

**Российский государственный университет имени И.
Канта**

Кафедра телекоммуникаций

**Проектирование и расчет антенно-
фидерных устройств (АФУ)**

Лекция №2

**Основные параметры и
характеристики передающих
антенн**

1. Электрические параметры антенны

Входное сопротивление антенны есть отношение комплексной амплитуды напряжения на зажимах проволочной антенны к комплексной амплитуде тока, протекающего через данные зажимы

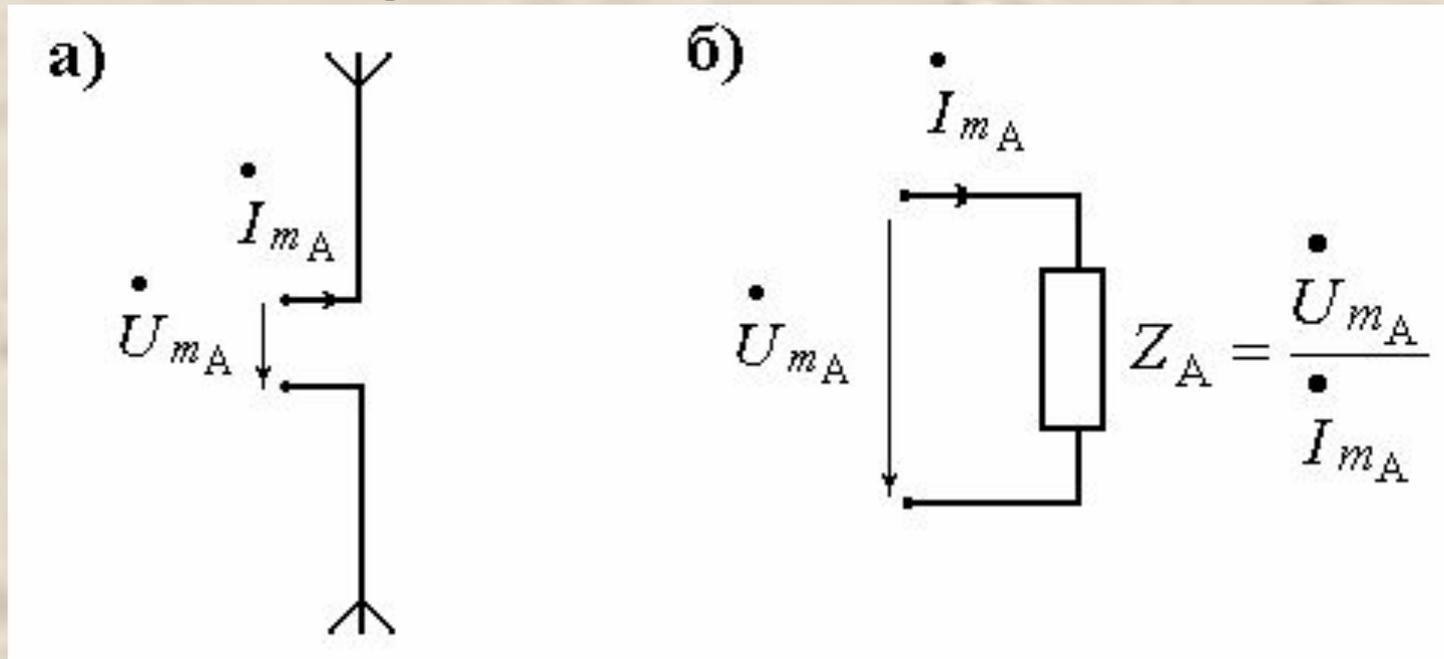


Рисунок 1 - Условное обозначение проволочной антенны (а) и эквивалентная схема проволочной передающей антенны (б)

Входное сопротивление антенны есть комплексная величина, которая содержит вещественную и мнимую части, измеряемые в Ом:

$$Z_A(j) = R_A(j) + jX_A(j)$$

Комплексный коэффициент отражения задан выражением:

$$\Gamma_{\text{отр}} = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0}$$

Под нормированным сопротивлением понимают отношение комплексного сопротивления антенны на ее входных зажимах к волновому сопротивлению фидерной линии:

$$\frac{Z_A}{Z_{\text{отр}}} = \frac{1 + \Gamma_{\text{отр}}}{1 - \Gamma_{\text{отр}}}$$

Вывод: Антенно-фидерная система должна быть согласована с генератором или приемником для передачи максимальной мощности от генератора в нагрузку, то есть комплексное сопротивление антенны должно быть комплексно сопряжено с внутренним сопротивлением

Понятие сопротивления излучения и сопротивления

потерь

Подводимая через фидер к передающей антенне мощность большей частью излучается, при этом значительно меньшая ее часть теряется на активном сопротивлении проводников антенны, в земле, в окружающих антенну и проводящих электрический ток телах (металлических предметах, оттяжках, строениях и т.п.)

$$P_{\Sigma} = R_{\Sigma} I^2,$$

где R_{Σ} - сопротивление излучения антенны в характерных сечениях, Ом;

I^2 - квадрат действующего значения тока в этих

Вывод: Таким образом, **сопротивлением излучения** антенны называют коэффициент пропорциональности между мощностью излучения антенны (полезная мощность) и квадратом

действующего значения тока в антенне

Мощность потерь позволяет оценить энергетические потери, неизбежно возникающие при работе передающей антенны в ходе преобразования электрической энергии в тепловую энергию за счет нагрева проводников антенны, в земных и космических элементах радиотрассы антенны и т.д.

$$P_{\Pi} = R_{\Pi} I^2,$$

где R_{Π} - сопротивление потерь антенны в характерных сечениях, Ом;
 I^2 - квадрат действующего значения тока в этих же сечениях, А.

Вывод: Таким образом, сопротивлением потерь антенны называют коэффициент пропорциональности между мощностью потерь антенны и квадратом действующего значения тока в антенне, определяемым в характерных сечениях.

В качестве характерных сечений рассматривают два варианта: 1) точки питания или зажимы передающей антенны; 2) те точки вдоль проволочной передающей антенны, в которых действующее либо амплитудное значение тока максимально – точки, соответствующие пучности тока.

Будем обозначать амплитудное и действующее значения тока в точках питания (зажимах) как I_{mA} и I_A , а амплитудное и действующее значения в пучности как $I_{m\Pi}$ и I_{Π} .

В сумме сопротивление излучения и сопротивление потерь определяют $R_A = R_{\Sigma} + R_{\Pi}$ активную составляющую входного сопротивления антенны. Коэффициентом полезного действия антенны называют отношение мощности излучения антенны к полной активной мощности, подводимой к антенне от генератора через фидерную линию, который определяют в соответствии с формулами:

$$\eta_A = \frac{P_{\Sigma A}}{P_A} = \frac{I_A^2 R_{\Sigma A}}{I_A^2 R_A} = \frac{R_{\Sigma A}}{R_A} = \frac{1}{1 + \frac{R_{\Pi A}}{R_{\Sigma A}}}$$

2. Характеристики излучения антенны

Радиоволна – направленный перенос энергии (информации) в пространстве от источника излучения (передающая антенна) к приемнику радиоволны (приемная антенна) посредством электромагнитного поля, характеризующегося векторами напряженности электрического и магнитного полей и вектором Пойнтинга. Напряженности электрического и магнитного полей радиоволны есть гармонические функции четырех переменных: пространственных координат и

Комплексное мгновенное значение напряженности электрического поля можно представить следующим выражением:

$$E = E_m e^{j\omega t} e^{j\varphi_E} e^{-\gamma z}$$

В данном выражении введены обозначения:

E_m - амплитуда напряженности электрического поля в точке излучения, В/м

φ_E - начальная фаза напряженности в точке излучения, рад

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ - угловая частота волны, рад/с

$\gamma = \alpha + j\beta$ - комплексный коэффициент распространения волны

$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ - коэффициент фазы, рад/м

α - коэффициент затухания, дБ/м, Нп/м

$\lambda = \frac{v_{\phi}}{f}$ - длина волны, м.

Комплексное действующее (амплитудное) значение напряженности магнитного поля связана с комплексной напряженностью электрического поля соотношением:

$$\dot{H} = \frac{\dot{E}}{Z_c}$$

Волновое сопротивление среды распространения определяется абсолютными магнитной и комплексной диэлектрической проницаемостями как

$$Z_c = \sqrt{\frac{\mu_a}{\epsilon_a}}$$

где μ_a - абсолютная магнитная проницаемость

среды, Гн/м

ϵ_a - комплексная диэлектрическая

проницаемость, Ф/м

$$Z_{0M} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120 \pi,$$

- волновое сопротивление вакуума.

Вектор Пойнтинга имеет направление, соответствующее направлению переноса энергии в пространстве, его модуль есть плотность потока мощности $\text{Вт}/\text{м}^2$, переносимой волной в данном направлении в пространстве. Вектор Пойнтинга

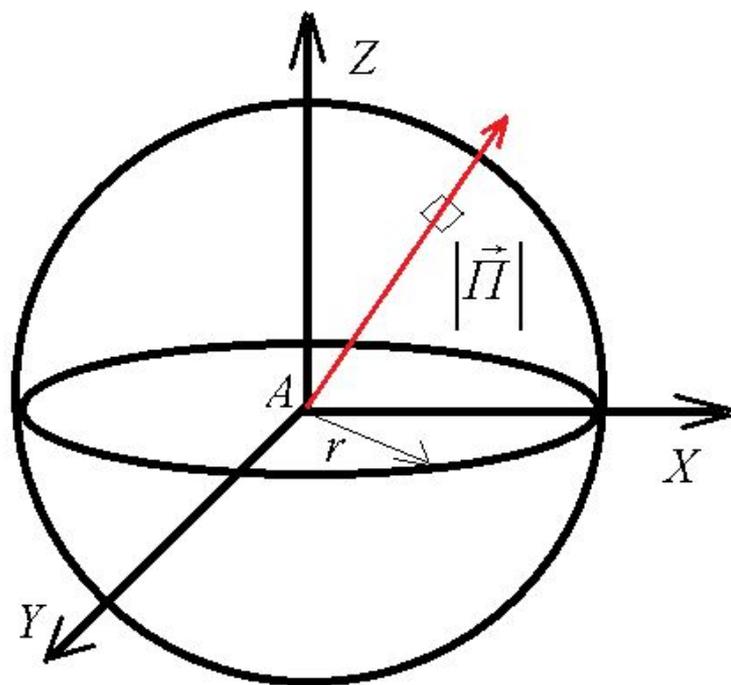


Рисунок 2 – К определению поля от ненаправленного (изотропного) излучателя

и магнитных волн в пространстве. Излучатель ненаправленный (аналог – лампочка накаливания). Задача определить напряженность электрического поля на расстоянии r от излучателя. Выделим площадку на поверхности сферы величиной 1 кв. м. Тогда мощность электромагнитной волны, приходящаяся на данную площадь численно равна $\rho = \frac{P}{r^2}$ плотности потока мощности,

Численную величину плотности потока мощности, переносимого волной в любом направлении, можно рассчитать как

$$|\vec{H}| = \frac{P}{4\pi r^2}$$

где P - мощность, подводимая к изотропному излучателю от источника электрической энергии, Вт.

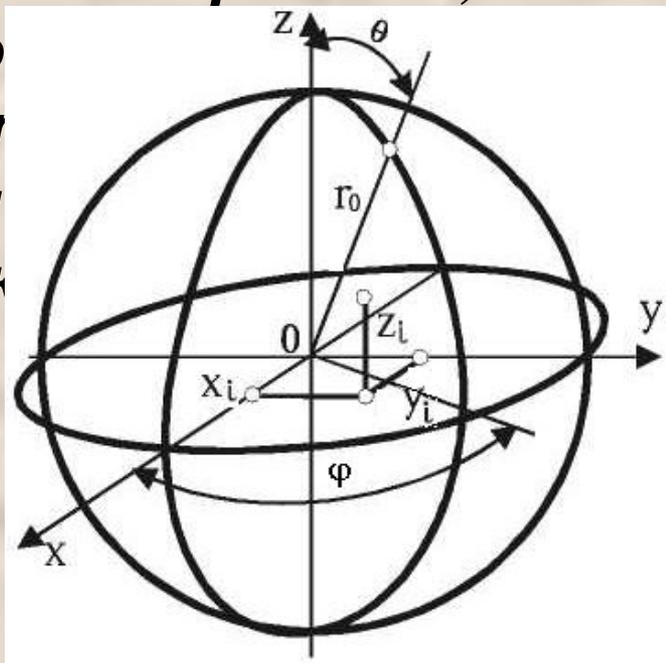
Направление переноса энергии в данной точке пространства совпадает с направлением вектора Пойнтинга, а его численное значение определено через напряженности электрического и магнитного поля волны как:

$$\frac{|\vec{E}_d|}{|\vec{H}_d|} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_{00}}} = 120\pi \text{ Ом} \Rightarrow |\vec{H}| = \frac{|\vec{E}_d|^2}{120\pi}$$

$$\frac{P}{4\pi r^2} = \frac{|\vec{E}_d|^2}{120\pi} \Rightarrow |\vec{E}_d| = \sqrt{\frac{P \cdot 120\pi}{4\pi r^2}} = \frac{\sqrt{30P}}{r}$$

Амплитудной характеристикой направленности

называют зависимость амплитуды напряженности создаваемого антенной поля (или величины ей пропорциональной) от направления в пространстве на точку наблюдения. Положение любой точки в пространстве в декартовой системе координат принято задавать тремя координатами. Однако в теории антенн широко используется сферическая система координат, в которой направление на точку



наблюдения радиус-вектором r_0 , меридиональным углом θ и азимутальным углом φ в сферической системе координат, как показано на

рисунке 3 – Как определению направления на точку наблюдения в сферической системе координат

Графическое изображение амплитудной характеристики направленности называют диаграммой направленности (ДН). На практике обычно строят ДН в какой-либо одной плоскости, в которой она изображается в виде плоской кривой или в полярной или декартовой системе координат.

Диаграмма направленности, у которой максимальное значение равно 1 и которая не имеет размерности, называется нормированной диаграммой направленности. Для получения значений нормированной ДН необходимо каждое значение амплитуды напряженности электрического поля, созданное волной в данной точке наблюдения, поделить на максимальное значение амплитуды электрического поля, созданного волной в направлении максимального излучения.

ДН антенны может носить многолепестковый характер и иметь несколько направлений максимального и нулевого излучений. Главным (основным) лепестком ДН называют такой лепесток в ДН, в котором амплитуда напряженности электрического поля принимает наибольшее из возможных значений. Все остальные лепестки называют второстепенными или боковыми.

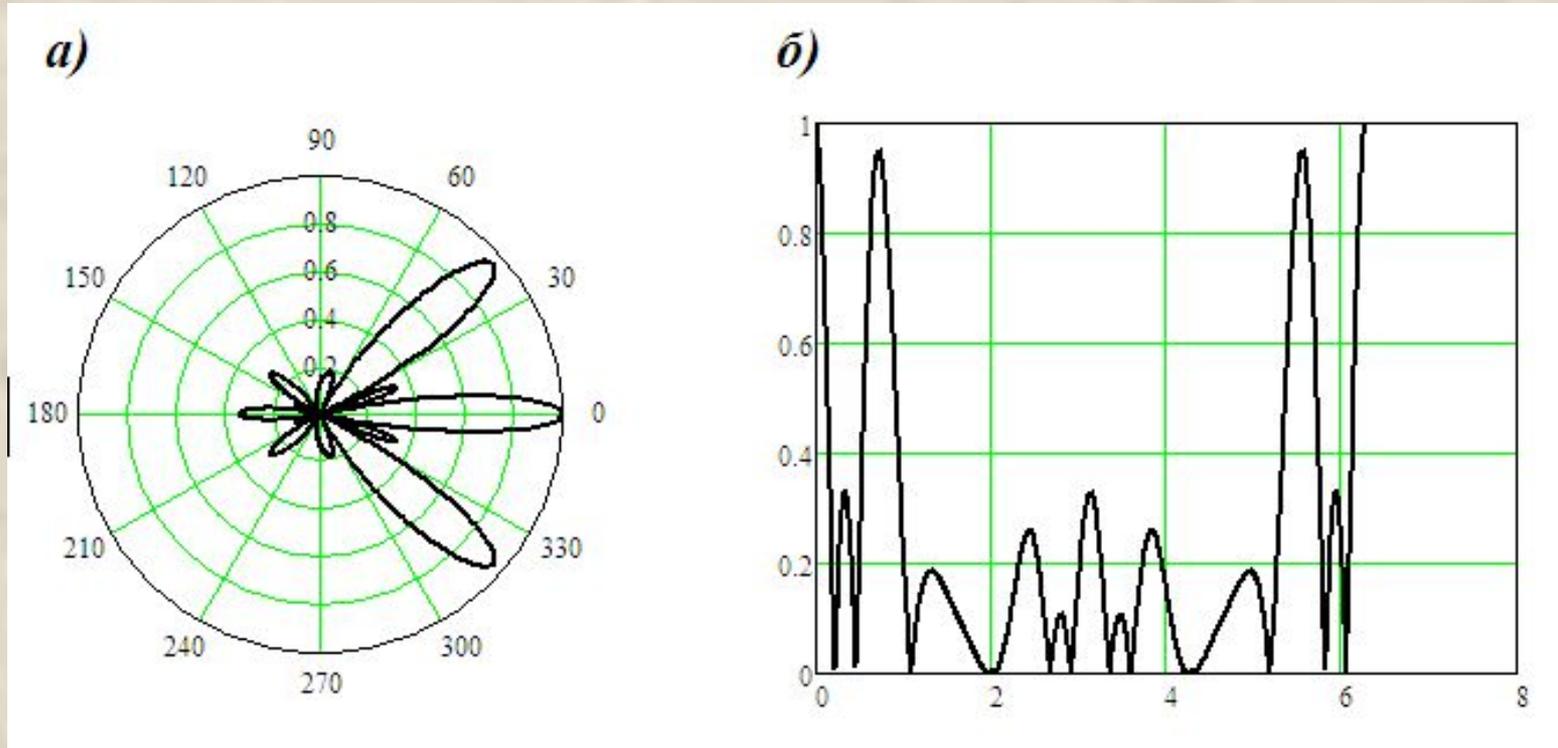


Рисунок 4 – Нормированные диаграммы направленности антенной решетки в азимутальной плоскости в полярной и прямоугольной системах

Нормированная ДН элементарного диполя

$$F(\theta) = \sin\theta$$

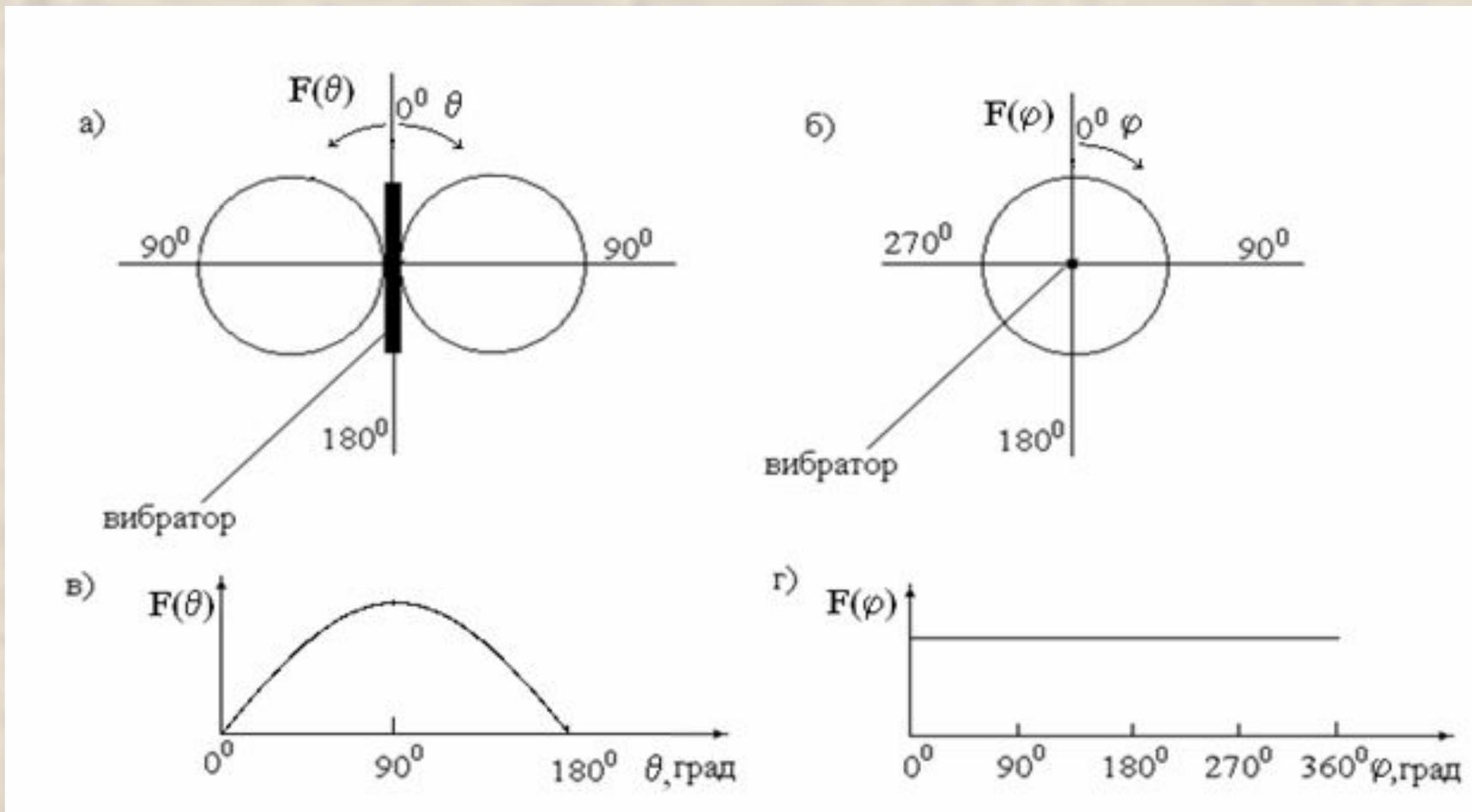


Рисунок 5 - а,в)-нормированная ДН в меридиональной плоскости;

б,г)-нормированная ДН в азимутальной плоскости

Характеристика направленности по мощности

есть зависимость плотности потока мощности от направления в пространстве на точку

наб. раз

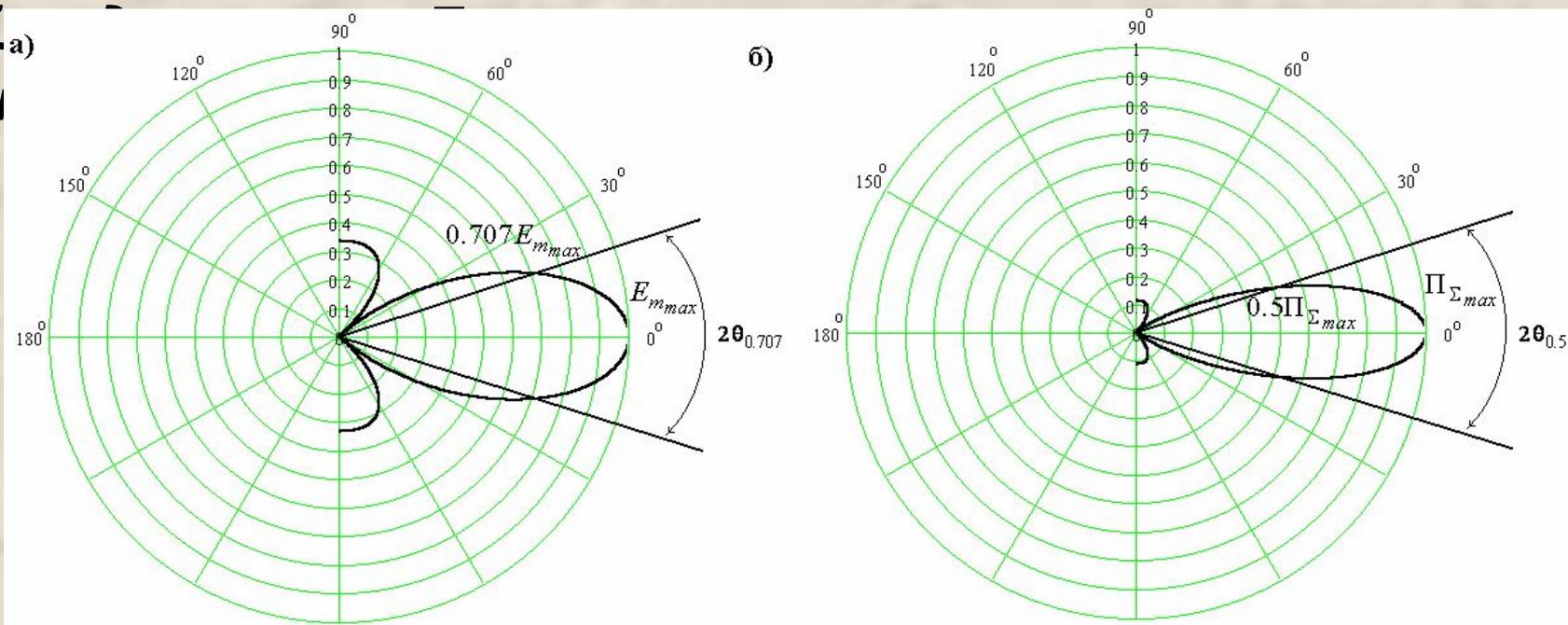


Рисунок 6 – Амплитудные диаграммы направленности по полю

Под шириной ДН^(а) (раскрывом главного лепестка)

подразумевают угол между направлениями, вдоль которых амплитуда напряженности поля уменьшается в раз, по сравнению с величиной напряженности поля в направлении максимума излучаемой энергии, а

Коэффициент направленного действия (КНД)

антенны есть число, показывающее, во сколько раз пришлось бы увеличить мощность излучения антенны при замене направленной антенны абсолютно ненаправленной при условии сохранения одинаковой амплитуды напряженности электрического (магнитного) поля в месте приема (при прочих равных условиях). Под ненаправленной антенной будем понимать антенну, создающую в любом направлении в пространстве одинаковое по амплитуде электромагнитное поле.

P_{Σ_0} - мощность излучения ненаправленной

P_{Σ} антенны
- мощность излучения направленной

Вывод: КНД в направлении главного лепестка или максимального излучения для реальных антенн достигает значений от единиц до сотен тысяч раз. Он показывает тот выигрыш, который можно получить за счет использования направленных

Коэффициент усиления ($KУ$) показывает во сколько раз нужно изменить мощность, подводимую к направленной антенне, по сравнению с мощностью, подводимой к ненаправленной антенне без потерь, чтобы получить одинаковую амплитуду напряженности электрического поля в точке приема в рассматриваемом направлении.

$$G = D \cdot \eta_A$$

$$G_{дБ} = 10 \lg G$$

Рабочий диапазон волн – это тот диапазон, в пределах которого антенна сохраняет свои основные параметры с заданной точностью. Если ширина рабочего диапазона не превосходит нескольких процентов от центральной длины волны диапазона, то антенна считается узкодиапазонной, если несколько десятков процентов – то широкодиапазонной.