

УДК 621.396.67

**В. Н. Харченко, А. А. Лаврут**

Харківський військовий університет

## Особенности энергетического расчета спутниковых радиопередающих антенн

Надійшла до редакції 23.11.00

Пропонується справочна математична модель діаграми напрямленості антени бортового ретранслятора космічного апарата зв'язку з еліптичним перерізом головної пелюстки.

Для выполнения энергетического расчета спутниковых радиопередающих антенн и оценки их помехозащищенности необходимо знать форму диаграммы направленности (ДН) антенны бортового ретранслятора космического аппарата связи. Как правило, точных данных нет, и при расчетах используются математические модели ДН.

В рекомендациях МККР [2] приведена справочная (приближенная) математическая модель ДН, имеющая вид

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_m - 3 \frac{\varphi^2}{\varphi_0^2} & \text{при } 0 \leq \varphi \leq a\varphi_0, \\ G_m + L_S & \text{при } a\varphi_0 < \varphi \leq b\varphi_0, \\ G_m + L_S + 20 - 25 \lg \frac{\varphi}{\varphi_0} & \text{при } b\varphi_0 < \varphi < \varphi_1, \\ 0 & \text{при } \varphi \geq \varphi_1, \end{cases} \quad (1)$$

где

$$G_m = 44.44 - 20 \lg \varphi_0$$

— максимальное усиление антенны в направлении оси главного лепестка ДН, дБ;  $\varphi_0$ , град — ширина главного лепестка ДН на уровне  $-3$  дБ;  $\varphi$  — угол между направлением главного излучения антенны бортового ретранслятора и направлением на земную станцию;  $\varphi_1$  — значение угла, при котором третье выражение в (1) обращается в нуль:

$$\varphi_1 = 10^{G_m + L_S + 20 + 25 \lg \varphi_0},$$

$L_S$ , дБ — относительный уровень максимального бокового лепестка ДН, зависимость значений которого от коэффициентов  $a$  и  $b$  приведены в таблице.

Зависимость значений относительного уровня максимального бокового лепестка ДН от коэффициентов  $a$  и  $b$ .

$L_S$	$a$	$b$
-20	2.58	6.32
-25	2.88	6.32
-30	3.16	6.32

Однако выражение (1) может быть использовано только для антенн с осесимметричной ДН, что является существенным ограничением, поскольку в ряде систем спутниковой связи («Intelsat», TDF, «Italsat») используются бортовые антенны как с круговым, так и с эллиптическим сечением ДН основного лепестка [3]. Для инженерных расчетов предлагается справочная математическая модель диаграммы направленности, которая в общем виде представлена выражением

$$G(\varphi, \sigma) = G_{\max} F^2 U \sqrt{\cos^2 \sigma + K \sin^2 \sigma}, \quad (2)$$

где

$$U = \frac{\pi D}{\lambda} \sin \varphi, \quad K = \beta / \alpha,$$

$$G_{\max} = 44.44 - 10 \lg \alpha - 10 \lg \beta, \quad (3)$$

$\alpha$  и  $\beta$  — оси эллипса сечения главного лепестка ДН, выраженные в градусах;  $D$  — диаметр антенны

бортового ретранслятора в метрах;  $\sigma$  — угол, характеризующий наклон главной оси эллипса относительно параллели.

Для антенны с равномерным распределением поля в раскрыве выражение для ДН преобразуется к виду

$$G(\varphi, \sigma) = G_{\max} \left[ \frac{2I_1 \left( \frac{\pi D}{\lambda} \sin \varphi \sqrt{\cos^2 \sigma + K^2 \sin^2 \sigma} \right)}{\frac{\pi D}{\lambda} \sin \varphi \sqrt{\cos^2 \sigma + K^2 \sin^2 \sigma}} \right]^2, \quad (4)$$

где  $I_1(x)$  — функция Бесселя первого порядка. Вычисление (4) может быть упрощено, если воспользоваться разложением в ряд отношения  $I_1(x)/x$  [1] и ограничиться его первыми двумя членами, что вполне достаточно для инженерных расчетов. При этом получим

$$\frac{I_1(x)}{x} = 0.5 - 0.5625 \left( \frac{x}{3} \right)^2. \quad (5)$$

На основании выражений (4) и (5)

$$G(\varphi, \sigma) = G_{\max} [1 - 0.125x^2]^2,$$

где

$$x = \frac{1.52}{\sin \beta / 2} \sin \varphi \sqrt{\cos^2 \sigma + (\beta / \alpha)^2 \sin^2 \sigma}.$$

На основании приведенных формул может быть предложена следующая справочная диаграмма для бортовых антенн с эллиптическим сечением главного лепестка ДН [4]:

$$\begin{aligned} G(\varphi, \omega, \Delta) &= \\ &= G_m + 20 \lg \left[ 1 - \left( \frac{0.5374}{\sin \beta / 2} \sin \varphi \sqrt{\cos^2 \sigma + (\beta / \alpha)^2 \sin^2 \sigma} \right)^2 \right] \\ &\quad \text{при } 0 \leq \varphi \leq \varphi_0, \\ &= G_m + L_S \quad \text{при } \varphi_0 < \varphi \leq b\varphi_0, \\ &= G_m + L_S + 20 + 25 \lg \frac{\varphi}{\varphi_0} \quad \text{при } b\varphi_0 < \varphi < \varphi_1, \\ &= 0 \quad \text{при } \varphi \geq \varphi_1, \end{aligned}$$

где  $G_{\max}$  определяется выражением (3),  $\sigma = \omega - \Delta$ ,  $\Delta$  — угол наклона большой оси эллипса относительно параллели,  $b = 6.32$  (таблица),

$$\varphi_0 = \arcsin \left\{ \frac{\sqrt{1 - 10^{-(G_m + L_S)/20}}}{\frac{0.5374}{\sin \beta / 2} \sin \varphi \sqrt{\cos^2 \sigma + (\beta / \alpha)^2 \sin^2 \sigma}} \right\};$$

угол  $\omega$  между направлением на земную станцию и параллелью определяется выражениями

$$\begin{aligned} \omega &= \arctg \frac{\varphi - \varphi_{\text{ц}}}{\psi - \psi_{\text{ц}}} && \text{при } \varphi \geq \varphi_{\text{ц}} \text{ и } \psi \geq \psi_{\text{ц}}, \\ &= 90^\circ - \arctg \frac{\varphi - \varphi_{\text{ц}}}{\psi - \psi_{\text{ц}}} && \text{при } \varphi \geq \varphi_{\text{ц}} \text{ и } \psi \ll \psi_{\text{ц}}, \\ &= 180^\circ + \arctg \frac{\varphi - \varphi_{\text{ц}}}{\psi - \psi_{\text{ц}}} && \text{при } \varphi \ll \varphi_{\text{ц}} \text{ и } \psi \ll \psi_{\text{ц}}, \\ &= 270^\circ - \arctg \frac{\varphi - \varphi_{\text{ц}}}{\psi - \psi_{\text{ц}}} && \text{при } \varphi \ll \varphi_{\text{ц}} \text{ и } \psi \gg \psi_{\text{ц}}, \\ &= 0^\circ && \text{при } \varphi = \varphi_{\text{ц}} \text{ и } \psi \geq \psi_{\text{ц}}, \\ &= 180^\circ && \text{при } \varphi = \varphi_{\text{ц}} \text{ и } \psi \ll \psi_{\text{ц}}, \\ &= 90^\circ && \text{при } \varphi \gg \varphi_{\text{ц}} \text{ и } \psi = \psi_{\text{ц}}, \\ &= 270^\circ && \text{при } \varphi \ll \varphi_{\text{ц}} \text{ и } \psi = \psi_{\text{ц}}, \end{aligned}$$

где  $\varphi$  и  $\psi$  — географические координаты земной станции,  $\varphi_{\text{ц}}$  и  $\psi_{\text{ц}}$  — географические координаты точки прицеливания бортовой антенны.

Очевидно, что с помощью предложенной математической модели можно задавать диаграммы направленности антенн как с круговым, так и с эллиптическим сечением главного лепестка. Это делает ее более универсальной, что позволяет производить энергетические расчеты и оценивать помехозащищенность систем спутниковой связи, использующих различные типы бортовых антенн.

1. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисление для ВУЗов: Учеб. пособие. — М: Наука, 1985.— 429 с.
2. Рекомендации и отчеты МККР. Том IV, часть 1. Фиксированная спутниковая служба. — Дубровник, 1986.—560 с.
3. Техника электросвязи за рубежом: Справочник / Л. И. Яковлев, В. Д. Федоров, Г. В. Дедюкин, А. С. Немировский. — М.: Радио и связь, 1990.—256 с.
4. Харченко В. Н., Лаврут А. А. Особенности оценки помехозащищенности спутниковых радиолиний // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.—2000.— № 4.—С. 96.

#### PECULIARITIES OF ENERGETICS CALCULATIONS FOR SATELLITE RADIO COMMUNICATION LINES

V. N. Kharchenko and A. A. Lavrut

We suggest a reference mathematical model for a directional antenna diagram of an onboard relay station of a space communication satellite with the elliptical cross section of the main lobe.