

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ ДАЛЬНОЙ ЗОНЫ ДЛЯ КОЛЬЦЕВОЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

д.т.н., проф. В.И. Замятин, Г.А. Левагин, А.А. Лоскутов, к.т.н. С.М. Порошин

*В статье рассмотрена возможность определения критерия дальней зоны (ДЗ) для кольцевой и цилиндрической антенных решеток по различным критериям, в частности по уровню боковых лепестков, по уменьшению крутизны пеленгационной характеристики, по уходу нуля пеленгационной характеристики, по ширине главного максимума диаграммы направленности (ДН), по изменению уровня главного максимума ДН.*

**Постановка проблемы в общем виде и анализ последних исследований в данной области.** При рассмотрении технических характеристик антенн широко используется критерий дальней зоны (ДЗ), ставший классическим, при расстоянии до границы ДЗ  $r > 2L^2/\lambda$ , где  $L$  – размер антенны;  $\lambda$  – длина волны. Однако приведенный критерий является ориентировочным. Как показано в [1, 2] детальное рассмотрение этого вопроса, т.е. граница, начиная с которой можно считать интерференционную картину сложившейся, зависит от углов наблюдения, формы области, занимаемой излучающими токами, характера амплитудно-фазового распределения токов в антенне и т.д. В частности, как отмечено в [2], боковые лепестки формируются на расстояниях более близких, чем главный лепесток, причем, чем выше номер бокового лепестка, тем ближе формируется его максимум. Наряду с этим, для антенн с очень низким уровнем боковых лепестков граница дальней зоны существенно отодвигается. Так, при уровне боковых лепестков в чебышевской ДН порядка – 50 дБ дальняя зона определяется условием  $r \geq 20L^2/\lambda$ . Характерно, что невыполнение этого условия сказывается на искажении ДН также и вблизи границы главного и первого лепестков. В частности, при  $r = 2L^2/\lambda$  главный лепесток расширяется и на уровне – 30 дБ полностью поглощает первый лепесток, в тоже время второй боковой лепесток возрастает не более чем на 1 дБ. В [3 – 5] рассмотрены значения дальних границ ближней зоны для сигналов специальной формы.

Из сказанного выше можно сделать вывод, о том, что для расчета

параметров антенн, а точность определения технических параметров определяет работу радиотехнической системы в целом, в зависимости от их конструкции и использования, желательно учитывать неклассический критерий определения ближней границы ДЗ, например, по изменению уровня боковых лепестков, по крутизне пеленгационной характеристики, по уходу нуля пеленгационной характеристики, по ширине ДН, по коэффициенту усиления, по минимаксному критерию, по критерию средне-квадратического отклонения формы ДН от «идеальной», учитывая при этом форму антенны и амплитудно-фазовое распределение на раскрыве.

В последнее время на практике все чаще применяются выпуклые (конформные) фазированные антенные решетки (ФАР): кольцевые, цилиндрические, конические, сферические, эллиптические и т.п. Простейшим случаем выпуклых ФАР, и, в тоже время, позволяющим исключить второстепенные факторы и выявить основные физические зависимости в выпуклых ФАР, являются кольцевые и цилиндрические решетки. Последние, в свою очередь, представляют собой комбинацию кольцевых антенных решеток.

**Целью данной статьи** является определение границы дальней зоны кольцевой антенной решетки (КАР) по различным критериям, в частности:

- по уровню боковых лепестков;
- по уменьшению крутизны пеленгационной характеристики;
- по уходу нуля пеленгационной характеристики;
- по ширине главного максимума ДН;
- по изменению уровня главного максимума ДН.

Выбор перечисленных критериев обусловлен требованиями к точностным характеристикам станций сопровождения аэродинамических объектов.

**Основной материал исследований.** Одним из наиболее простых методов расчета поля ФАР является приближение Гюйгенса-Кирхгофа или физической оптики. При этом методе поле в точке наблюдения представляется суммой сферических волн, излучаемых каждым элементом апертуры (излучающей поверхности выпуклой фазированной антенной решетки). Суммирование производится с учетом их относительных фаз и амплитуд.

Амплитуда поля КАР  $E_{\max}$ , которая сфокусирована в точку  $F(x_F, y_F)$ , расположенную в зоне Френеля, описывается выражением (рис.1):

$$E_{\max}(x_F, y_F, t) = \left| \sum_m^{N_x} \frac{I_m \cos(\theta_H - \alpha_m)}{r_{Hm}} \exp \left\{ -j \left[ 2 \pi f_m \left( t - \frac{r_{Fm}}{c} \right) \right] + \varphi_m \right\} \right|, \quad (1)$$

где  $I_m$ ,  $f_m$ ,  $\varphi_m$  – распределение амплитуд, частот и начальных фаз сигналов в каналах КАР;  $\cos(\theta_H - \alpha_m)$  – диаграмма направленности  $m$ -го элемента;  $r_H$  – расстояние до точки наблюдения;  $r_{Fm}$  – расстояние до точки фокусировки;  $c$  – скорость света.

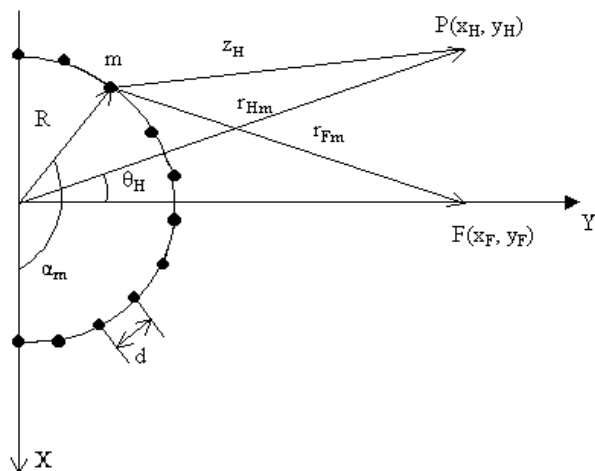


Рис.1. Взаимное расположение КАР и точек наблюдения и фокусировки

Расстояние до точки наблюдения рассчитывается по формуле

$$r_{Hm} = \sqrt{(x_H - x_m)^2 + (y_H - y_m)^2}. \quad (2)$$

Значения расстояний до точки фокусировки  $r_{Fm}$  рассчитывается по формуле

$$r_{Fm} = \sqrt{(x_F - x_m)^2 + (y_F - y_m)^2}, \quad (3)$$

где  $x_F$ ,  $y_F$  – координаты точки фокусировки;  $x_m$ ,  $y_m$  – координаты излучателей КАР.

Соответственно распределение начальных фаз сигналов в каналах

$$\varphi_m = -\frac{2\pi f_m}{c}(y_F - r_{Fm}). \quad (4)$$

Таким образом, найдем границу ДЗ по перечисленным критериям. По превышению ошибки на 10 % дальнейшие расчеты, по мнению авторов, нецелесообразны.

Проведем математическое моделирование при следующих исходных данных:  $\lambda = 0.02$  м;  $R = 64 \lambda$ ;  $N_x = 51 - 201$ ;  $d = \lambda$ . Результаты математическо-

го моделирования приведены на рис. 2 – 5.

**1. Дальняя зона по уровню боковых лепестков** (рис. 2). Нормировка для каждого случая проводилась к максимальному значению ДН. Из графиков рис. 2 видно, что приближение точки наблюдения из классической ДЗ к апертуре приводит к увеличению уровня и смещению максимумов боковых лепестков к главному. На расстояниях менее 0,2 от классической ближней границы ДЗ главный лепесток ДН поглощает боковые. Такой же эффект наблюдается и для линейной антенной решетки.

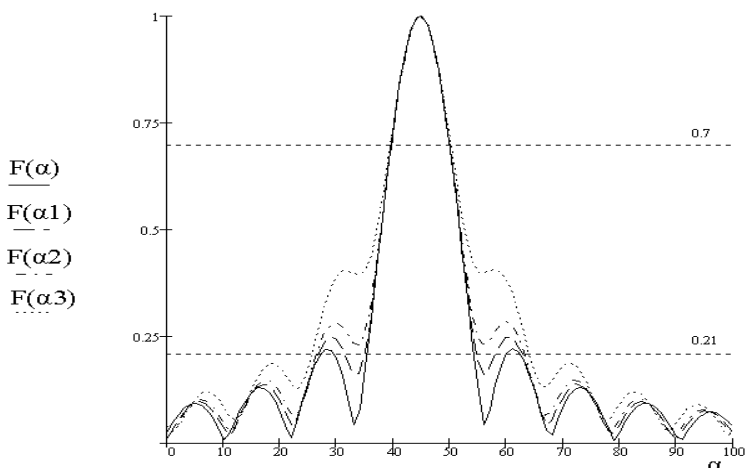


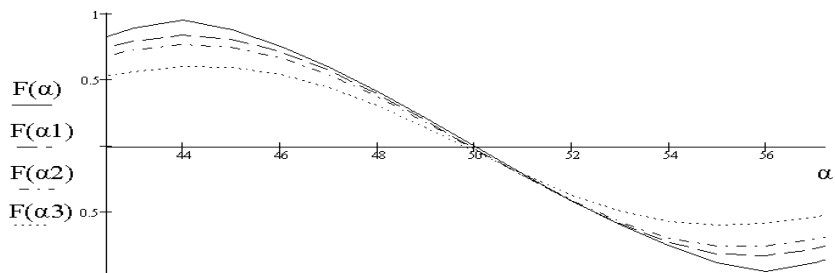
Рис. 2. Диаграммы направленности ДН для случаев, когда точка наблюдения находится в ДЗ, рассчитанной по классическому критерию  $F(\alpha)$  и на расстоянии 0.5, 0.3, 0.2 ( $F(\alpha_1)$ ,  $F(\alpha_2)$ ,  $F(\alpha_3)$  соответственно)

## 2. Дальняя зона по крутизне пеленгационной характеристики.

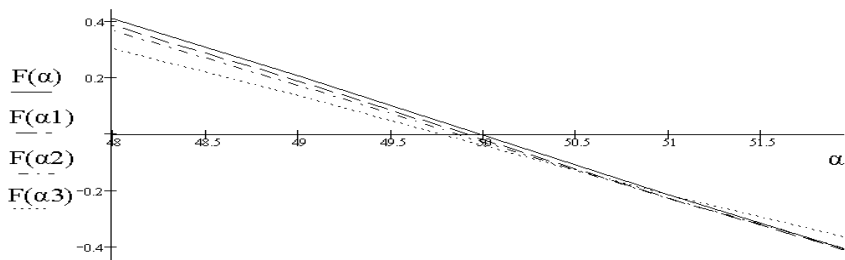
Из графиков, представленных на рис. 3, видно, что при приближении точки наблюдения к апертуре антенны происходит уменьшение крутизны (рис. 3, а) и пеленгационная характеристика смещается относительно нуля. Эти эффекты можно объяснить тем, что в ближней зоне зависимость векторов поля от расстояния носит нерегулярный характер. Структура поля не является закономерной и сложившейся.

На рис. 4 представлены графики зависимости ширины ДН от положения точки наблюдения для различных размеров центрального угла  $\alpha$  излучающего раскрыва КАР ( $\alpha_1 = 45^\circ - F(\alpha_1)$ ;  $\alpha_2 = 90^\circ - F(\alpha_2)$ ;  $\alpha_3 = 120^\circ - F(\alpha_3)$ ;  $\alpha_4 = 180^\circ - F(\alpha_4)$ ). Из графиков видно, что при приближении точки наблюдения к апертуре КАР ДН расширяется тем быстрее, чем меньше центральный угол излучающего раскрыва КАР:

$\alpha_1 = 45^\circ - F(\alpha_1)$ ,  $\alpha_2 = 90^\circ - F(\alpha_2)$ ,  $\alpha_3 = 120^\circ - F(\alpha_3)$ ,  $\alpha_4 = 180^\circ - F(\alpha_4)$ .



а)



б)

Рис. 3. Результаты исследований изменения крутизны пеленгационной характеристики (а) и ухода ее нуля (б)

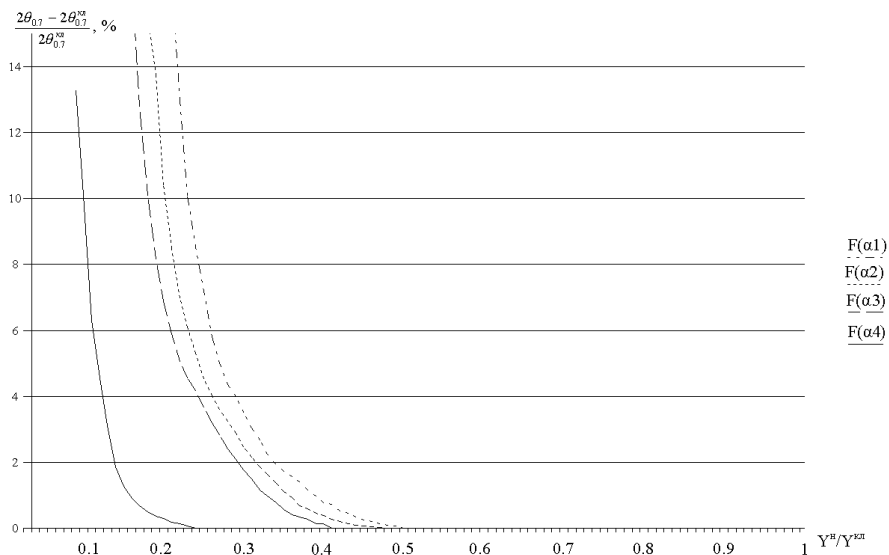


Рис. 4. Зависимости ширины ДН от положения точки наблюдения

На рис. 5 представлены графики, показывающие зависимость изменения уровня главного максимума ДН от положения точки наблюдения.

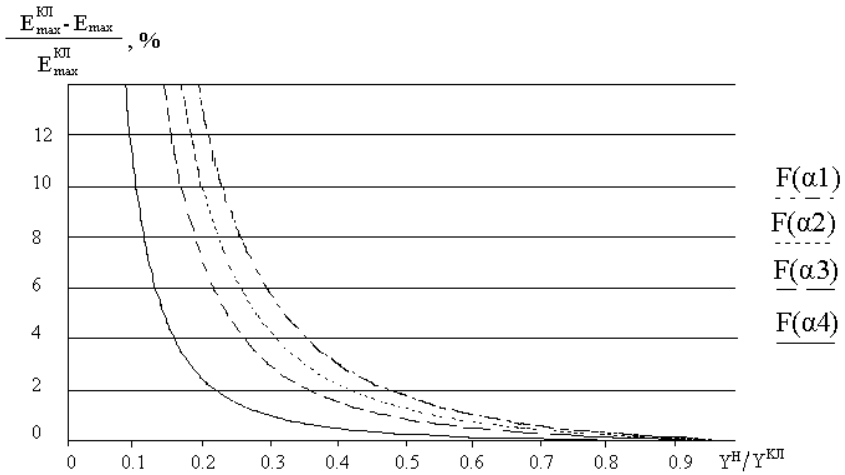


Рис.5. Зависимости амплитуды поля главного максимума ДН от положения точки наблюдения.

Из анализа рис. 5 видно, что при приближении точки наблюдения к кольцевой антенной решетке амплитуда поля в точке наблюдения падает тем быстрее, чем меньше центральный угол раскрытия КАР. При этом суммарная амплитуда поля на выходе КАР для всех центральных углов одинакова.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

1) для расчета ближней границы ДЗ целесообразно использовать различные критерии в зависимости от поставленных задач синтеза КАР и максимально допустимых отклонений исследуемых характеристик от характеристик в ДЗ;

2) уровень боковых лепестков увеличивается с приближением точки наблюдения к антенной решетке. Максимумы боковых лепестков смещаются к главному так, что на определенных расстояниях главный лепесток поглощает боковые;

3) при приближении точки наблюдения из ДЗ в зону Френеля пленгационная характеристика смещается относительно ноля, ее крутизна

уменьшается;

4) при приближении точки наблюдения из ДЗ в зону Френеля диаграмма направленности КАР расширяется, а амплитуда поля в главном максимуме ДН снижается тем быстрее, чем меньше центральный угол раскрыва антенной решетки.

Кроме того, проведенные исследования показали, что интерференционную картину поля, как кольцевой, так и цилиндрической антенных решеток, можно считать сложившейся на расстоянии  $r > L^2 / \lambda$ . Также, при фокусировке исследуемых типов антенных решеток в точку, расположенную в зоне Френеля, ширина ДН, крутизна и ноль пеленгационной характеристики, уровень боковых лепестков по своим характеристикам (параметрам) совпадают с аналогичными параметрами в ДЗ. Амплитуда поля главного максимума несколько выше.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шифрин Я.С. *Вопросы статистической теории антенн*. – М.: Сов. радио, 1970. – 384 с.
2. Шифрин Я.С. *Статистическая теория антенн: (Совр. сост., осн. направления развития)*. – Х.: ХИРЭ, 1985. – 181 с.
3. Zamyatin V.I. Yermakov G.V. *The definition of the time-space and power performances of the ultrawideband antennas* // *Радиофизика и радиоастрономия*. – 2002. – Т. 7, № 4. – С. 375 – 378.
4. Ермаков Г.В. *Анализ возможности применения антенн несинусоидальных волн в радиолокации (обзор)* // *Збірник наукових праць ХВУ*. – Х.: ХВУ. – 2000. – Вып. 4(30). – С. 64 – 68.
5. Воскресенский Д.И., Овчинникова Е.В. *Характеристики сканирующих антенн сверхкоротких импульсов, основанные на спектральном анализе* // *Антенны*. – 2000. – Вып. 3 (46). С. 17 – 26.

Поступила 21.03.2003

**ЗАМЯТИН Вадим Иванович**, доктор техн. наук профессор, профессор кафедры Харьковского военного университета. В 1964 году окончил ВИРТА ПВО. Область научных исследований – теория антенной техники.

**ЛЕВАГИН Геннадий Андреевич**, аспирант Харьковского военного университета. В 1995 году окончил Харьковский военный университет по программе КВЗРИУ. Области научных исследований – антенная техника, пространственно-временная модуляция сигналов. e-mail: leo-gi@mail.ru

**ЛОСКУТОВ Андрей Анатольевич**, преподаватель кафедры Харьковского военного университета. В 1992 году окончил Киевское ВЗРИУ. Область научных исследований – антенная техника, пространственно-временная модуляция сигналов.

**ПОРОШИН Сергей Михайлович**, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры во-

