

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОТРАЖЕНИЙ ОТ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО БОКОВЫМ ЛЕПЕСТКАМ

Меркурьев Д.Э., Зубков М.В., Беседа А.Л.

ОАО “Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры”

Рассмотрим приём эхо-сигналов несколькими каналами приёма с основной и дополнительной антеннами, имеющими разнесённые фазовые центры. Поверхностно распределённая помеха воздействует на РЛС не только по основному лепестку, но и по боковым лепесткам азимутальной диаграммы направленности (ДН) антенны. Для разнесённых по высоте антенн углы прихода отражений по основному и боковым лепесткам (БЛ) азимутальной ДН в угломестной плоскости - равны. Доплеровские спектры будем считать идентичными. Тогда происходит когерентное сложение эхо-сигналов, то есть складываются амплитуды отражений. Значит, учёт помехи по боковым лепесткам заключается в добавлении суммарной амплитуды помехи по боковым лепесткам к амплитуде помехи по основному лепестку.

Наиболее просто учесть помеху по боковым лепесткам можно через средний уровень боковых лепестков (СУБЛ), отражающий количество энергии, излучаемое всеми боковыми лепестками, отнесённое ко всей излучаемой энергии

$$K = 10 \lg \frac{P_{\text{бл}}}{P_{\Sigma}} = 10 \lg \frac{P_{\Sigma} - P_0}{P_{\Sigma}} = 10 \lg \left[1 - \frac{P_0}{P_{\Sigma}} \right], \quad (1)$$

где $P_{\text{бл}}$ – мощность, излучаемая боковиками; P_{Σ} – вся излучаемая мощность;

K – величина СУБЛ в дБ;

P_0 – мощность, излучаемая основным лепестком.

Величина СУБЛ для обычных антенн лежит в диапазоне $-5 \div -20$ дБ, для антенн со сверхмалым уровнем боковых лепестков СУБЛ меньше -20 дБ [1,2]. Для случая аппроксимации ДН законом $\text{sinc } x$, 90 % мощности излучается основным лепестком и величина СУБЛ составляет -10 дБ.

При заданном СУБЛ мощность помехи по боковым лепесткам можно легко рассчитать из выражения (1)

$$P_{\text{бл}} = \frac{P_0}{10^{-0,1K} - 1}, \quad (2)$$

а величина P_0 рассчитывается из основного уравнения радиолокации.

Амплитуда помехи определяется следующим образом

$$U_{\Sigma} = \sqrt{2P_0} + \sqrt{2P_{\text{бл}}}. \quad (3)$$

Описанный метод применим только тогда, когда антенная система РЛС состоит из идентичных антенн. В случае разных антенн необходимо учитывать различие направленных свойств, взаимное расположение основных и боковых лепестков ДН антенн.

Целесообразно использовать следующую методику для расчёта амплитуд сигналов каналов приёма РЛС:

1. Исходя из ширины по уровню -3 дБ азимутальной ДН основной антенны (излучающей), рассчитывается эффективная площадь рассеивания (ЭПР) разрешаемой поверхности. Полученная ЭПР считается постоянной для всех боковых лепестков ДН.

2. Задаётся количество учитываемых боковых лепестков ДН основной антенны N и рассчитываются мощности помехи для каждого боковика из основного уравнения радиолокации. ДН аппроксимируется законом $\text{sinc } x$. Угол места помехи одинаков для всех боковиков. Азимут помехи для каждого боковика берётся равным направлению на его максимум

$$\alpha_i = (0,5 + i) \Delta\alpha, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

где α_i – направление на максимум i -го боковика; $\Delta\alpha$ – ширина бокового лепестка по уровню нуля, которая для ДН вида $\text{sinc } x$ определяется как

$$\Delta\alpha \approx 1,129\theta_{0,5}. \quad (5)$$

ДН симметрична относительно нуля и количество боковых лепестков на самом деле составляет $2N$. С учётом этого обстоятельства мощность i -ой помехи определяется выражением

$$P_i = 2 \frac{P_{изл} \lambda^2 S_{nn}}{(4\pi)^3 R^4} [G_{ум}(\bar{\beta}_{nn}) G_{аз}(\alpha_i)]^4 D_{осн}^2, \quad (6)$$

где $G_{ум}(\bar{\beta}_{nn})$ – угломестная ДН основной антенны; $G_{аз}(\alpha_i)$ – азимутальная ДН основной антенны, $D_{осн}$ – КНД основной антенны.

3. Рассчитываются мощности отражений, воздействующих на дополнительную антенну по азимутам (4),

$$P_i = 2 \frac{P_{изл} \lambda^2 S_{nn}}{(4\pi)^3 R^4} [G_{ум}(\bar{\beta}_{nn}) G_{аз}(\alpha_i)]^2 D_{осн} [G_{ум \partial on}(\bar{\beta}_{nn}) G_{аз \partial on}(\alpha_i)]^2 D_{\partial on} \quad (7)$$

где $G_{ум \partial on}(\bar{\beta}_{nn})$ – угломестная ДН дополнительной антенны; $G_{аз \partial on}(\alpha_i)$ – азимутальная ДН дополнительной антенны; $D_{\partial on}$ – к-т направленного действия (КНД) дополнительной антенны.

4. Рассчитываются суммарные амплитуды помехи для каждого канала приёма

$$U_{\Sigma_{осн}} = \sum_{i=0}^N \sqrt{2P_{iосн}}, \quad (8)$$

$$U_{\Sigma_{\partial on}} = \sum_{i=0}^N \sqrt{2P_{i\partial on}},$$

где $i = 0$ соответствует основному лепестку.

Следует отметить, что приведённая методика учёта помехи по боковым лепесткам применима в случае однородной по текущему кольцу дальности подстилающей поверхности.

Произведенные расчеты показывают, что мощность помехи с учётом отражений по боковым лепесткам приёмо-передающей антенны значительно превышает мощность без учёта этих отражений (особенно в дополнительном канале приёма). Например, для РЛС с двумя каналами приёма при следующих параметрах:

- мощность излучения 150 кВт;
- длина волны 3,2 см;
- длительность зондирующего импульса 0,5 мкс;
 - для штатной приёмо-передающей антенны

$$\theta_{0,5} = 0,5^\circ, \quad \varphi_{0,5} = 15^\circ, \quad \text{КНД} = 37,40 \text{ дБ};$$

- для дополнительной приёмной антенны

$$\theta_{0,5} = 2^\circ, \quad \varphi_{0,5} = 40^\circ, \quad \text{КНД} = 27,12 \text{ дБ};$$

- угол наклона антенной системы вверх 3° ;

- количество учитываемых боковых лепестков по 10 с двух сторон от основного лепестка; расчет показывает, что на дальности 30 км мощность помехи в основном канале составляет примерно $2 \cdot 10^{-13}$ Вт без учёта отражений по боковым лепесткам и $3 \cdot 10^{-13}$ Вт с учётом отражений, а в дополнительном канале приёма – $2 \cdot 10^{-14}$ Вт и $5 \cdot 10^{-14}$ Вт соответственно.

Таким образом, расчет по данной методике позволяет учитывать мощность помехи в основном канале приёма с учётом отражений по боковым лепесткам.

Литература

1. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решёток: Учебное пособие для вузов / В.С. Филиппов, Л.И. Пономарёв, А.Ю. Гринёв и др.; Под ред. Д.И. Воскресенского. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Радио и связь, 1994. – 592 с.
2. Farina A. Antenna-based signal processing techniques for radar systems. – Boston – London: Artech House Inc. – 1992. – 370 p.