Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн

ОСНОВЫ ТЕОРИИ АНТЕНН

ЛЕКЦИЯ № 5

ИЗЛУЧЕНИЕ ВОЗБУЖДЁННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

10.1. Излучение возбужденных поверхностей

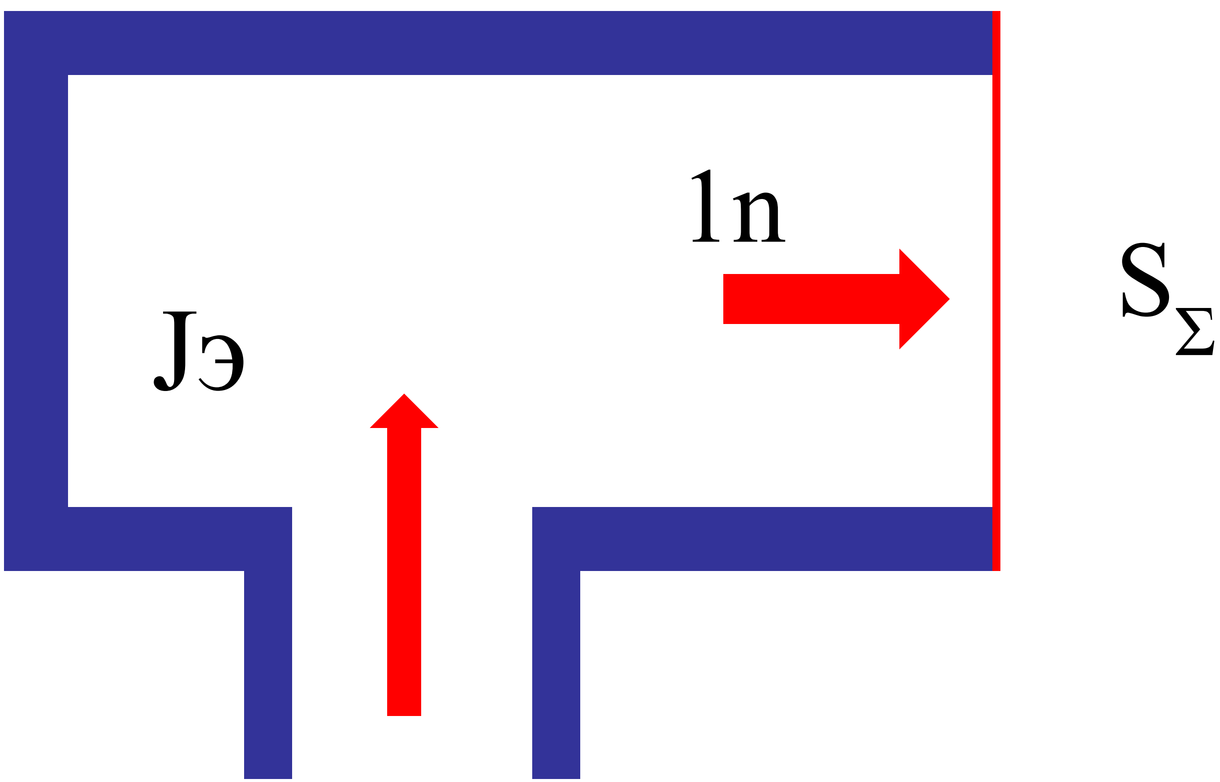

Рис.10.1.

1) Излучение открытого конца волновода.

2) Излучение рупорных антенн.

3) Излучение линзовых антенн.

4) Излучение зеркальных антенн.

Плотность поверхностного электрического тока:

$$J^{Э}=[1n,H]$$

Плотность поверхностного магнитного тока:

$$J^{M}=-[1n,E]$$

Поле, создаваемое элементом Гюйгенса в дальней зоне (часть плоского волнового фронта):

$$dE = i\frac{E_y\,dxdy}{2r_O\lambda}\left(1+Cos\Theta\right)e^{-ikr} \qquad (10.1)$$

Поле на возбуждённой поверхности зададим:

$$E = E_{SO}f(x,y)e^{i\psi(x,y)} = E_S e^{i\psi(x,y)} \qquad (10.2)$$

E_S - комплексная амплитуда возбуждающего поля; E_{SO} - амплитуда возбуждающего поля в центре раскрыва; f(x,y) - функция, характеризующая зависимость амплитуды поля от координат (амплитудное распределение); ψ(x,y) - фазовое распределение.

Амплитудное распределение:

$$f(x,y)=f(x)f(y)$$

Поле, создаваемое элементом Гюйгенса, расположенного в произвольной точке поверхности:

$$dE = i\frac{E_{SO}}{2r\lambda} f(x) f(y) e^{i\Psi(x,y)} *$$

$$* \, (1 + Cos\Theta) dxdy e^{ik\delta r} e^{-ikr}$$

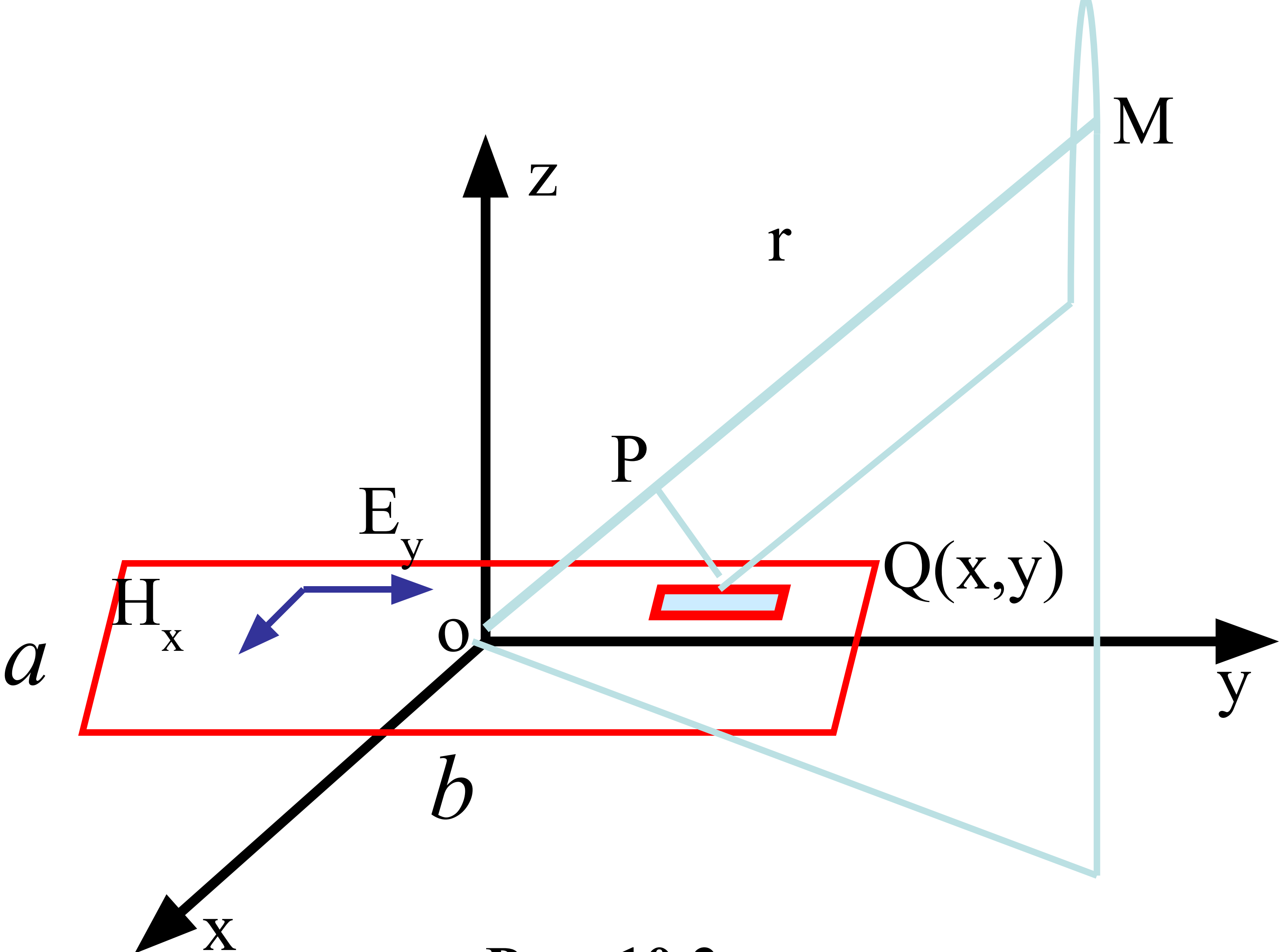

Рис. 10.2

$$1_{RO} = 1_{XO}\,Cos\varphi Sin\Theta + 1_{YO}\,Sin\varphi Sin\Theta + 1_{ZO}\,Cos\Theta$$

Расстояние из начала координат в точку излучения:

$$OQ = 1_{XO}x + 1_{Yo}y$$

Разность хода:

$$\delta r = xCos\varphi Sin\Theta + ySin\varphi Sin\Theta \quad (10.4)$$

Тогда:

$$dE = i\frac{E_{SO}}{2r\lambda} f(x) f(y) e^{i\Psi(x,y)} *$$

$$* (1 + Cos\Theta) dxdy *$$

$$* e^{ik(xCos\phi Sin\Theta + ySin\phi Sin\Theta)} e^{-ikr}$$

(10.5)

Суммарное поле, создаваемое поверхностью:

$$E = i\frac{E_{SO}}{2r\lambda}(1+Cos\Theta)e^{-ikr}\int_{-a/2}^{a/2}\int_{-b/2}^{b/2} f(x)f(y)e^{i\Psi(x,y)} *$$

$$* \quad e^{ik(xCos\phi Sin\Theta + ySin\phi Sin\Theta)}dxdy$$

(10.6)

Для вычисления интеграла рассмотрим частный случай:

Синфазное равноамплитудное возбуждение поверхности (т. е. идеальная плоская антенна):

$$f(x) = f(y) = 1,\ \psi(x,y) = 0$$

$$E = i \cdot \frac{E_{S0}}{2 \cdot r \cdot \lambda} \cdot (1 + \mathrm{Cos}(\theta)) \cdot e^{-i \cdot k \cdot r} \cdot \blacksquare$$

$$\blacksquare \cdot \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} e^{-i \cdot k \cdot r \left(x \cdot \mathrm{Cos}(\phi) \cdot \mathrm{Cos}(\theta) + y \cdot \mathrm{Sin}(\phi) \cdot \mathrm{Sin}(\theta) \right)} \, dx \, dy$$

$$E = i \frac{E_{SO} ab}{2 r \lambda} (1 + Cos\Theta) *$$

$$* \frac{Sin\left[\frac{ka}{2} Sin\Theta Cos\phi\right] Sin\left[\frac{kb}{2} Sin\Theta Sin\phi\right]}{\left[\frac{ka}{2} Sin\Theta Cos\phi\right]\left[\frac{kb}{2} Sin\Theta Sin\phi\right]} e^{-ikr} \quad \textbf{(10.8)}$$

Введём обозначение:

u = (kaSinΘCosφ)/2

v = (kbSinΘSinφ)/2

$$E_{\max} = E_{so}\,\frac{ab}{r\lambda}$$

Нормированная диаграмма направленности:

$$F(\Theta,\phi)=\frac{1+Cos\Theta}{2}\frac{Sinu}{u}\frac{Sinv}{v} \qquad \textbf{(10.9)}$$

ДН поверхности определяется в основном множителями Sin(u)/u, Sin(v)/v. Они максимальны когда u = 0, v = 0 т. е. когда θ = 0. Направление максимумов множителей системы и диаграммы направленности элемента Гюйгенса совпадают, поэтому данная поверхность излучает с максимальной интенсивностью в направлении нормали.

$(1 + \mathrm{Cos}(\theta))$ - определяет однонаправленные свойства излучающей поверхности.

Рассмотрим ДН в двух главных плоскостях:

1) $\varphi = 0$ - плоскость XZ - (плоскость вектора H).

2) $\varphi = \pi/2$ - плоскость YZ - (плоскость вектора E).

ДН в двух сечениях:

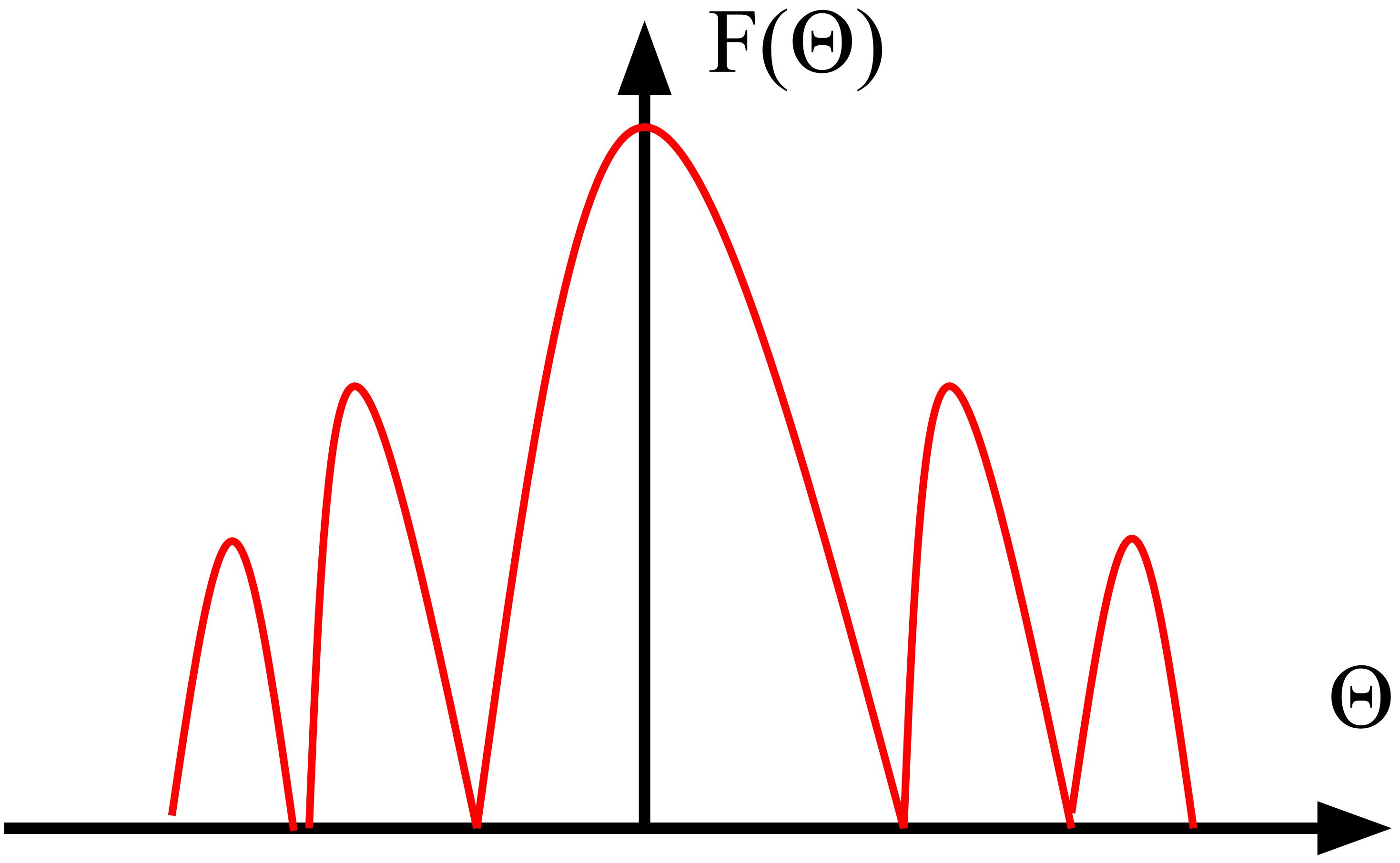

Рис.10.3.

Направления нулевого излучения в плоскостях Е и Н:

$$kb\sin\Theta^{E}_{O} = 2N\pi,$$

$$N=1,\ 2,\ 3,\ \ldots$$

$$ka\sin\Theta^{H}_{O} = 2N\pi.$$

Направления первого нуля в плоскостях Е и Н:

$$\sin\Theta^{E}_{01}=\lambda/b,\ \sin\Theta^{H}_{01}=\lambda/a$$

Ширина ДН по половинной мощности:

$$2\Theta^{E}_{0.5}=51^{0}\,\lambda/b,$$

$$2\Theta^{H}_{0.5}=51^{0}\,\lambda/a.$$

1) Т. о. ДН в данной плоскости тем уже, чем больше размер антенны в этой плоскости.

2) Ширина ДН в данной плоскости не зависит от размера антенны в ортогональной плоскости.

Уровень первого бокового лепестка:

$$\xi_1 = -13.3(\text{дБ})$$

Неравноамплитудное возбуждение поверхности.

$$f(x) = E_{SO} Cos(\pi x/a),$$

$\varphi = 0$ (плоскость H),

$$f(y) = 1,\ \psi(x,y) = 0$$

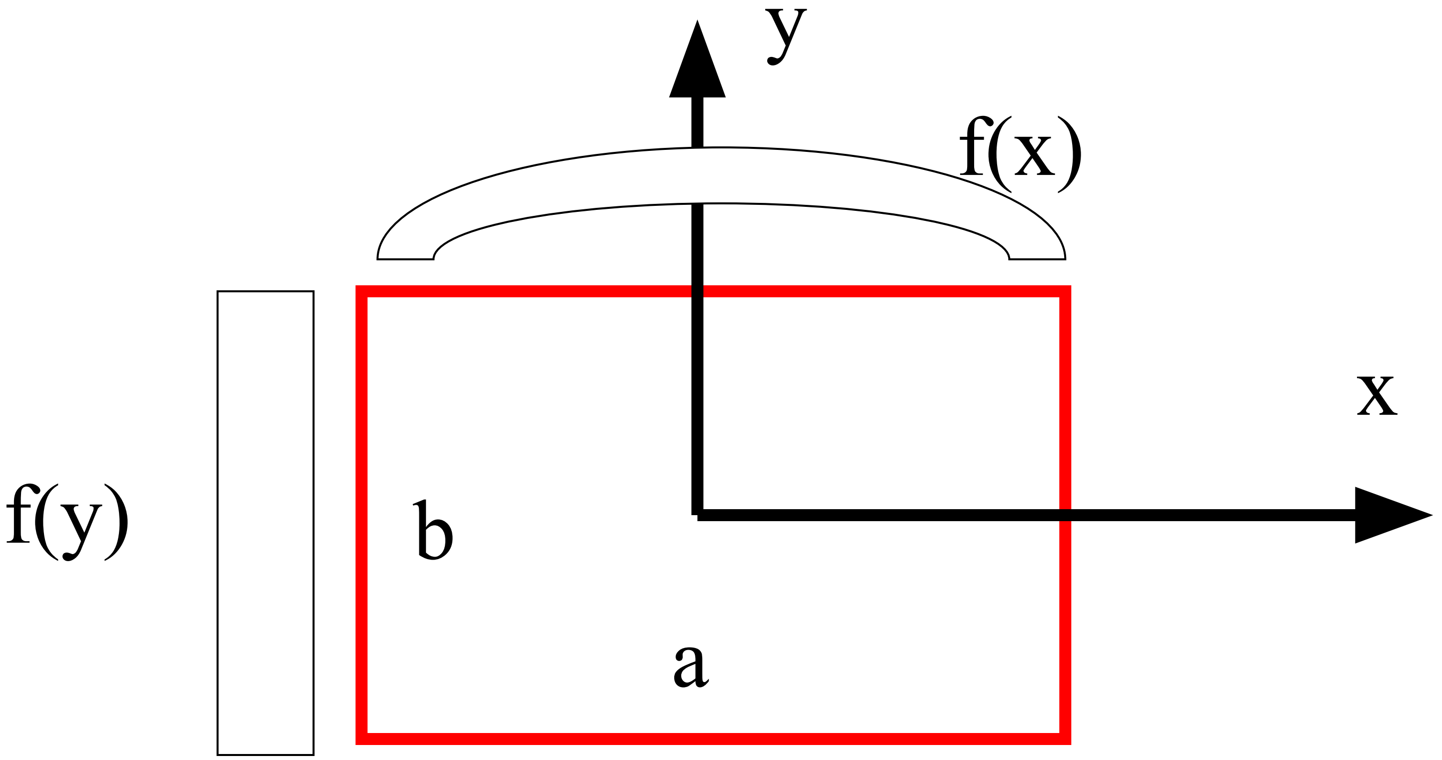

Рис. 10.4

Тогда, поле излучения в плоскости φ = 0 :

$$E = i\frac{E_{SO}}{2r\lambda}(1 + Cos\Theta^{H})e^{-ikr} *$$

$$* \int_{-a/2}^{a/2}\int_{-b/2}^{b/2} Cos(\frac{\pi x}{a})e^{ikxSin\Theta^{H}}dxdy \qquad \textbf{(10.10)}$$

Т. о.:

$$E = i\frac{\pi E_{SO}ab}{4r\lambda}(1+Cos\Theta^{H})*$$

$$*\ \frac{Cos\left[\frac{ka}{2}Sin\Theta^{H}\right]}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^{2}-\left(\frac{ka}{2}Sin\Theta^{H}\right)^{2}}e^{-ikr} \qquad \mathbf{(10.11)}$$

$$\Theta^H=0; \quad E_{max}=2E_{SO}ab/(\pi r\lambda).$$

Нормированная диаграмма направленности:

$$F(\Theta^H)=\frac{\pi^2}{2}(1+Cos\Theta^H)*$$

$$*\ \frac{Cos\left[\frac{ka}{2}Sin\Theta^H\right]}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2-\left(\frac{ka}{2}Sin\Theta^H\right)^2} \qquad \textbf{(10.12)}$$

Первый боковой минимум:

$$ka\mathrm{Sin}\Theta^{E}_{o}/2 = \pi/2$$

Второй минимум:

$$ka\mathrm{Sin}\Theta^{E}_{o}/2 = 3\pi/2$$

Первое направление нулевого излучения:

$$\mathrm{Sin}\Theta^{H}_{o} = 3\lambda/a$$

10.2. КНД излучающей поверхности:

$$D_{\max} = \frac{r^2 E_{\max}^2}{60 P_{\Xi}} \qquad (10.13)$$

Вектор Пойнтинга:

$$\Pi = \frac{\left(E_s\right)^2}{2W_c} = \frac{E_{SO}^2 \left[f(x) f(y)\right]^2}{2W_c} \qquad (10.14)$$

Мощность излучения:

$$P_{\Sigma} = \frac{E_{SO}{}^{2}}{2W_{C}} \int_{S} f(x)^{2} f(y)^{2} dS$$

Максимальная напряжённость поля в дальней зоне:

$$\left|E_{\max}\right|^{2} = \frac{E_{SO}{}^{2}}{(r\lambda)^{2}} \left| \int_{S} f(x) f(y) e^{i\Psi(x,y)} dS \right|^{2} \quad \textbf{(10.15)}$$

КНД:

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{\left| \int\limits_s f(x) f(y) e^{i\Psi(x,y)} dS \right|^2}{\int\limits_S f(x)^2 f(y)^2 dS}$$

Рассмотрим частный случай:

1)

$$D = \frac{4\pi S_Д}{\lambda^2}$$

f(x)=f(y)=1 ψ(x,y)=0

$$D_o = \frac{4\pi S}{\lambda^2} = \frac{4\pi ab}{\lambda^2}$$

2)

$$f(x)=Cos(\pi x/a),\ f(y)=1,\quad \psi(x,y)=0$$

$$D=\frac{4\pi}{\lambda^2}\frac{\left|\int_{-a/2}^{a/2}\int_{-b/2}^{b/2} Cos\frac{\pi x}{a}dxdy\right|^2}{\int_{-a/2}^{a/2}\int_{-b/2}^{b/2} Cos^2\frac{\pi x}{a}dxdy}=0.81\frac{4\pi}{\lambda^2}S=0.81D_O$$

Коэффициент использования поверхности:

$$\nu=\frac{S_Д}{S}=0.81$$