

МСЭ-R
Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R ВО.1443-3
(12/2013)

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

Серия ВО
Спутниковое радиовещание



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
ВО	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2014 г.

© ITU 2014

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R ВО.1443-3

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 280/4)

(2000-2002-2006-2013)

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.

Ключевые слова

Диаграмма направленности усиления, ГСО, РСС.

Сокращения/Глоссарий

Диаграмма направленности усиления определяется следующим образом:

$$\text{Gain} = G(\varphi, \theta),$$

где:

φ : внеосевой угол антенны относительно направления прицеливания (градусы);

θ : плоский угол антенны (градусы) (азимут 0° в горизонтальной плоскости).

Соответствующие Рекомендации, Отчеты МСЭ

Рекомендация МСЭ-R S.672-4	Диаграмма направленности спутниковой антенны, применяемая в качестве нормативной при проектировании фиксированной спутниковой службы, использующей геостационарные спутники
Рекомендация МСЭ-R S.1428-1	Эталонные диаграммы направленности земных станций ФСС для использования в процессе оценки помех в ситуациях с негеостационарными спутниками в полосах частот между 10,7 ГГц и 30 ГГц
Рекомендация МСЭ-R S.1503-1	Описание функционирования для использования при разработке инструментальных средств программного обеспечения для определения соответствия сетей фиксированной спутниковой системы на негеостационарной спутниковой орбите ограничениям, установленным в Статье 22 Регламента радиосвязи

* 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.

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° 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,

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 $123,75^\circ \leq \theta < 180^\circ$

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

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

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

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

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

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

λ : длина волны, выраженная в тех же единицах, что и диаметр

G : усиление

φ : внеосевой угол антенны относительно направления прицеливания (градусы)

θ : плоский угол антенны (градусы) (азимут 0° 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 $25,5 < D/\lambda \leq 100$

$G(\varphi) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} (D\varphi/\lambda)^2$	дБи	для	$0 < \varphi < \varphi_m$
$G(\varphi) = G_1$		для	$\varphi_m \leq \varphi < (95\lambda/D)$
$G(\varphi) = 29 - 25 \log \varphi$	дБи	для	$(95\lambda/D) \leq \varphi < 33,1^\circ$
$G(\varphi) = -9$	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 $D/\lambda > 100$

$G(\varphi) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} (D\varphi/\lambda)^2$	дБи	для	$0 < \varphi < \varphi_m$
$G(\varphi) = G_1$		для	$\varphi_m \leq \varphi < \varphi_r$
$G(\varphi) = 29 - 25 \log \varphi$	дБи	для	$\varphi_r \leq \varphi < 10^\circ$
$G(\varphi) = 34 - 30 \log \varphi$	дБи	для	$10^\circ \leq \varphi < 34,1^\circ$
$G(\varphi) = -12$	дБи	для	$34,1^\circ \leq \varphi < 80^\circ$
$G(\varphi) = -7$	дБи	для	$80^\circ \leq \varphi < 120^\circ$
$G(\varphi) = -12$	дБи	для	$120^\circ \leq \varphi < 180^\circ,$

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 θ

θ 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 θ возрастает в направлении против хода часовой стрелки.

Подход к расчету

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

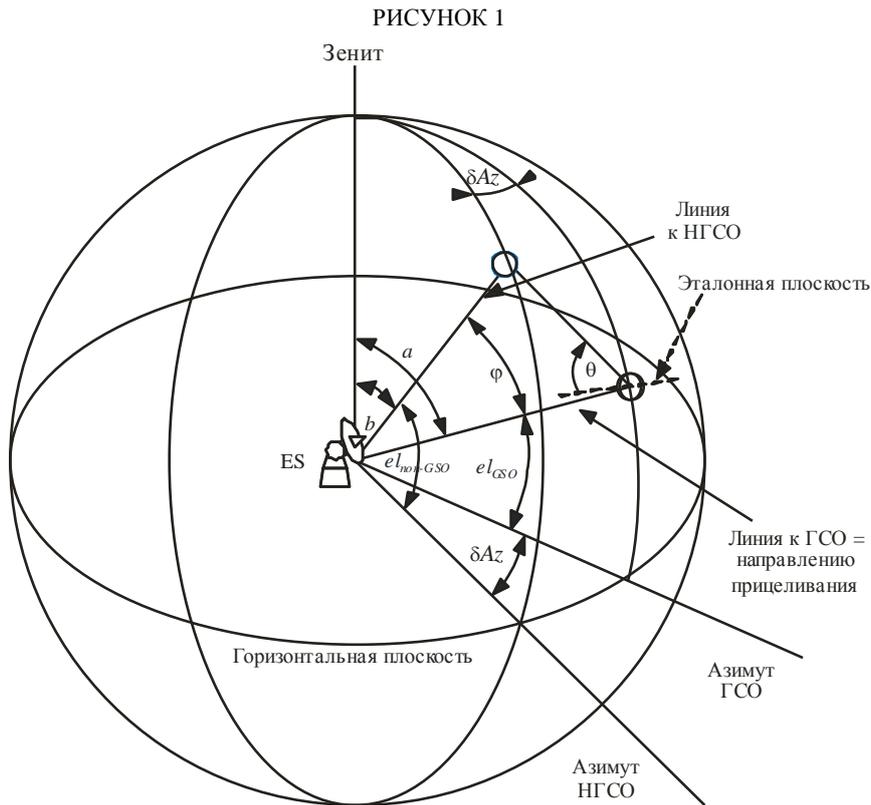
Входные данные

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.



ВО.1443-01

Из рис. 1:

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

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

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

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

Затем может быть рассчитан внеосевой угол φ (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 $c = \varphi$.

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 θ :

$$\text{если } (\delta Az > 0 \text{ и } B < 90) \quad \theta = 90 - B$$

$$\text{если } (\delta Az > 0 \text{ и } B > 90) \quad \theta = 450 - B$$

$$\text{если } (\delta Az < 0) \quad \theta = 90 + B$$

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

$$\varphi = |el_{GSO} - el_{non-GSO}|$$

если $el_{GSO} > el_{non-GSO}$ $\theta = 270$

или $\theta = 90$

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	φ (внеосевой) (градусы)	θ (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:

Радиус-вектор земной станции: \underline{r}_G

Радиус-вектор спутника ГСО: \underline{r}_S

Радиус-вектор спутника НГСО: \underline{r}_N

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.

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

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

Тогда:

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

Знак δAz будет тем же, что и знак разницы в долготе двух спутников.
