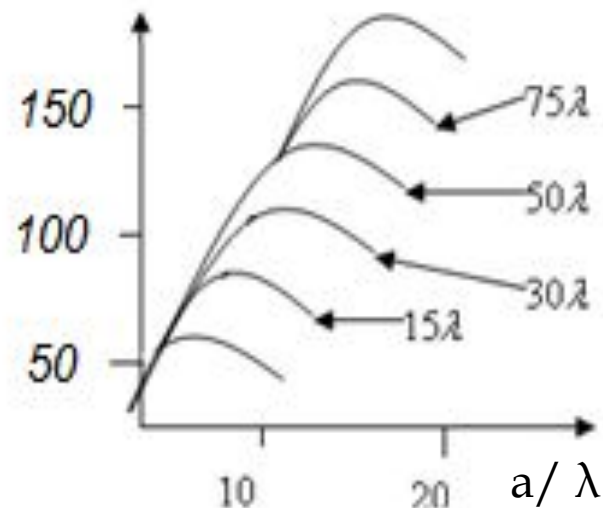
Оптимальный Н-секториальный рупор

для любого R \rightarrow max КНД получается

при $|\varphi_{2\text{опт}}| = 135^\circ$

$D = \lambda/v$

$R = 100\lambda$



E- секториальный рупор

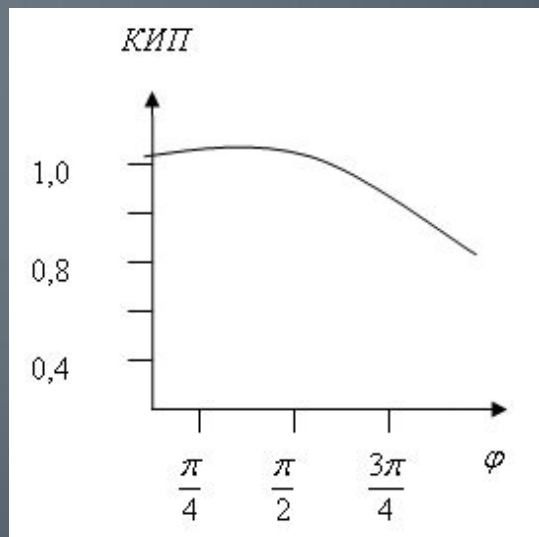
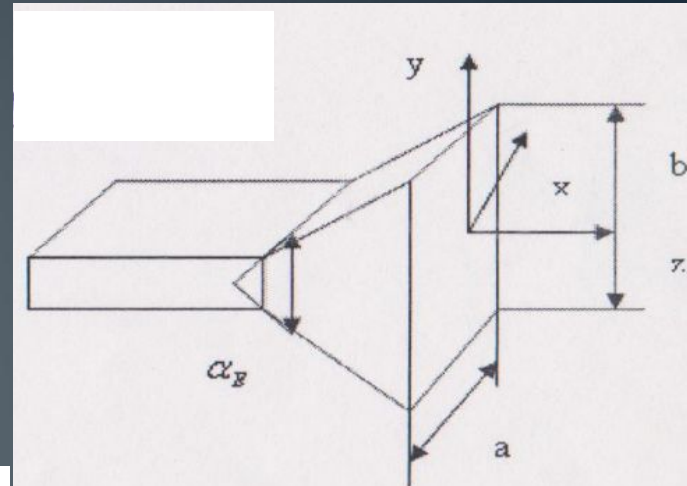
$2\theta_{0,5p}^H$ аналогична открытому концу волновода

$2\theta_{0,5p}^E \downarrow$ при $\uparrow b/\lambda$.

АР равномерное, $|\varphi_2| \approx \frac{\pi b^2}{4\lambda R} = -90^\circ$

на краю раскрытия.

Если $|\varphi_2| < 90^\circ$ ДН рассчитывается по формуле (3).



расчет снижения КДП

Пирамидальный рупор

Сужает ДН в плоскости векторов \vec{E} и \vec{H} .

Фазовые искажения:

$$\varphi_2 = -\frac{2\pi}{\lambda} MN \approx -\frac{\pi v^2}{4\lambda R} = -\frac{\pi v}{2\lambda} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (9a)$$

Если $|\varphi_2| < 90^\circ$ ДН рассчитывается по формуле (3),(4) при $\Gamma=0$.

Для уменьшения длины рупора допускают квадрат искажения

$|\varphi_2| \leq 135^\circ$ в Н плоскости

$|\varphi_2| \leq 90^\circ$ в Е плоскости – **оптимальный рупор**.

$$\text{КИП}_\Sigma = \text{КИПа} * (\text{КИП}_\varphi)^2 = 0,81 * (0,8)^2 = 0,52$$

КИПа учитывает неравномерность АР в плоскости Н,

КИП φ - фазовые искажения в плоскости Е и Н.

$$\begin{aligned} R_{\text{Hopt}} &= \frac{a^2}{3\lambda} \\ R_{\text{Eopt}} &= \frac{b^2}{2\lambda} \end{aligned} \quad (10)$$

Достоинства:

- Простота конструкции.
- Хорошие диапазонные свойства ($a < \lambda < 2a$).
- Используются в измерительных устройствах как эталонные антенны с известной величиной КНД и для облучения линзовых и зеркальных антенн, в импедансных антеннах.

Способы создания остронаправленных рупорных антенн

Недостаток этих антенн - наличие фазовых искажений в раскрыве.

Учитывая (10) имеем:

$$R_H > R_{НОПТ} = \frac{a^2}{3\lambda}$$

учитывая для N рупора

$$a > 67 \frac{\lambda}{2\theta_{0,5P}^H} \left(2\theta_{0,5P}^{H^0} = 67 \frac{\lambda}{a} \right) \quad R_H > 1500 \frac{\lambda}{\left(2\theta_{0,5P}^{H^0} \right)^2}$$

Следовательно формирование острых ДН с помощью рупорных антенн затруднительно.

Используют:

- **Многорупорные антенны.**

Апертура L (размер раскрыва) определяется n рупорами с апертурой L/a и длиной рупора R/n^2

- **Фазовыравнивающие устройства.**

Длина геомерического пути b или электр. a от вершины рупора до любой точки раскрыва должно быть одинакова.

