

УДК 621.396.677.494

## ИЗМЕРЕНИЕ ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ ЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН МЕТОДОМ ЗВУКОВОГО ЭКВИВАЛЕНТА

К. т. н. А. В. Садченко, О. А. Кушниренко, Ю. А. Савчук, И. А. Валянский, А. Ю. Мороз

Одесский национальный политехнический университет  
Украина, г. Одесса  
anjand@mail.ru, kuuk@mail.ru

*Предложена методика измерения коэффициента направленного действия апертурных антенн на эквивалентных звуковых частотах с использованием зависимости звукового давления от направления в пространстве. Определены условия, при которых результаты, полученные в звуковом и сверхвысокочастотном диапазоне частот, совпадают.*

*Ключевые слова: диаграмма направленности, коэффициент направленного действия, апертура, прямофокусная зеркальная антенна, метод полигонных измерений, эквивалентная звуковая частота.*

К числовым характеристикам направленности антенны относятся [1] коэффициент направленного действия (КНД), коэффициент усиления, уровни бокового и обратного излучений. Из них наиболее важной характеристикой является КНД. Измерение КНД антенн в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ) проводят такими методами как метод сравнения с эталоном, метод зеркального отображения [1], апертурно-зондовый метод измерения в ближней зоне антенны. Измерения КНД непосредственно в СВЧ-диапазоне являются очень дорогостоящими [2]. С другой стороны, стоимость генерирующих и приемных устройств для акустического диапазона частот на несколько порядков ниже.

В данной работе предложена методика измерения КНД антенны методом звукового эквивалента, основанном на идентичности числовых значений КНД в СВЧ-диапазоне и на звуковых частотах.

Известно, что для антенны с симметричной формой амплитудной диаграммы направленности (ДН) максимальное значение КНД определяется выражением

$$D_0 = 2 \left( \int_{-\pi/2}^{\pi/2} F^2(\Theta) \cos(\Theta) d\Theta \right)^{-1},$$

где  $F^2(\Theta)$  — амплитудная ДН антенны по мощности.

Таким образом, определив или измерив амплитудную ДН, можно определить КНД:

$$D_0 \approx 360^\circ / (2\Theta_{0,5}^\circ),$$

где  $2\Theta_{0,5}^\circ$  — ширина амплитудной ДН антенны по мощности на уровне 0,5.

Для оценки амплитудной ДН можно использовать метод полигонных измерений ДН в дальней зоне антенны [1], который не требует внесения изменений в конструкцию исследуемой антенны.

Так как форма рефлектора зеркальной параболической антенны не зависит от частоты, ее направленные свойства можно измерять в звуковом диапазоне частот. При этом эквивалентная звуковая частота должна обеспечивать то же значение КНД, что и в СВЧ-диапазоне.

Коэффициент направленного действия для апертурных антенн и плоских антенных решеток [3] в направлении главного максимума определяется соотношением

$$D_0 = \frac{4\pi S_a}{\lambda^2} v,$$

где  $v$  — коэффициент использования поверхности, зависящий от амплитудного распределения поля в раскрыве параболоида,  $0 < v \leq 1$  ( $v = 1$  в случае равномерного распределения поля);  $\lambda$  — рабочая длина волны;  $S_a$  — площадь апертуры (для зеркальной антенны с параболическим рефлектором — это площадь раскрыва параболоида,  $S_a = \pi R_0^2$ , где  $R_0$  — радиус раскрыва зеркала).

Длина электромагнитной волны связана с рабочей частотой и скоростью света  $C$  ( $C = 3 \cdot 10^8$  м/с):

$$\lambda = C / f = 3 \cdot 10^8 / f.$$

Длина волны звукового колебания связана с рабочей частотой и скоростью звука  $C_{ЗВ}$  (при температуре  $20^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении  $P = 101$  кПа  $C_{ЗВ} = 340$  м/с)

$$\lambda_{ЗВ} = C_{ЗВ} / f_{ЗВ} = 340 / f_{ЗВ}.$$

Принимая амплитудный закон распределения электромагнитного поля в раскрыве рефлектора равномерным, т. е.  $\nu = 1$ , запишем формулу для КНД антенны в звуковом диапазоне частот:

$$D_{03} = 4\pi S_a / \lambda_{ЗВ}^2 = 4\pi^2 R_0^2 / \lambda_{ЗВ}^2.$$

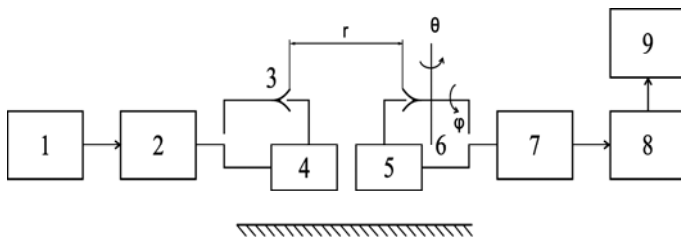
Определим частоту звукового диапазона, обеспечивающую такой же КНД, как и в СВЧ-диапазоне для антенны с неизменными геометрическими параметрами.

Приравнявая выражения для КНД в разных диапазонах частот, определим эквивалентную частоту в звуковом диапазоне  $f_{ЗВ}$  и в электромагнитном диапазоне  $f$ :

$$f_{ЗВ} = f C_{ЗВ} / C; f = f_{ЗВ} C / C_{ЗВ}.$$

Направленное распространение имеет плоская звуковая волна, которая образуется в том случае, если минимальный линейный размер излучателя превышает длину волны. Преобразование плоской волны в сферическую в рефлекторе зеркальной параболической антенны также произойдет, если ее диаметр превышает длину принятой волны.

Структурная схема измерителя КНД в звуковом диапазоне частот приведена на рисунке.



Структурная схема измерителя КНД в звуковом диапазоне частот:  
 1 — генератор звуковой частоты; 2 — усилитель; 3 — вспомогательная передающая антенна; 4 — звуковой излучатель; 5 — микрофон; 6 — исследуемая антенна с опорно-поворотным механизмом; 7 — усилитель; 8 — квадратичный детектор; 9 — вольтметр

В качестве излучателя звуковой волны 3, 4 можно использовать, например, акустический рупор с экспоненциальным профилем, обеспечивающим согласование акустических сопротивлений излучателя и воздушной среды. В фокусе параболоида вращения устанавливается ненаправленный микрофон 5 с амплитудно-частотной характеристикой, позволяющей проводить измерения в заданном диапазоне частот. Выход микрофона через усилитель 7 подключается к квадратичному детектору 8, и далее к цифровому или аналоговому вольтметру 9.

Предложенная схема для измерения коэффициента направленного действия зеркальных параболических антенн в звуковом диапазоне частот позволяет добиться существенного сокращения материальных затрат на организацию и проведение полигонных испытаний с целью оценки характеристик направленности апертурных антенн.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Устройства СВЧ и антенны / Под ред. Д. И. Воскресенского.— Москва: Радиотехника, 2006.
2. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Под ред. Д. И. Воскресенского.— Москва: Радио и связь, 2012.
3. Садченко А. В., Кушниренко О. А., Троянский О. В. Алгоритм синтеза линейных антенных решеток с требуемой диаграммой направленности и целочисленными амплитудными коэффициентами // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2015.— № 2-3.— С. 15–18.

A. V. Sadchenko, O. A. Kushnirenko

#### Measurement of numerical characteristics of directivity of reflector antennas using sonic equivalent method

The paper presents a method of measuring the coefficient of directive gain of aperture antennas on the equivalent sound frequencies using sound pressure dependence on the direction in space. The conditions are determined under which the results obtained in the audio band and the microwave frequencies coincide.

Keywords: *directivity pattern, directional factor, aperture, direct focal reflector antenna, method of polygon measurements, equivalent audio frequency.*