

# Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн

## ОСНОВЫ ТЕОРИИ АНТЕНН

### *ЛЕКЦИЯ № 5*

#### *ИЗЛУЧЕНИЕ ВОЗБУЖДЁННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ*



## 10.1. Излучение возбужденных поверхностей

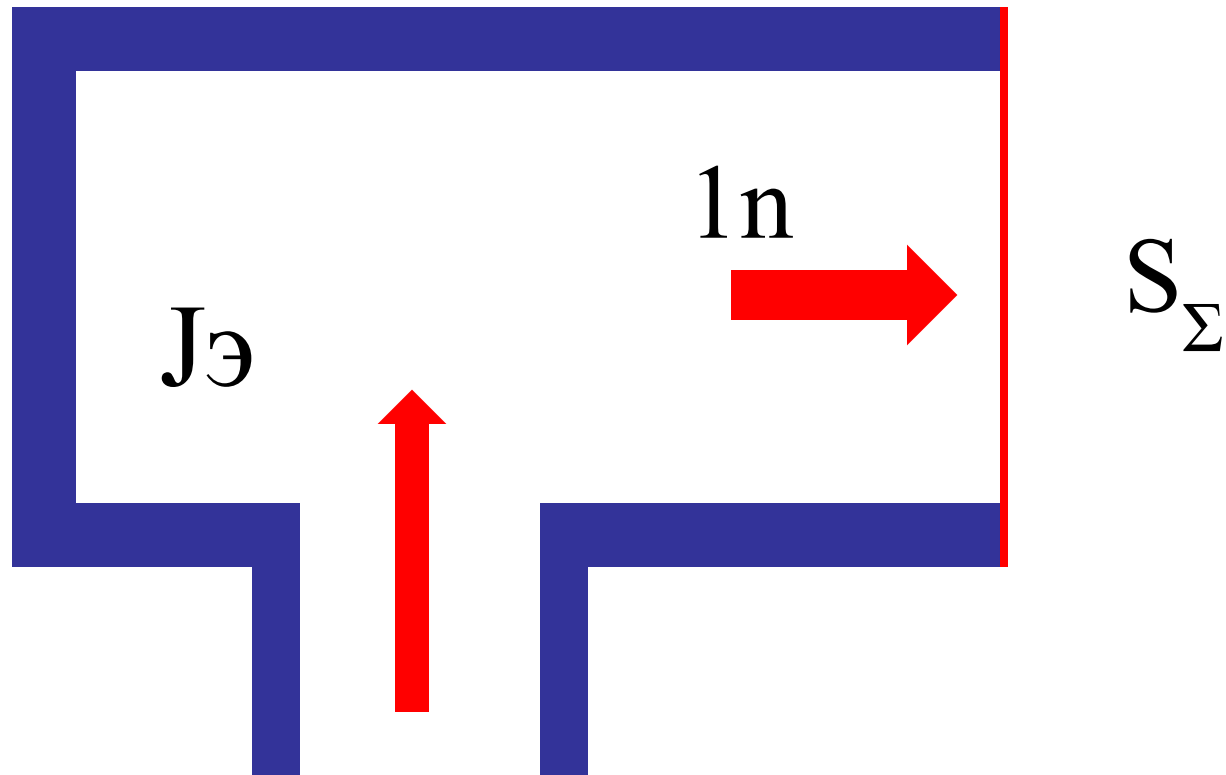
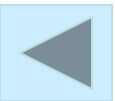


Рис.10.1.



- 1) Излучение открытого конца волновода.
- 2) Излучение рупорных антенн.
- 3) Излучение линзовых антенн.
- 4) Излучение зеркальных антенн.

**Плотность поверхностного электрического тока:**

$$J^{\text{Э}} = [1 \text{ н, Н}]$$

**Плотность поверхностного магнитного тока:**

$$J^{\text{М}} = - [1 \text{ н, Е}]$$



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

$$dE = i \frac{E_y dx dy}{2r_o \lambda} (1 + \text{Cos}\Theta) e^{-ikr} \quad (10.1)$$

**Поле на возбуждённой поверхности зададим:**

$$E = E_{S0} f(x, y) e^{i\psi(x, y)} = E_S e^{i\psi(x, y)} \quad (10.2)$$

$E_S$  - комплексная амплитуда возбуждающего поля;  
 $E_{S0}$  - амплитуда возбуждающего поля в центре раскрыва;  
 $f(x, y)$  - функция, характеризующая зависимость амплитуды поля от координат (амплитудное распределение);  
 $\psi(x, y)$  - фазовое распределение.



**Амплитудное распределение:**

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

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

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

$$* (1 + \cos\Theta) dx dy e^{ik\delta r} e^{-ikr}$$



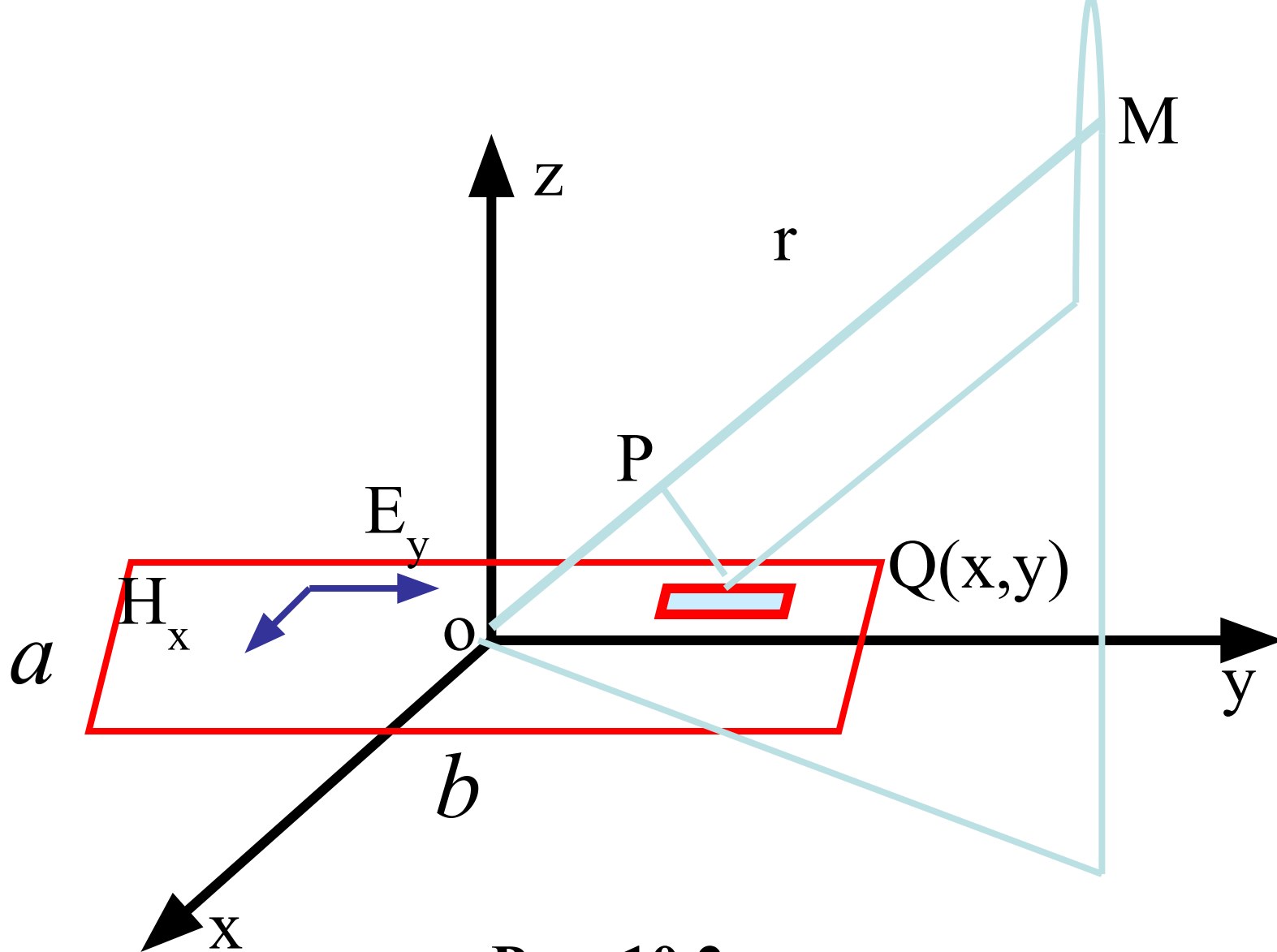


Рис. 10.2



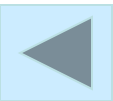
$$l_{RO} = l_{XO} \cos\varphi \sin\Theta + l_{YO} \sin\varphi \sin\Theta + l_{ZO} \cos\Theta$$

**Расстояние из начала координат в точку излучения:**

$$OQ = l_{XO}x + l_{YO}y$$

**Разность хода:**

$$\delta r = x \cos\varphi \sin\Theta + y \sin\varphi \sin\Theta \quad (10.4)$$



Тогда:

$$dE = i \frac{E_{SO}}{2r\lambda} f(x) f(y) e^{i\Psi(x,y)} * \\ * (1 + \text{Cos}\Theta) dx dy * \\ * e^{ik(x\text{Cos}\phi\text{Sin}\Theta + y\text{Sin}\phi\text{Sin}\Theta)} e^{-ikr}$$

(10.5)





**Суммарное поле, создаваемое поверхностью:**

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

**(10.6)**

**Для вычисления интеграла рассмотрим частный случай:**

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

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



$$\mathbf{E} = i \cdot \frac{E_{s0}}{2 \cdot r \cdot \lambda} \cdot (1 + \mathbf{Cos}(\theta)) \cdot e^{-i \cdot \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}} \cdot \mathbf{i}$$

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

$$E = i \frac{E_{s0} ab}{2r\lambda} (1 + \mathbf{Cos}\Theta) *$$

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



Введём обозначение:

$$u = (ka \sin \Theta \cos \varphi) / 2$$

$$v = (kb \sin \Theta \sin \varphi) / 2$$

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



**Нормированная диаграмма направленности:**

$$F(\Theta, \phi) = \frac{1 + \text{Cos}\Theta}{2} \frac{\text{Sin}u}{u} \frac{\text{Sin}v}{v} \quad (10.9)$$

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



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

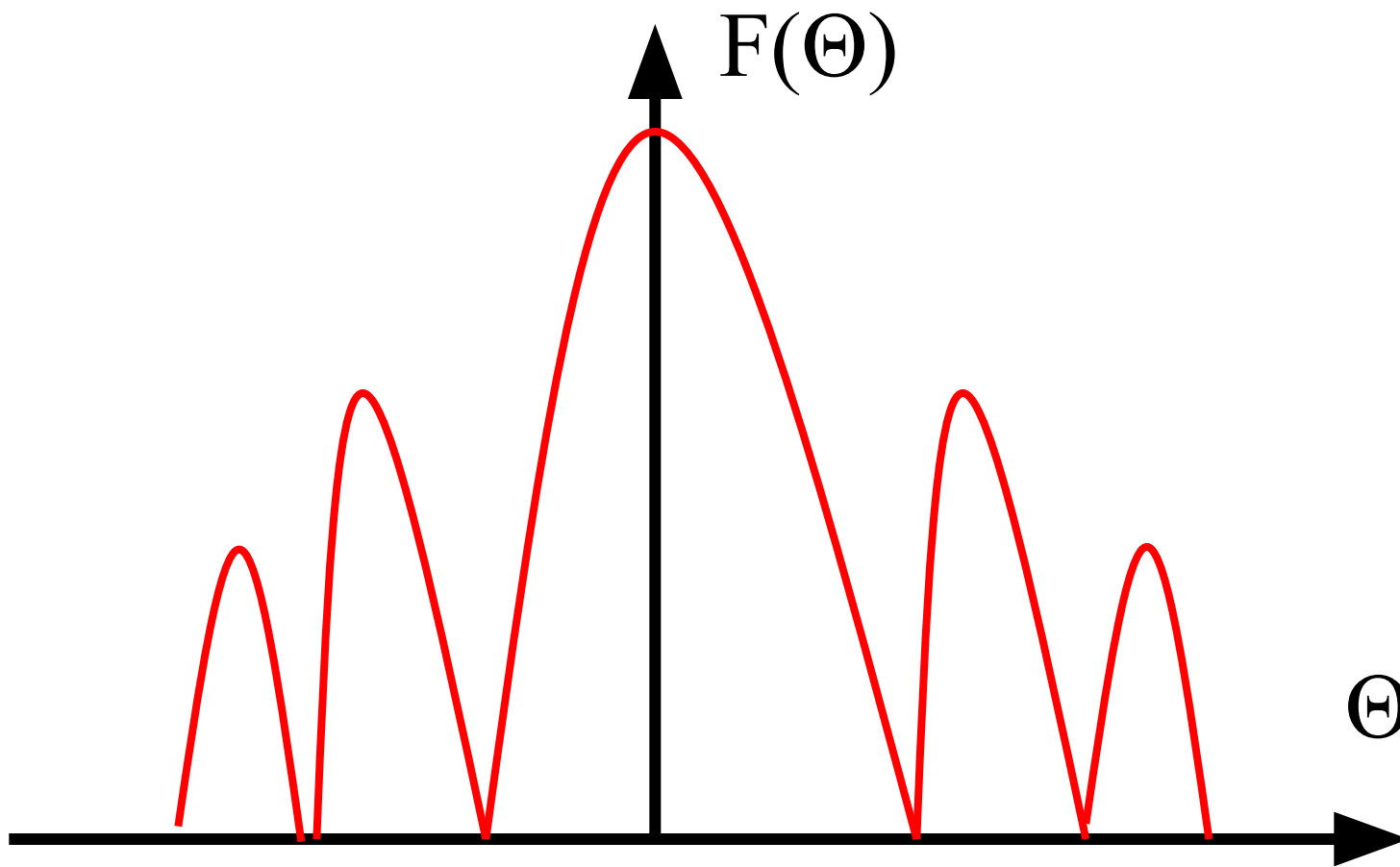
**Рассмотрим ДН в двух главных плоскостях:**

**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 E и H:**

$$kb \sin \Theta_{0}^E = 2N\pi,$$

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

$$ka \sin \Theta_{0}^H = 2N\pi.$$

**Направления первого нуля в плоскостях E и H:**

$$\sin \Theta_{01}^E = \lambda/b, \quad \sin \Theta_{01}^H = \lambda/a$$



**Ширина ДН по половинной мощности:**

$$2\Theta_{0.5}^E = 51^\circ \lambda/b,$$

$$2\Theta_{0.5}^H = 51^\circ \lambda/a.$$



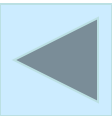


**1) Т. о. ДН в данной плоскости тем уже, чем больше размер антенны в этой плоскости.**

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

**Уровень первого бокового лепестка:**

$$\xi_1 = -13.3(\text{дБ})$$



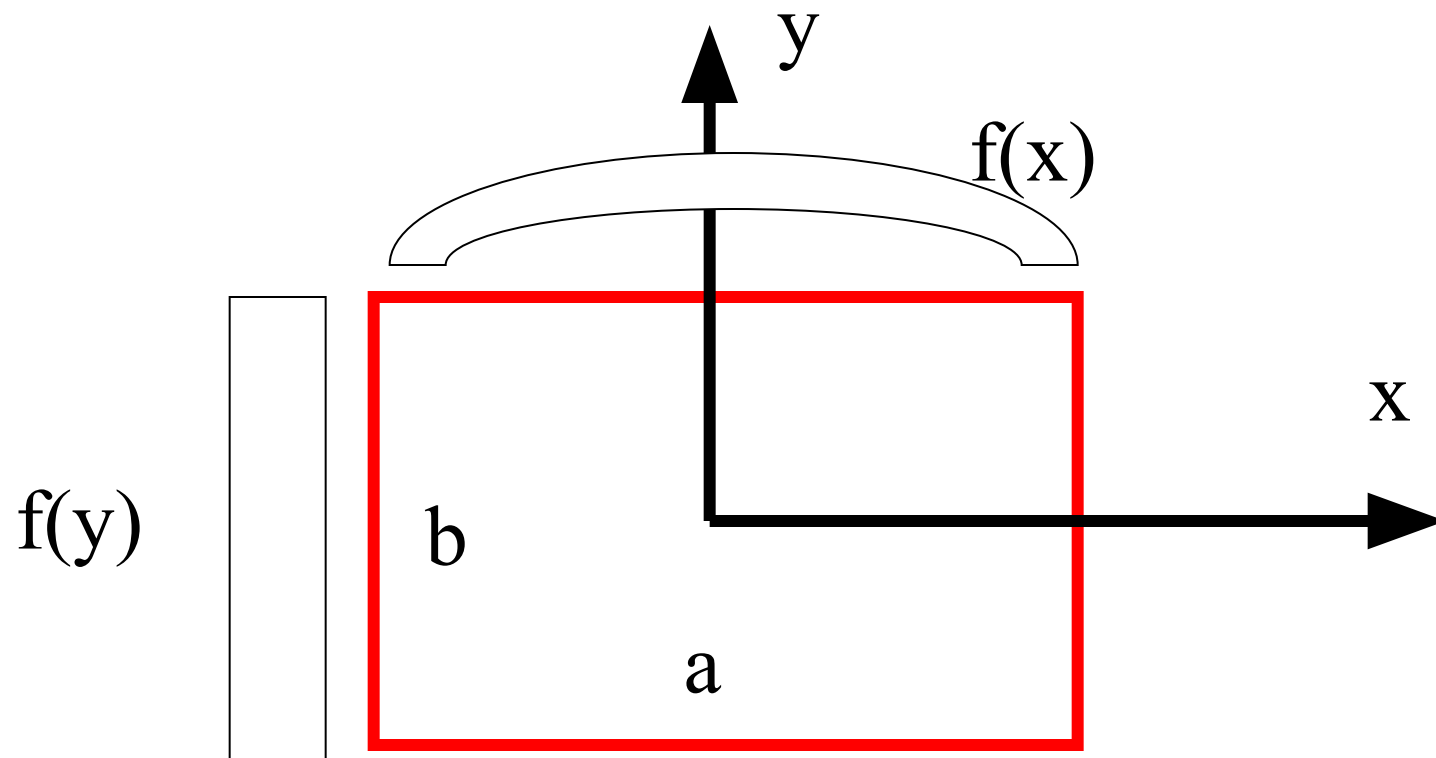
## Неравноамплитудное возбуждение поверхности.

$$\mathbf{f}(x) = E_{s0} \text{Cos}(\pi x/a),$$

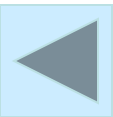
$$\varphi = 0 \text{ (плоскость H),}$$

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





**Рис. 10.4**



Тогда, поле излучения в плоскости  $\varphi = 0$  :

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

$$* \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \text{Cos} \left( \frac{\pi x}{a} \right) e^{ikx \text{Sin} \Theta^H} dx dy \quad (10.10)$$



**T. o.:**

$$E = i \frac{\pi E_{SO} ab}{4r\lambda} (1 + \text{Cos}\Theta^H) * \\ * \frac{\text{Cos}\left[\frac{ka}{2} \text{Sin}\Theta^H\right]}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \left(\frac{ka}{2} \text{Sin}\Theta^H\right)^2} e^{-ikr} \quad (10.11)$$



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

**Нормированная диаграмма направленности:**

$$F(\Theta^H) = \frac{\pi^2}{2} (1 + \text{Cos}\Theta^H) * \text{Cos}\left[\frac{ka}{2} \text{Sin}\Theta^H\right] * \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \left(\frac{ka}{2} \text{Sin}\Theta^H\right)^2} \quad (10.12)$$



**Первый боковой минимум:**

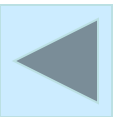
$$ka \sin \Theta_{\text{о}}^{\text{Е}} / 2 = \pi / 2$$

**Второй минимум:**

$$ka \sin \Theta_{\text{о}}^{\text{Е}} / 2 = 3\pi / 2$$

**Первое направление нулевого излучения:**

$$\sin \Theta_{\text{о}}^{\text{Н}} = 3\lambda / a$$



## 10.2. КНД излучающей поверхности:

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

Вектор Пойнтинга:

$$\Pi = \frac{(E_s)^2}{2W_c} = \frac{E_{s0}^2 [f(x)f(y)]^2}{2W_c} \quad (10.14)$$





**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:**

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



КНД:

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



Рассмотрим частный случай:

1)

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

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

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



$$2) \quad f(x) = \cos(\pi x/a), \quad f(y) = 1, \quad \psi(x, y) = 0$$

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{\left| \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \cos \frac{\pi x}{a} dx dy \right|^2}{\int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \cos^2 \frac{\pi x}{a} dx dy} = 0.81 \frac{4\pi}{\lambda^2} S = 0.81 D_0$$

**Коэффициент использования поверхности:**

$$v = \frac{S_D}{S} = 0.81$$

