

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ БОКОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН

Г.В. Ермаков, Г.В. Акулинин, О.Н. Ставицкий, М.Г. Иванец
(Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба)

Проведен вероятностный анализ уровней бокового и заднего излучения сверхширокополосной зеркальной антенны. Показано, что распределение уровней излучения бокового и заднего фона подчиняется логарифмически нормальному закону.

вероятностный анализ, сверхширокополосная зеркальная антенна

Анализ литературы. Помимо регулярных факторов, определяющих характер бокового излучения сверхширокополосных (СШП) антенн (апертура, закон амплитудно-фазового распределения, краевые эффекты) на него также влияют многочисленные случайные факторы, главными из которых являются: технологические неточности изготовления, рельеф и другие особенности местности вблизи антенн, климатические условия. Так, для зеркальной антенны со значительными электрическими размерами, сезонные температурные колебания могут вызвать изменение линейных размеров более чем на $0,25 \lambda$, что скажется на уровне бокового излучения и его стабильности во времени [1 – 3].

Удельный вес воздействия нерегулярных факторов различен и изменяется по случайному закону. Случайным также следует считать и местонахождение источника (приемника) помех.

В связи с вышеизложенным, **целью статьи** является определение вероятностной оценки уровней бокового и заднего фона СШП зеркальной антенны.

Основная часть. Для вероятностной оценки боковых лепестков диаграммы направленности (ДН) предположим, что уровень каждого бокового лепестка в фиксированном направлении в результате воздействия множества нерегулярных случайных факторов подчиняется нормальному закону, математическое ожидание которого равно среднему значению поля, а дисперсия – среднему значению мощности, излучаемому лепестком, положение которого будем полагать детерминированной функцией угловой координаты.

Форма мгновенных парциальных ДН СШП зеркальной антенны в

квазиоптическом диапазоне хорошо известна и описывается соотношением вида

$$f(x) = \frac{\sin x}{x},$$

где $x = \pi \frac{D}{\lambda} \sin \Theta$ – обобщенный угол; D – диаметр зеркальной антенны;

λ – длина волны; Θ – угол места.

Для определения величины бокового излучения n -го лепестка удобно воспользоваться следующим аппроксимирующим выражением [4]:

$$f_n^{\text{бл}}(x) = \frac{2}{(2n+1)\pi} |\sin x|. \quad (1)$$

Воспользовавшись известными соотношениями математического ожидания и дисперсии, найдем:

$$M_n^{\text{бл}}[n] = \frac{1}{\pi} \int_{n\pi}^{(n+1)\pi} \frac{2}{(2n+1)\pi} |\sin x| dx \approx \frac{0,41}{2n+1}; \quad (2)$$

$$D_n^{\text{бл}}[n] = \frac{1}{\pi} \int_{n\pi}^{(n+1)\pi} \frac{4}{(2n+1)^2 \pi^2} |\sin^2 x| dx - (M_n^{\text{бл}}[n])^2 \approx \frac{0,04}{(2n+1)^2}. \quad (3)$$

В соответствии с (2), (3) для первого бокового лепестка получаем: $M_1^{\text{бл}}[n] = 0,135$; $D_1^{\text{бл}}[n] = 0,00435$.

Если рассчитать величину среднего значения и дисперсию бокового лепестка точно, то получим [5]:

$$\begin{aligned} M_n^{\text{бл}}[n] &= \frac{1}{\pi} \int_{n\pi}^{(n+1)\pi} \left| \frac{\sin x}{x} \right| dx = \frac{1}{\pi} [\text{Si}(n+1)\pi - \text{Si}(n\pi)]; \\ D_n^{\text{бл}}[n] &= \frac{1}{\pi} \int_{n\pi}^{(n+1)\pi} \left(\frac{\sin x}{x} \right)^2 dx - (M_n^{\text{бл}}[n])^2 = \frac{1}{\pi} [\text{Si}2(n+1)\pi - \text{Si}(2n\pi)] - \\ &\quad - \frac{1}{\pi^2} [\text{Si}(n+1)\pi - \text{Si}(n\pi)]^2. \end{aligned}$$

При точных расчетах получаем $M_1^{\text{бл}}[n] = 0,138$, $D_1^{\text{бл}}[n] = 0,0046$. Относительная погрешность в величинах математического ожидания и дисперсии 1-го лепестка составляет: $\delta_{M[1]} = 1,026$; $\delta_{D[1]} = 1,06$. Эти величины с определенной степенью достоверности можно считать систематическими, т.е. такими, которые повторяются для дальних боковых лепестков.

Знание относительной погрешности дает возможность ввести поправочный множитель. В результате расчетные формулы принимают вид:

$$\mathbf{M}^{\text{бл}}[n] = \delta_{M[1]} \mathbf{M}_n^{\text{бл}}[n] = \frac{0,417}{2n+1}; \quad (4)$$

$$\mathbf{D}^{\text{бл}}[n] = \delta_{D[1]} \mathbf{D}_n^{\text{бл}}[n] = \frac{0,04}{(2n+1)^2}. \quad (5)$$

Окончательно плотность распределения вероятностей значений n -го лепестка ДН можно записать в виде:

$$W_n(U_{\text{бл}}, n) = 2,03(2n+1) \exp \left\{ -12,5[(2n+1)U_{\text{бл}} - 0,417]^2 \right\}, \quad (6)$$

где $U_{\text{бл}}$ – уровень n -го лепестка.

Для дальних боковых лепестков (при небольших значениях Θ) имеем

$$n = \frac{x}{\pi} = \frac{L}{\lambda} \Theta. \quad (7)$$

С учетом (7) выражение (6) принимает вид:

$$W_n(U_{\text{бл}}, \Theta) = 2,03 \left(2 \frac{L}{\lambda} \Theta + 1 \right) \exp \left\{ -12,5 \left[\left(2 \frac{L}{\lambda} \Theta + 1 \right) U_{\text{бл}} - 0,417 \right]^2 \right\}.$$

Из полученного выражения можно сделать вывод, что описываемый вероятностный процесс является нестационарным по углу. Если угол Θ рассматривать как случайную величину, то можно показать, что вероятность того, что уровень бокового излучения лежит в заданных пределах, определяется как

$$P \left[0 < U_{\text{бл}} < m \frac{0,417}{2 \frac{L}{\lambda} \Theta + 1} \right] = 0,51 \{ \Phi[1,47(m-1)] + 0,96 \}, \quad (8)$$

где $\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-t^2) dt$; m – заданный уровень превышения излучения над средним уровнем.

На рис. 1 представлено интегральное распределение уровня первых нескольких десятков боковых лепестков зеркальной антенны для различных спектральных составляющих СШП сигнала квазиоптического диапазона: при $D = 3$ м, $\lambda = 6 \div 30$ см.

Как показывает дальнейший анализ, распределение (8) достаточно близко к логарифмически нормальному.

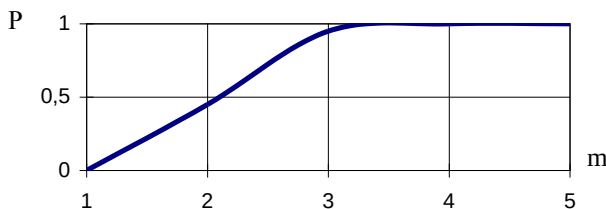


Рис. 1. Распределение уровня боковых лепестков

Выводы. Проведенный вероятностный анализ дает основание предположить, что и в СШП зеркальной антенне распределение уровней излучения дальнего бокового и заднего фона подчиняется логарифмически нормальному закону. Это связано, в первую очередь, с тем, что линейная комбинация мгновенных ДН, соответствующих различным спектральным составляющим СШП сигнала, описывает пространственно-частотную характеристику антенны как (фильтра) с параметрами, представляющими собой случайные величины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фрадин А.З. *Антенны сверхвысоких частот*. – М.: Сов. радио, 1957. – 647 с.
2. Страхов А.Ф. *Автоматизированные антенные измерения*. – М.: Радио и связь, 1985. – 136 с.
3. Фрадин А.З., Рыжков Е.В. *Измерение параметров антенно-фидерных устройств*. – М.: Связь, 1972. – 352 с.
4. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. *Численные методы: Учеб. пособие*. – М.: Наука, 1987. – 600 с.
5. Сапгир А.И. *К вопросу о вероятностной оценке уровня бокового излучения антенны* // Радиотехника. – 1971. – Т. 26, № 3. – С. 36-41.

Поступила 13.03.2006

Рецензент: доктор технических наук, профессор И.И. Обод,
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.