

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R ВО.1443-2

**Эталонные диаграммы направленности антенн земных станций РСС для использования с целью оценки помех, вызываемых спутниками НГСО в полосах частот, охватываемых Приложением 30 к РР\***

(Вопрос МСЭ-R 73/6)

(2000-2002-2006)

**Сфера применения**

Целью настоящей Рекомендации является предоставление трехмерных эталонных диаграмм направленности антенн земных станций для радиовещательной спутниковой службы (РСС), которые могут быть использованы для расчета помех, создаваемых НГСО спутниками ФСС антеннам земных станций РСС.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что для антенн земных станций РСС были использованы эталонные диаграммы направленности приемных антенн ГСО РСС, указанные в Дополнении 5 к Приложению 30 РР, с целью разработки Планов РСС и установления эталонной диаграммы направленности излучения, представляющей собой огибающую боковых лепестков;
- b) что такие эталонные диаграммы направленности излучения необходимы для расчетов помех, действующих фиксированные или перевозимые приемники РСС и спутники ГСО, для обеспечения надлежащей защиты Планов РСС;
- c) что в условиях существования нескольких мешающих источников, положение которых значительно меняется со временем, уровень неизбежно принимаемой помехи зависит от провалов и пиков диаграмм направленности усиления затронутой антенны земной станции РСС;
- d) что в отношении земных станций РСС подходящие эталонные диаграммы направленности необходимы с целью использования при оценке помех от НГСО систем ФСС;
- e) что для упрощения компьютерного моделирования помехи эталонные диаграммы направленности должны охватывать все внеосевые углы от  $0^\circ$  до  $\pm 180^\circ$  во всех плоскостях;
- f) что эталонные диаграммы направленности должны соответствовать результатам измерений в широком диапазоне потребительских антенн земных станций РСС;
- g) что целесообразно установить различные эталонные диаграммы направленности для различных диапазонов размеров антенн;
- h) что диаграммы направленности могут иметь характеристики, которые могут быть важны при моделировании помех НГСО, например в случае небольших антенн со смещенным облучателем,

---

\* Основа для диаграмм направленности, представленных в настоящей Рекомендации, включая методику анализа и нанесения на график данных, с помощью которых измеряют точность соответствия наборов данных рекомендуемой диаграмме направленности, содержится в Отчете МСЭ-R ВО.2029 – Измерения и относящийся к ним анализ диаграмм направленности земных станций радиовещательной спутниковой службы. Этот Отчет вместе с исходными данными и сравнительными таблицами, используемыми для проведения графического анализа, содержится на CD-ROM, предоставляемом МСЭ.

рекомендует,

1 чтобы для расчетов помех, создаваемых НГСО спутниками ФСС антеннам земных станций РСС, обязательно применялись эталонные диаграммы направленности излучения антенн земных станций, описанные в Приложении 1;

2 чтобы использовалась описанная в Приложении 2 методика преобразования относительного азимута и угла места обследуемого спутника НГСО в ту же самую систему координат, которая применяется для трехмерной диаграммы направленности антенны;

3 чтобы следующие примечания считались частью настоящей Рекомендации:

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Диаграмма направленности излучения с кроссполяризацией может иметь важность при расчетах помех НГСО. Вопрос требует дальнейшего изучения.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Настоящая Рекомендация основана на измерениях и анализе параболических антенн. Если будут разрабатываться или рассматриваться для использования в РСС новые антенны земных станций, то эталонные диаграммы направленности антенн, представленные в данной Рекомендации, должны быть соответствующим образом обновлены.

## Приложение 1

### Эталонные диаграммы направленности излучения антенн РСС

Для  $11 \leq D/\lambda \leq 25,5$

$$G(\varphi) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left( \frac{D\varphi}{\lambda} \right)^2 \quad \text{для} \quad 0 \leq \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{для} \quad \varphi_m \leq \varphi < 95\lambda/D$$

$$G(\varphi) = 29 - 25 \log(\varphi) \quad \text{для} \quad 95\lambda/D \leq \varphi < 36,3^\circ$$

$$G(\varphi) = -10 \quad \text{для} \quad 36,3^\circ \leq \varphi < 50^\circ$$

для  $56,25^\circ \leq \theta < 123,75^\circ$

$$G(\varphi) = M_1 \cdot \log(\varphi) - b_1 \quad \text{для} \quad 50^\circ \leq \varphi < 90^\circ$$

$$G(\varphi) = M_2 \cdot \log(\varphi) - b_2 \quad \text{для} \quad 90^\circ \leq \varphi < 180^\circ,$$

где:

$$M_1 = \frac{2 + 8 \cdot \sin(\theta)}{\log\left(\frac{90}{50}\right)} \quad \text{и} \quad b_1 = M_1 \cdot \log(50) + 10$$

где:

$$M_2 = \frac{-9 - 8 \cdot \sin(\theta)}{\log\left(\frac{180}{90}\right)} \quad \text{и} \quad b_2 = M_2 \cdot \log(180) + 17$$

для  $0^\circ \leq \theta < 56,25^\circ$  и  $123,75^\circ \leq \theta < 180^\circ$

$$G(\varphi) = M_3 \cdot \log(\varphi) - b_3 \quad \text{для } 50^\circ \leq \varphi < 120^\circ$$

$$G(\varphi) = M_4 \cdot \log(\varphi) - b_4 \quad \text{для } 120^\circ \leq \varphi < 180^\circ,$$

где:

$$M_3 = \frac{2 + 8 \cdot \sin(\theta)}{\log\left(\frac{120}{50}\right)} \quad \text{и} \quad b_3 = M_3 \cdot \log(50) + 10,$$

где:

$$M_4 = \frac{-9 - 8 \cdot \sin(\theta)}{\log\left(\frac{180}{120}\right)} \quad \text{и} \quad b_4 = M_4 \cdot \log(180) + 17$$

для  $180^\circ \leq \theta < 360^\circ$

$$G(\varphi) = M_5 \cdot \log(\varphi) - b_5 \quad \text{для } 50^\circ \leq \varphi < 120^\circ$$

$$G(\varphi) = M_6 \cdot \log(\varphi) - b_6 \quad \text{для } 120^\circ \leq \varphi < 180^\circ,$$

где:

$$M_5 = \frac{2}{\log\left(\frac{120}{50}\right)} \quad \text{и} \quad b_5 = M_5 \cdot \log(50) + 10,$$

где:

$$M_6 = \frac{-9}{\log\left(\frac{180}{120}\right)} \quad \text{и} \quad b_6 = M_6 \cdot \log(180) + 17$$

где:

$D$ : диаметр антенны

$\lambda$ : длина волны, выраженная в тех же единицах, что и диаметр

$G$ : усиление

$\varphi$ : внеосевой угол антенны относительно осевого направления (градусы)

$\theta$ : плоский угол антенны (градусы) (азимут  $0^\circ$  в горизонтальной плоскости).

$$G_{max} = 20 \log\left(\frac{D}{\lambda}\right) + 8,1 \quad \text{дБи}$$

$$G_1 = 29 - 25 \log\left(95 \frac{\lambda}{D}\right) \quad \text{дБи}$$

$$\varphi_m = \frac{\lambda}{D} \sqrt{\frac{G_{max} - G_1}{0,0025}} \quad \text{градусы}$$

Для  $25,5 < D/\lambda \leq 100$

$$G(\varphi) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} (D\varphi/\lambda)^2 \quad \text{дБи} \quad \text{для} \quad 0 < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{для} \quad \varphi_m \leq \varphi < (95\lambda/D)$$

$$G(\varphi) = 29 - 25 \log \varphi \quad \text{дБи} \quad \text{для} \quad (95\lambda/D) \leq \varphi < 33,1^\circ$$

$G(\varphi) = -9$	дБи	для	$33,1^\circ < \varphi \leq 80^\circ$
$G(\varphi) = -4$	дБи	для	$80^\circ < \varphi \leq 120^\circ$
$G(\varphi) = -9$	дБи	для	$120^\circ < \varphi \leq 180^\circ$ ,

где:

$$G_{max} = 20 \log (D/\lambda) + 8,1 \quad \text{дБи}$$

$$G_1 = 29 - 25 \log (95\lambda/D) \quad \text{дБи}$$

$$\varphi_m = (\lambda/D) \sqrt{\frac{G_{max} - G_1}{0,0025}}$$

Для  $D/\lambda > 100$

$$G(\varphi) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} (D\varphi/\lambda)^2 \quad \text{дБи} \quad \text{для} \quad 0 < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{дБи} \quad \text{для} \quad \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r$$

$$G(\varphi) = 29 - 25 \log \varphi \quad \text{дБи} \quad \text{для} \quad \varphi_r \leq \varphi < 10^\circ$$

$$G(\varphi) = 34 - 30 \log \varphi \quad \text{дБи} \quad \text{для} \quad 10^\circ \leq \varphi < 34,1^\circ$$

$$G(\varphi) = -12 \quad \text{дБи} \quad \text{для} \quad 34,1^\circ \leq \varphi < 80^\circ$$

$$G(\varphi) = -7 \quad \text{дБи} \quad \text{для} \quad 80^\circ \leq \varphi < 120^\circ$$

$$G(\varphi) = -12 \quad \text{дБи} \quad \text{для} \quad 120^\circ \leq \varphi < 180^\circ,$$

где:

$$G_{max} = 20 \log (D/\lambda) + 8.1 \quad \text{дБи}$$

$$G_1 = -1 + 15 \log (D/\lambda) \quad \text{дБи}$$

$$\varphi_m = (\lambda/D) \sqrt{\frac{G_{max} - G_1}{0,0025}}$$

$$\varphi_r = 15,85 (D/\lambda)^{-0,6} \quad \text{градусы}$$

## Приложение 2

### Геометрические преобразования для использования с трехмерной моделью антенны

#### Определение $\theta$

$\theta$  определяется как плоский угол спутника НГСО относительно плоскости под углом ноль градусов модели антенны (соответствующей стандартной сборке смещенного облучателя, смонтированной на основании). Если смотреть с земной станции, то линия  $\theta = 0$  находится справа, а  $\theta$  возрастает в направлении против хода часовой стрелки.

#### Подход к расчету

На рисунке 1 показан геометрический подход к расчету плоского угла  $\theta$ . Все расчеты показаны с использованием градусов, хотя обычно при расчете тригонометрических величин они должны быть преобразованы в радианы.

## Входные данные

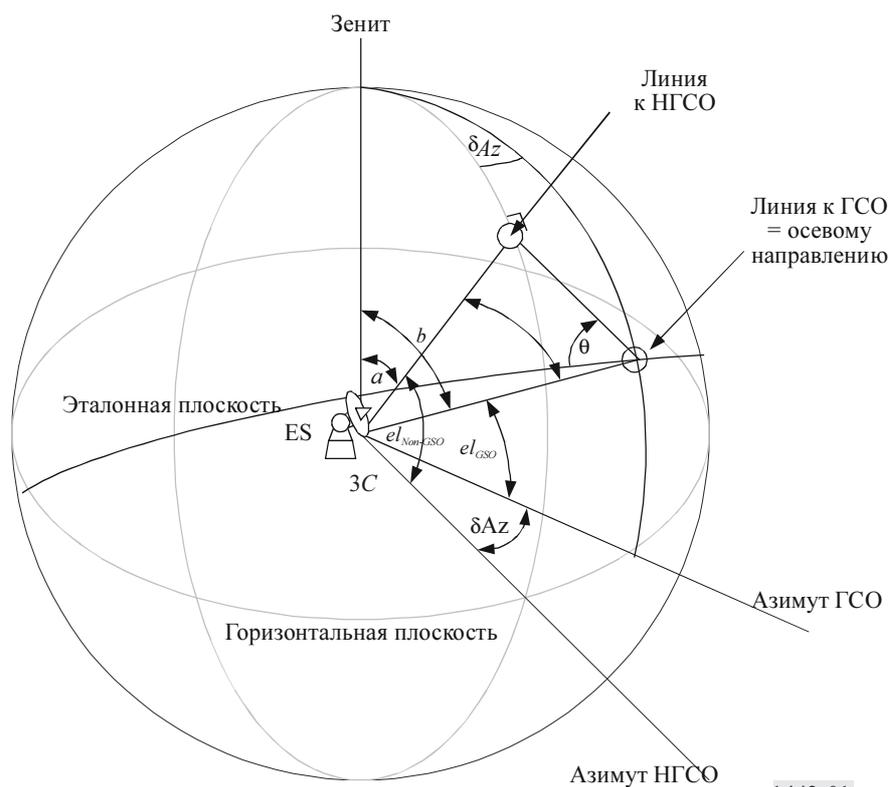
Спутник ГСО (азимут, угол места)

Спутник НГСО (азимут, угол места)

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Необходима разница в азимуте, поэтому если она известна, реальные азимуты не потребуются.

В следующем разделе показано, каким образом рассчитываются эти параметры исходя из векторов каждой станции.

РИСУНОК 1



1443-01

Из рис. 1:

$$a = 90 - el_{non-GSO}$$

$$b = 90 - el_{GSO}$$

$$\delta Az = Az_{non-GSO} - Az_{GSO}$$

Значение  $\delta Az$  должно быть установлено в диапазоне  $\{-180 - +180\}$

Затем может быть рассчитан внеосевой угол  $\phi$  (топоцентрический угол разноса между спутниками) с использованием формулы из сферической геометрии:

$$\cos(c) = \cos(a) \cos(b) + \sin(a) \sin(b) \cos(C),$$

где  $C = \delta Az$  и  $c = \phi$ .

Та же самая формула может быть использована для определения угла  $B$ :

$$\cos(B) = \frac{\cos(b) - \cos(c) \cos(a)}{\sin(c) \sin(a)},$$

из которой может быть получен плоский угол  $\theta$ :

$$\begin{aligned} \text{если } (\delta Az > 0 \text{ и } B < 90) & \quad \theta = 90 - B \\ \text{если } (\delta Az > 0 \text{ и } B > 90) & \quad \theta = 450 - B \\ \text{если } (\delta Az < 0) & \quad \theta = 90 + B \end{aligned}$$

В случае, если оба спутника имеют одинаковый азимут, т. е.  $\delta Az = 0$ ,

$$\begin{aligned} \varphi &= |el_{GSO} - el_{non-GSO}| \\ \text{если } el_{GSO} > el_{non-GSO} & \quad \theta = 270 \\ \text{или} & \quad \theta = 90 \end{aligned}$$

### Примерные данные

Для следующих положений:

Станция	Широта (градусы)	Долгота (градусы)	Высота (км)
Земная станция	10	20	0
Спутник ГСО	0	30	35 786,055
Спутник НГСО	0	-5	1 469,200

Затем для земной станции могут быть рассчитаны следующие азимуты/углы места (по отношению к земной станции относительно горизонта и направлению на север):

Станция	Азимут (градусы)	Угол места (градусы)
Спутник ГСО	134,5615	73,4200
Спутник НГСО	-110,4248	10,0300

Следовательно, внеосевые и плоские углы равны:

Станция	$\varphi$ (внеосевой) (градусы)	$\theta$ (плоский) (градусы)
Спутник НГСО	87,2425	26,69746

### Расчет азимута и угла места

Следующее может быть использовано для расчета азимута и угла места исходя из задействованных векторов.

Заданы:

$$\begin{aligned} \text{Радиус-вектор земной станции:} & \quad \underline{r}_G \\ \text{Радиус-вектор спутника ГСО:} & \quad \underline{r}_S \\ \text{Радиус-вектор спутника НГСО:} & \quad \underline{r}_N \end{aligned}$$

Затем строят:

Вектор от земной станции на ГСО  $\underline{r}_{GS} = \underline{r}_S - \underline{r}_G$

Вектор от земной станции на НГСО  $\underline{r}_{GN} = \underline{r}_N - \underline{r}_G$

Единичный вектор радиус-вектора земной станции  $\hat{\underline{r}}_G$

Тогда углы места:

$$el_S = 90 - \angle(\underline{r}_{GS}, \underline{r}_G)$$

$$el_N = 90 - \angle(\underline{r}_{GN}, \underline{r}_G).$$

Для расчета разницы в азимуте преобразуют вектора, направленные от каждой земной станции к ГСО/НГСО, с тем чтобы они оказались в горизонтальной плоскости, перпендикулярной вектору зенита, т. е.

$$\underline{r}'_{GS} = \underline{r}_{GS} - (\hat{\underline{r}}_G \cdot \underline{r}_{GS}) \hat{\underline{r}}_G$$

$$\underline{r}'_{GN} = \underline{r}_{GN} - (\hat{\underline{r}}_G \cdot \underline{r}_{GN}) \hat{\underline{r}}_G.$$

Тогда:

$$\delta Az = \angle(\underline{r}'_{GS}, \underline{r}'_{GN}).$$

Знак  $\delta Az$  будет тем же, что и знак разницы в долготе двух спутников.

---