

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.731-1

**Эталонная диаграмма направленности излучения земной станции  
для кроссполяризации, предназначенная для использования  
в процессе координации частот и для оценки помех  
в диапазоне частот от 2 до примерно 30 ГГц**

(1992-2005)

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что для исследований вопросов координации и оценки взаимных помех между спутниковыми системами радиосвязи и между земными станциями этих систем и станциями других служб, использующих на совместной основе одну и ту же полосу частот, может оказаться полезным применение для антенны земной станции диаграммы направленности для кроссполяризации;
- b) что для определения координационного расстояния и оценки помех между земными и наземными станциями может оказаться подходящей диаграмма направленности для кроссполяризации, основанная на уровне, превышаемом небольшой долей пиков боковых лепестков;
- c) что эталонная диаграмма направленности земной станции для совпадающей поляризации для использования при координации частот и оценки помех приведена в Рекомендации МСЭ-R S.465;
- d) что был проведен ряд измерений характеристик внеосевого коэффициента усиления антенн земных станций для кроссполяризации и были разработаны диаграммы направленности, которые имеют аналогичные количественные значения;
- e) что может использоваться единая эталонная диаграмма направленности внеосевого излучения для кроссполяризации, которая включает положения, представленные в Приложении 1;
- f) что применение антенн, обладающих наилучшими из возможных диаграмм направленности, приведет к более эффективному использованию радиочастотного спектра и орбиты геостационарных спутников,

*признавая,*

- 1** что желательно иметь больше сведений о характеристиках кроссполяризации;
- 2** что измеренные характеристики внеосевого коэффициента усиления антенн земных станций включают излучение от исходной антенны для кроссполяризации;
- 3** что диаграммы направленности для кроссполяризации измеряются в главном луче исходной антенны,

*рекомендует,*

- 1** что в отсутствие конкретных данных о диаграмме направленности антенны рассматриваемой земной станции для кроссполяризации может использоваться единая эталонная диаграмма направленности для:
  - 1.1** изучения вопросов координации частот и оценки помех между земными станциями фиксированной спутниковой службы и станциями других служб, использующих на совместной основе одну и ту же полосу частот;
  - 1.2** изучения вопросов координации и оценки помех между сетями фиксированной спутниковой службы;

2 что на временной основе может применяться следующая диаграмма направленности для кроссполяризации для углов между рассматриваемым направлением и осью главного луча, на частотах в диапазоне 2–30 ГГц:

$G_x(\varphi) = 23 - 20 \log \varphi$	дБи	для $\varphi_r \leq \varphi \leq 7^\circ$
$G_x(\varphi) = 20,2 - 16,7 \log \varphi$	дБи	для $7^\circ < \varphi \leq 26,3^\circ$
$G_x(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi$	дБи	для $26,3^\circ < \varphi \leq 48^\circ$
$G_x(\varphi) = -10$	дБи	для $48^\circ < \varphi \leq 180^\circ$ ,

причем угол  $\varphi_r$  равен  $1^\circ$  или  $100 \lambda/D$ , в зависимости от того, какая из величин больше;

3 что следующие Примечания необходимо рассматривать как часть настоящей Рекомендации.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Следует предполагать, что эталонная диаграмма направленности для кроссполяризации является осесимметричной.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Эталонная диаграмма направленности для кроссполяризации должна использоваться в случаях, включающих передачу сигналов с противоположной поляризацией.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – По взаимному согласию между заинтересованными администрациями могут использоваться другие диаграммы направленности земных станций для кроссполяризации.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – В диапазоне углов, под которыми конкретная фидерная система может вызывать появление относительно больших уровней приема по боковым лепесткам, и для антенн, у которых  $D/\lambda$  меньше 50, эталонную диаграмму направленности следует использовать с осторожностью.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Данная диаграмма направленности для кроссполяризации дополняет диаграмму направленности для совпадающей поляризации, приведенную в Рекомендации МСЭ-R S.465.

ПРИМЕЧАНИЕ 6. – В Приложении 1 содержатся сведения о нескольких диаграммах направленности внеосевого излучения для кроссполяризации, соответствующих огибающим пикам, полученных по измеренным характеристикам усиления различных антенн, подтверждающие данные в пункте 2 раздела *рекомендует*.

## Приложение 1

### Моделирование характеристик антенны земной станции для кроссполяризации

В настоящем Приложении представлена основополагающая информация для разработки диаграмм направленности для кроссполяризации, полученная исходя из теоретических и измеренных диаграмм направленности. Получены результаты измерений диаграмм направленности для антенн различных диаметров (1,2 м, 1,8 м, 2,4 м, 3,5 м на частоте 12,625 ГГц и 3,7 м на 10,7 ГГц). Для каждого диаметра антенны описываются соответствующие измеренные диаграммы направленности и их огибающие. Затем выводятся уравнения, которые описывают относительные огибающие для кроссполяризации для антенн с  $D/\lambda \geq 100$  и  $D/\lambda < 100$ . Далее составляется общая функция, которая может использоваться для описания внеосевой диаграммы направленности для кроссполяризации для всех антенн.

Вычисленные диаграммы направленности для антенн с одним смещенным из фокуса облучателем для совпадающей поляризации и кроссполяризации показаны на рисунках 1 и 2, где приведены также соответствующие функции огибающих. Влияние опорных стоек системы питания на осесимметричную структуру показано на рисунке 3.

РИСУНОК 1

Диаграммы направленности для антенн диаметром 1,8 м с одним смещенным из фокуса облучателем для совпадающей поляризации и кроссполяризации, вычисленные в азимутальной плоскости на частоте 3,95 ГГц

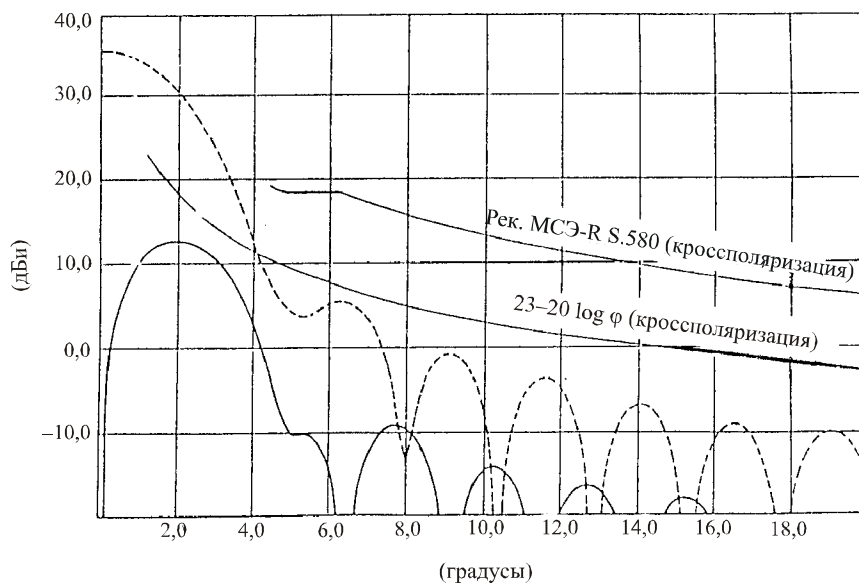


РИСУНОК 2

Диаграммы направленности для антенн диаметром 1,8 м с одним смещенным из фокуса облучателем для совпадающей поляризации и кроссполяризации, вычисленные в азимутальной плоскости на частоте 6,175 ГГц

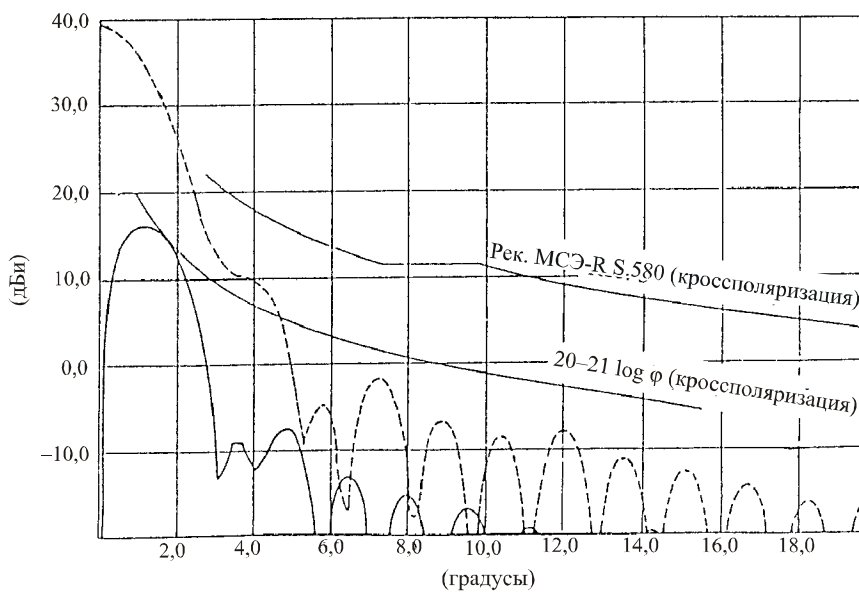
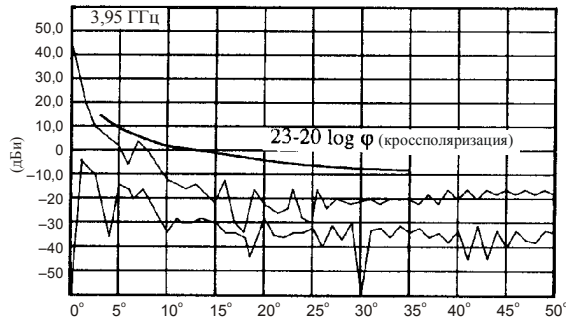
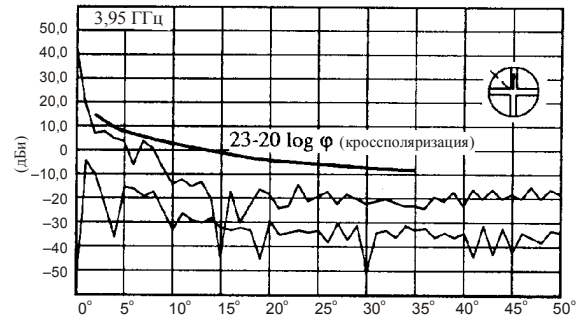


РИСУНОК 3

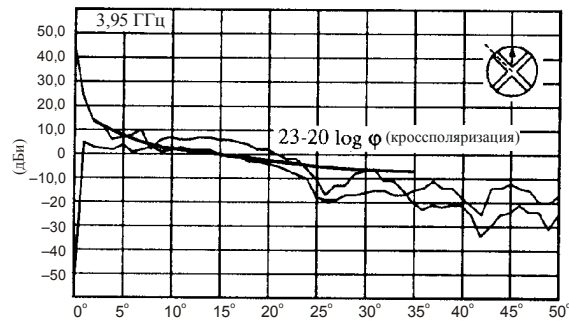
Теоретический анализ влияния опорных стоек на работу 6-метровой осесимметричной линейно поляризованной антенны с двойным рефлектором на частоте 3,95 ГГц (а–с) и 6,175 ГГц (d–e)



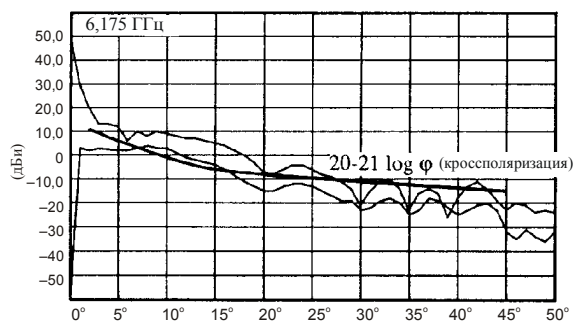
а) Диаграммы направленности в плоскости  $45^\circ$  без опорных стоек для совпадающей поляризации и кроссполяризации



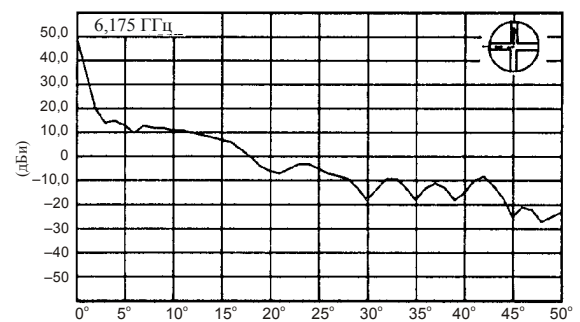
б) То же, что и а), с учетом опорных стоек в горизонтальной и вертикальной плоскостях



с) То же, что и а), с учетом опорных стоек в плоскостях  $45^\circ$  и  $135^\circ$



д) То же, что и с) для данной полосы частот передачи



е) Диаграммы направленности антенны для совпадающей поляризации и кроссполяризации для данной полосы частот передачи с учетом опорных стоек в вертикальной и горизонтальной плоскостях

Для того чтобы оценить развязку за счет поляризации для наихудшего случая (коэффициент избирательности по поляризации), были получены относительные значения огибающих для совпадающей поляризации  $G_{//}(\varphi)$  и кроссполяризации  $G_{+}(\varphi)$ .

- а) Относительная огибающая, используемая в настоящем Приложении, вычисляется следующим образом:

Для систем с отношением  $D/\lambda \leq 100$ :

$$\begin{aligned} G_{//}(\varphi) &= 52 - 10 \log(D/\lambda) - 25 \log \varphi - G_0 && \text{дБи для } (100 \lambda/D)^\circ \leq \varphi \leq 48^\circ \\ &= 10 - 10 \log(D/\lambda) - G_0 && \text{дБи для } 48^\circ < \varphi \leq 180^\circ \end{aligned}$$

Для систем с отношением  $D/\lambda > 100$ :

$$\begin{aligned} G_{//}(\varphi) &= 32 - 25 \log \varphi - G_0 && \text{дБи для } 1^\circ \leq \varphi \leq 48^\circ \\ &= 10 - G_0 && \text{дБи для } 48^\circ < \varphi \leq 180^\circ \end{aligned}$$

- б) Уровень кроссполяризации таков, что  $G_{+}(\varphi) = G_{//}(\varphi'_1)$  (при  $\varphi'_1 = 2,2 \varphi_1$  для малых антенн и  $\varphi'_1 = 1,8 \varphi_1$  для больших антенн) для  $0^\circ < \varphi < \varphi_1$ .

В конечном счете относительные огибающие для кроссполяризации могут иметь следующие значения:

### 1 Малые антенны ( $D < 100\lambda$ )

$$\begin{aligned} G_0 &= \text{максимальный коэффициент усиления антенны для совпадающей поляризации (дБи)} \\ G(\varphi) &= 52 - 10 \log(D/\lambda) - 25 \log \varphi - G_0 \text{ (дБи)} \\ \varphi_1 &= 100 \lambda/D \text{ (градусы)} \\ \varphi'_1 &= 2,2 \varphi_1 \text{ (градусы)} \\ \varphi_2 &= 25,1^\circ \\ \varphi_{ISO} &= 10^{\frac{52 - 10 \log(D/\lambda)}{25}} \text{ (градусы)} \end{aligned}$$

для  $0 < \varphi \leq \varphi_1$ :

$$G_{+}(\varphi) = G(\varphi'_1) \quad (1)$$

для  $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ :

$$G_{+}(\varphi) = G(\varphi) - (G(\varphi_1) - G(\varphi'_1)) \frac{\varphi_{ISO} - \varphi}{\varphi_{ISO} - \varphi_1} \quad (2)$$

для  $\varphi > \varphi_{ISO}$ :

$$G_{+}(\varphi) = 52 - 10 \log(D/\lambda) - 25 \log \varphi - G_0 \quad (3)$$

для  $\varphi_2 < \varphi \leq 180^\circ$ :

$$G_{+}(\varphi) = 10 - 10 \log(D/\lambda) - G_0 \quad (4)$$

Диаграммы направленности, показанные на рисунках 4 и 6, получены для станций с диаметрами антенн 1,2 м и 1,8 м, работающих на центральной частоте 12,625 ГГц. Диаграммы, измеренные для этих типов антенн, показаны на рисунках 5, 7 и 8. В каждом случае приведено по одному экземпляру измеренных диаграмм направленности для совпадающей поляризации и кроссполяризации, но представленные огибающие являются усредненными и получены на основании результатов измерений, выполненных для нескольких антенн одного и того же типа.

РИСУНОК 4

Вычисленные относительные диаграммы направленности для совпадающей поляризации и кроссполяризации для антенны диаметром 1,2 м,  $f = 12,625$  ГГц

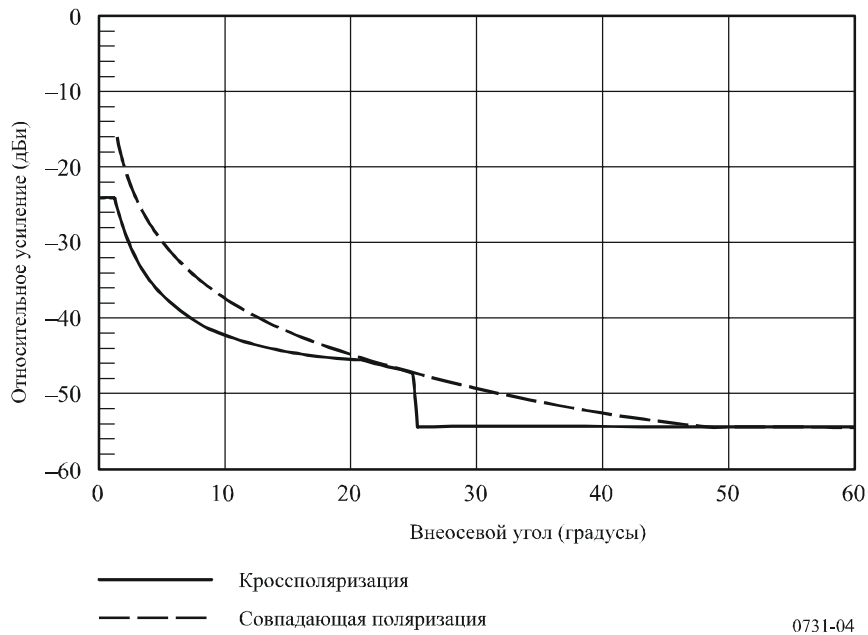


РИСУНОК 5

Измеренные относительные диаграммы направленности для совпадающей поляризации и кроссполяризации для антенны диаметром 1,2 м,  $f = 12,625$  ГГц

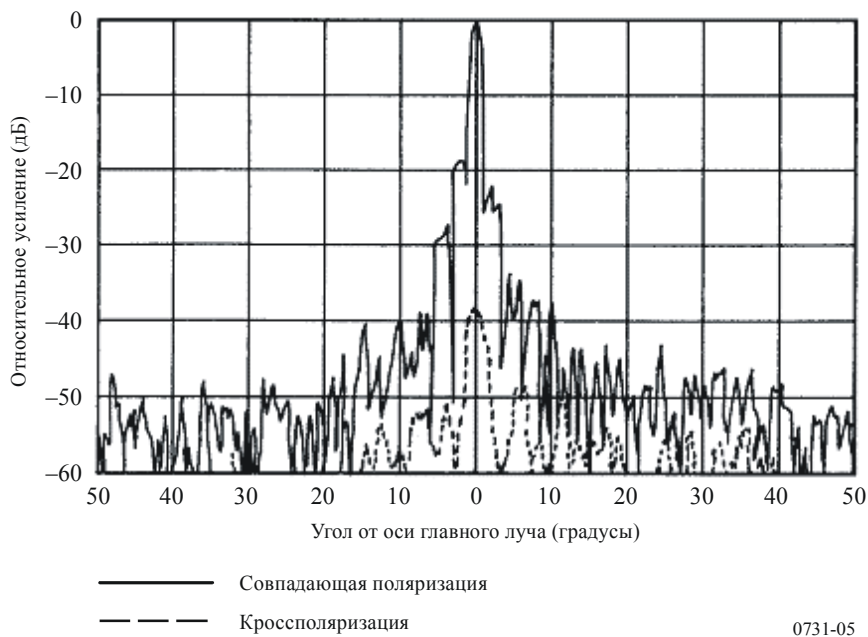


РИСУНОК 6

Вычисленные относительные диаграммы направленности для совпадающей поляризации и кроссполяризации для антенны диаметром 1,8 м,  $f = 12,625$  ГГц

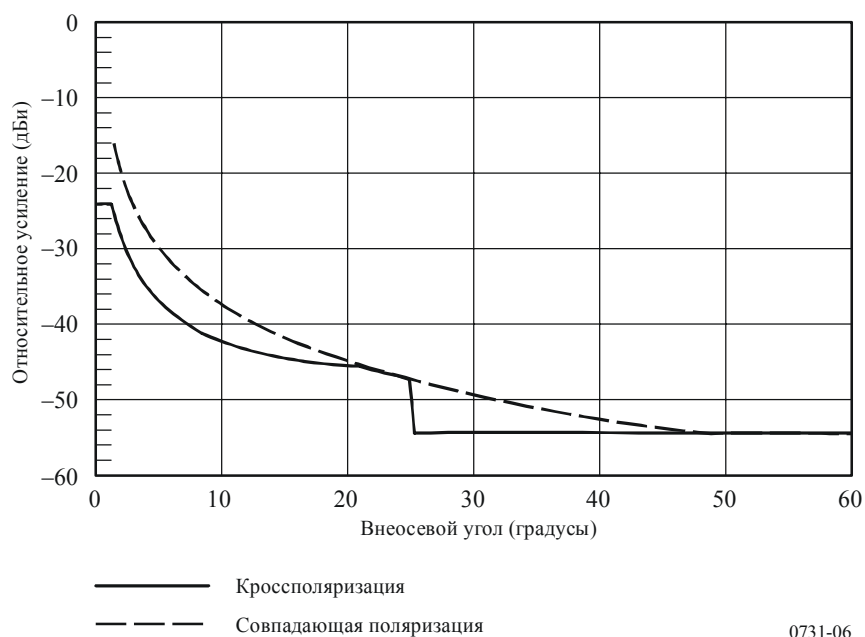


РИСУНОК 7

Измеренная относительная диаграмма направленности для совпадающей поляризации для антенны диаметром 1,8 м,  $f = 12,625$  ГГц

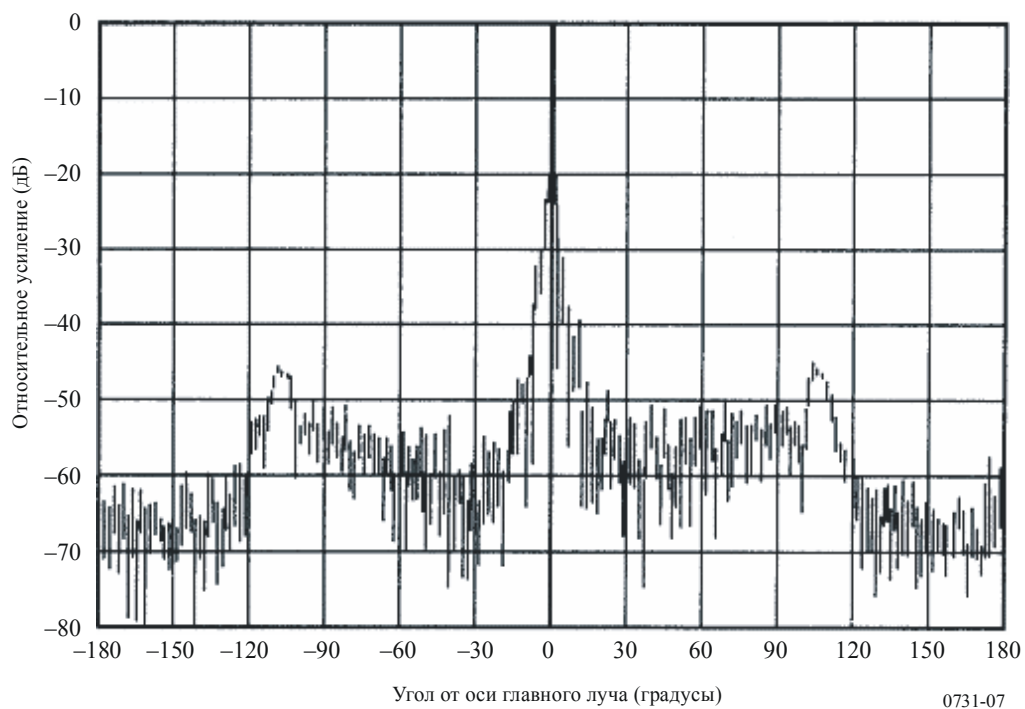
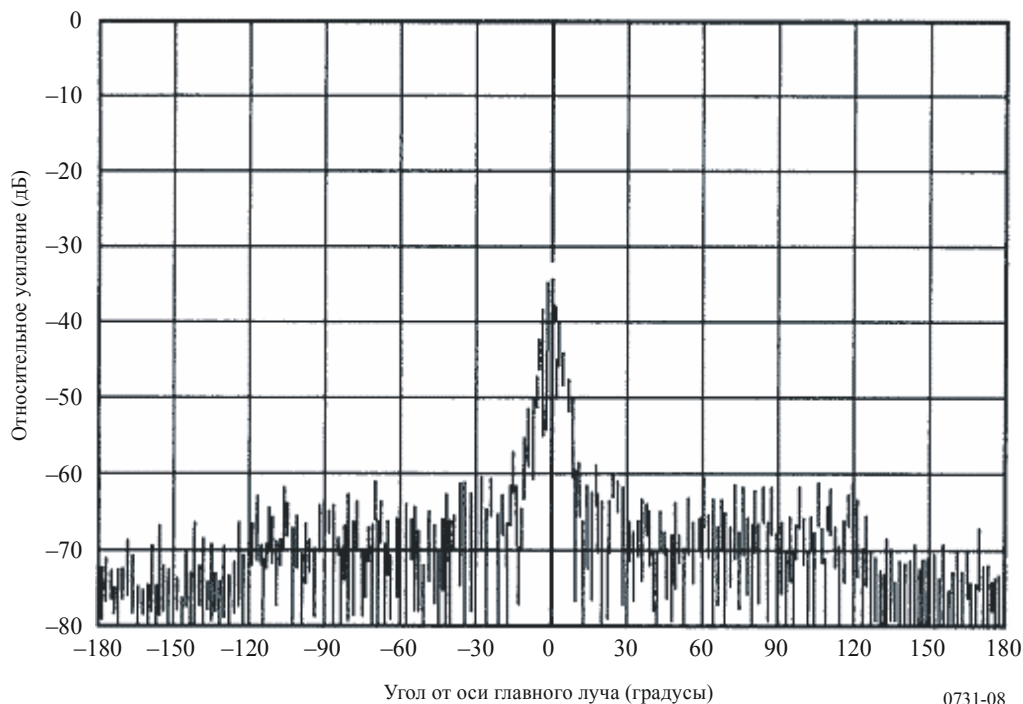


РИСУНОК 8

Измеренная относительная диаграмма направленности для кроссполяризации  
для антенны диаметром 1,8 м,  $f = 12,625$  ГГц



0731-08

## 2 Большие антенны ( $D \geq 100\lambda$ )

$G_0$  = максимальный коэффициент усиления антенны для совпадающей поляризации (дБи)

$$G(\varphi) = 29 - 25 \log \varphi - G_0 \text{ (дБи)}$$

$$\varphi_1 = 1^\circ$$

$$\varphi'_1 = 1,8 \varphi_1 \text{ (градусы)}$$

$$\varphi_2 = 20^\circ$$

$$\varphi_3 = 33,1^\circ$$

$$\varphi_{ISO} = 10^{\frac{29}{25}} \cong 14,45^\circ$$

для  $0 < \varphi \leq \varphi_1$ :

$$G_+(\varphi) = G(\varphi'_1) \quad (5)$$

для  $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ :

$$G_+(\varphi) = G(\varphi) - (G(\varphi_1) - G(\varphi'_1)) \frac{\varphi_{ISO} - \varphi}{\varphi_{ISO} - \varphi_1} \quad (6)$$

для  $\varphi_2 < \varphi \leq \varphi_3$ :

$$G_+(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi - G_0 \quad (7)$$

для  $\varphi_3 < \varphi \leq 180^\circ$ :

$$G_+(\varphi) = -10 - G_0 \quad (8)$$



Диаграммы направленности, показанные на рисунках, ниже, вычислены для станций со следующими диаметрами антенн и частотами: 2,4 м и 3,5 м на частоте 12,625 ГГц и 3,7 м на 10,7 ГГц. Диаграммы, измеренные для этих типов антенн, показаны на рисунках 10, 11, 13, 14, 16 и 17. В каждом случае приведено по одному экземпляру измеренных диаграмм направленности для совпадающей поляризации и кроссполяризации, но представленные огибающие являются усредненными и получены на основании результатов измерений, выполненных для нескольких антенн одного и того же типа.

Приведенные выше функции для  $D < 100\lambda$  и  $D \geq 100\lambda$  можно выразить в единицах абсолютного усиления. Функции для  $D < 100\lambda$  можно нормализовать до функции  $(32 - 25 \log \varphi)$  для совпадающей поляризации, если допустить, что величина  $(52 - 10 \log \varphi)$  равна 32. Уравнения для этих функций в качестве абсолютных значений усиления для различных значений  $D/\lambda$  имеют следующий вид:

$$G_x(\varphi) = 22,70 + 0,29 \varphi - 25 \log \varphi \quad \text{дБи} \quad \text{для } D/\lambda = 25 \quad (9)$$

$$= 22,69 + 0,37 \varphi - 25 \log \varphi \quad \text{дБи} \quad \text{для } D/\lambda = 50 \quad (10)$$

$$= 22,87 + 0,42 \varphi - 25 \log \varphi \quad \text{дБи} \quad \text{для } D/\lambda = 75 \quad (11)$$

$$= 22,15 + 0,47 \varphi - 25 \log \varphi \quad \text{дБи} \quad \text{для } D/\lambda = 100 \quad (12)$$

Углы, при которых эти функции усиления совпадают с огибающей усиления вида  $(32 - 25 \log \varphi)$  для совпадающей поляризации, составляют  $31,7^\circ$ ,  $25,2^\circ$ ,  $21,4^\circ$  и  $20,8^\circ$ , соответственно. Были сформулированы следующие дополнительные функции:

$$G_x(\varphi) = 20 - 21 \log \varphi \quad \text{дБи} \quad (13)$$

$$G_x(\varphi) = 23,6 - 20 \log \varphi \quad \text{дБи} \quad (14)$$

$$G_x(\varphi) = 22 - 25 \log \varphi \quad \text{дБи} \quad (15)$$

Уравнение (15) основано на том требовании, чтобы для углов больше  $7^\circ$  коэффициент усиления для кроссполяризации был бы на 10 дБ меньше коэффициента усиления для совпадающей поляризации.

Эти функции графически изображены на рисунке 18. Из этого рисунка можно вывести единую функцию, которая адекватно охватывает все вышеприведенные функции:

$$\begin{aligned} G_\lambda(\varphi) &= 23 - 20 \log \varphi & \text{дБи} & \quad \text{для } \varphi_r \leq \varphi \leq 7^\circ \\ &= 20,2 - 16,7 \log \varphi & \text{дБи} & \quad \text{для } 7^\circ < \varphi \leq 26,3^\circ \\ &= 32 - 25 \log \varphi & \text{дБи} & \quad \text{для } 26,3^\circ < \varphi \leq 48^\circ \\ &= -10 & \text{дБи} & \quad \text{для } 48^\circ < \varphi \leq 180^\circ, \end{aligned}$$

причем угол  $\varphi_r$  равен  $1^\circ$  или  $100 \lambda/D$ , в зависимости от того, какая из величин больше.

РИСУНОК 9

Вычисленные относительные диаграммы направленности для совпадающей поляризации и кроссполяризации для антенны диаметром 2,4 м,  $f = 12,625$  ГГц

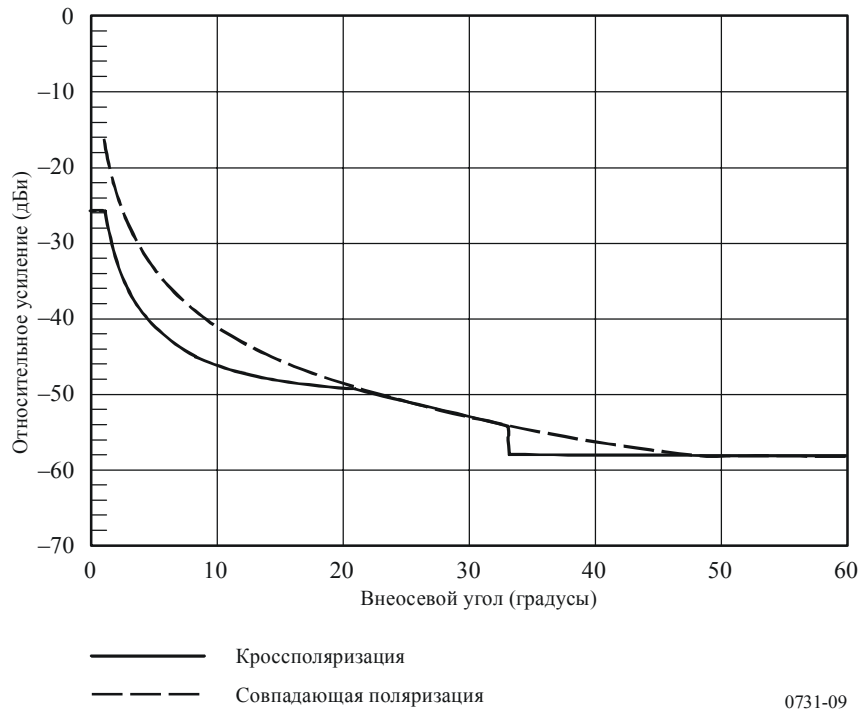


РИСУНОК 10

Измеренная относительная диаграмма направленности для совпадающей поляризации для антенны диаметром 2,4 м,  $f = 12,625$  ГГц

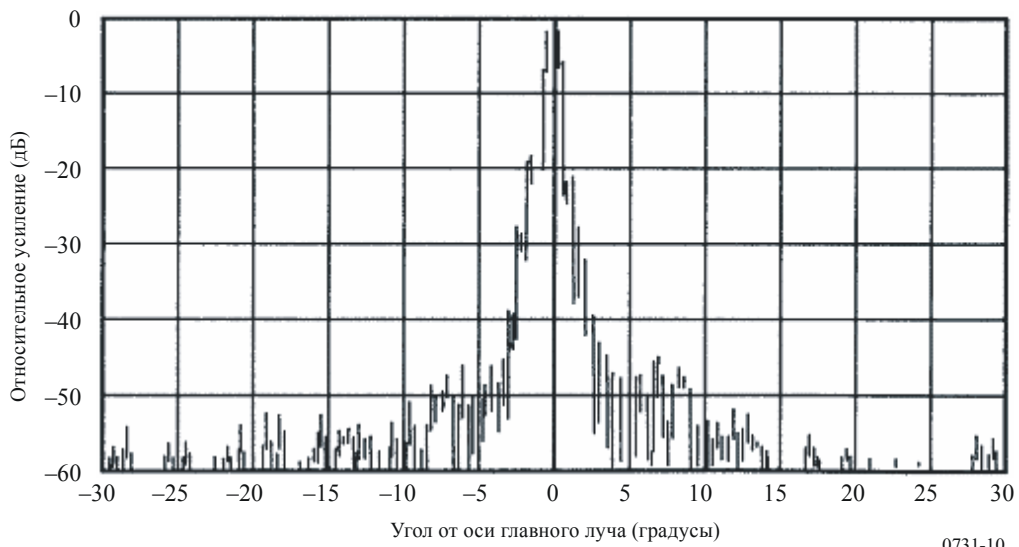


РИСУНОК 11

Измеренная относительная диаграмма направленности для кроссполяризации  
для антенны диаметром 2,4 м,  $f = 12,625$  ГГц

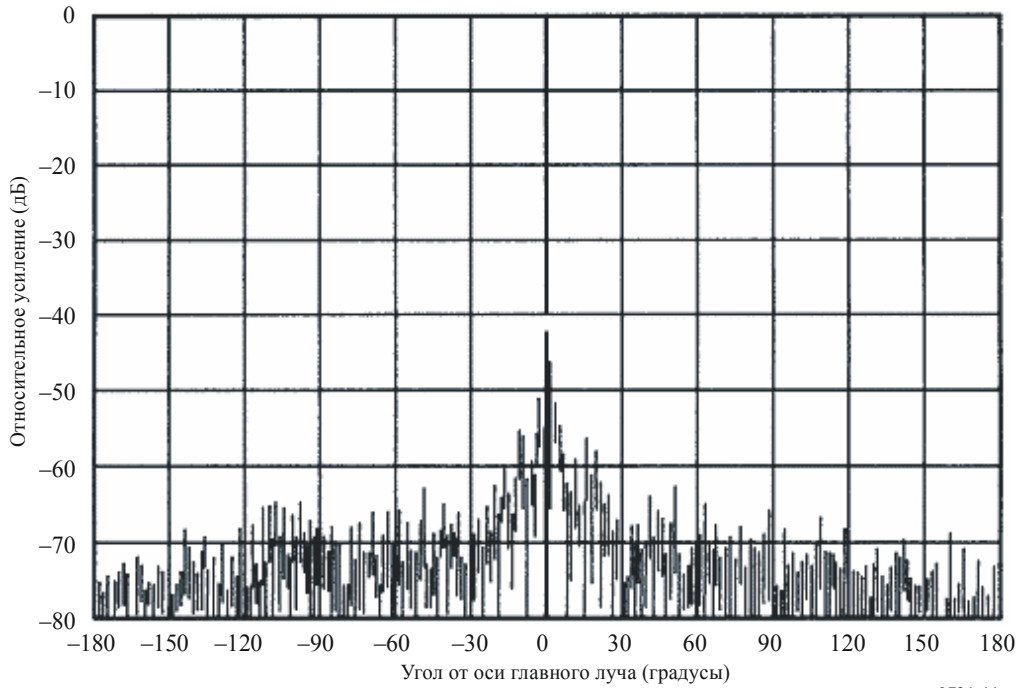


РИСУНОК 12

Вычисленные относительные диаграммы направленности для совпадающей поляризации  
и кроссполяризации для антенны диаметром 3,5 м,  $f = 12,625$  ГГц

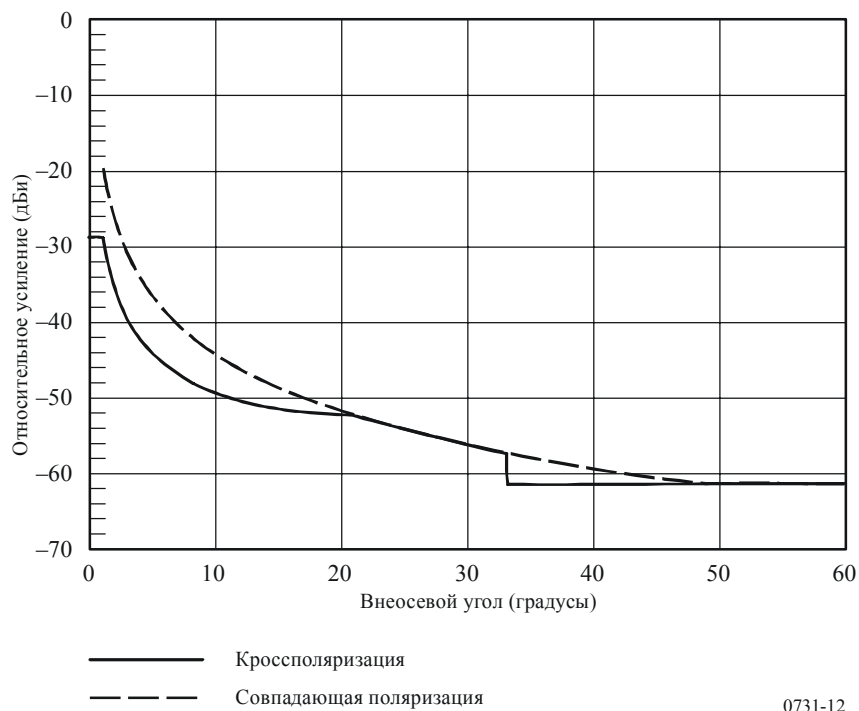


РИСУНОК 13

Измеренная относительная диаграмма направленности для совпадающей поляризации  
для антенны диаметром 3,5 м,  $f = 12,625$  ГГц

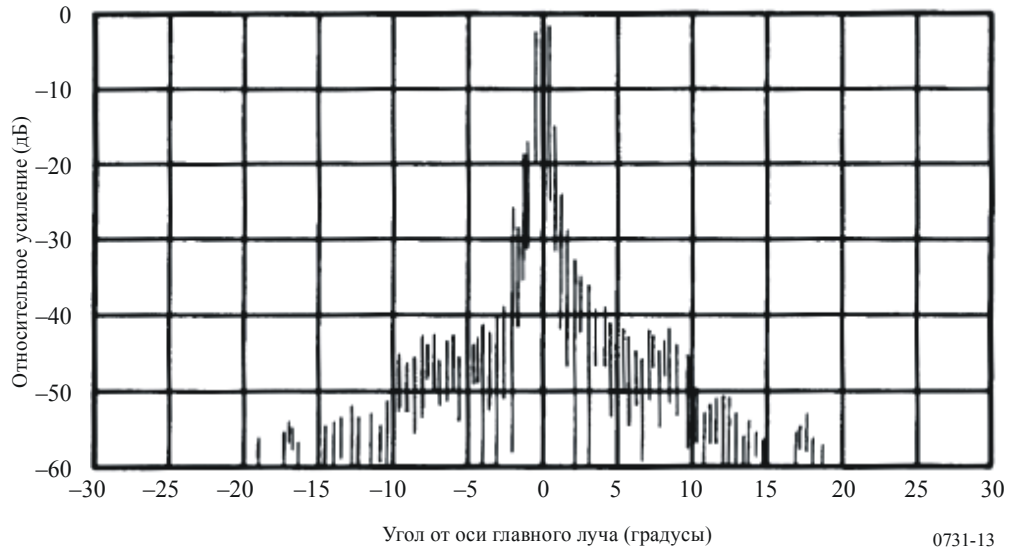


РИСУНОК 14

Измеренная относительная диаграмма направленности для кроссполяризации  
для антенны диаметром 3,5 м,  $f = 12,625$  ГГц

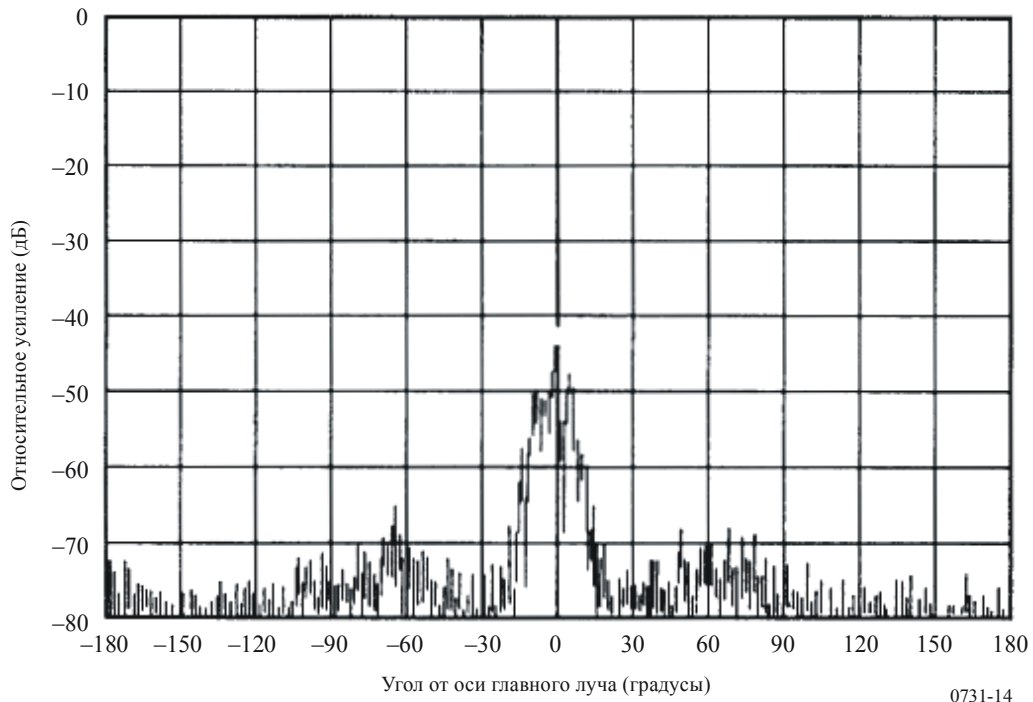


РИСУНОК 15

Вычисленные относительные диаграммы направленности для совпадающей поляризации и кроссполяризации для антенны диаметром 3,7 м,  $f = 10,7$  ГГц

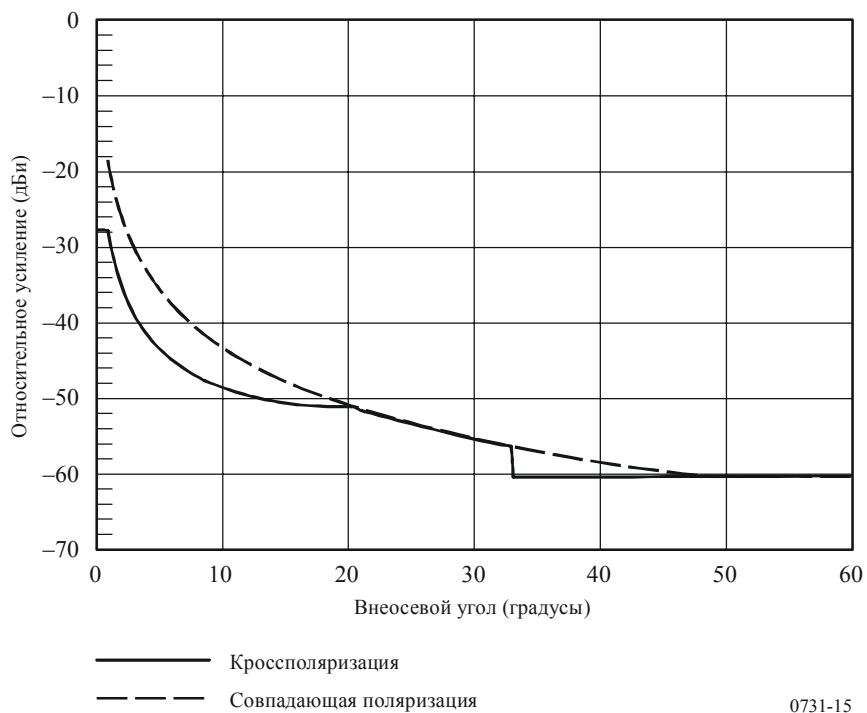


РИСУНОК 16

Измеренная относительная диаграмма направленности для совпадающей поляризации для антенны диаметром 3,7 м,  $f = 10,7$  ГГц

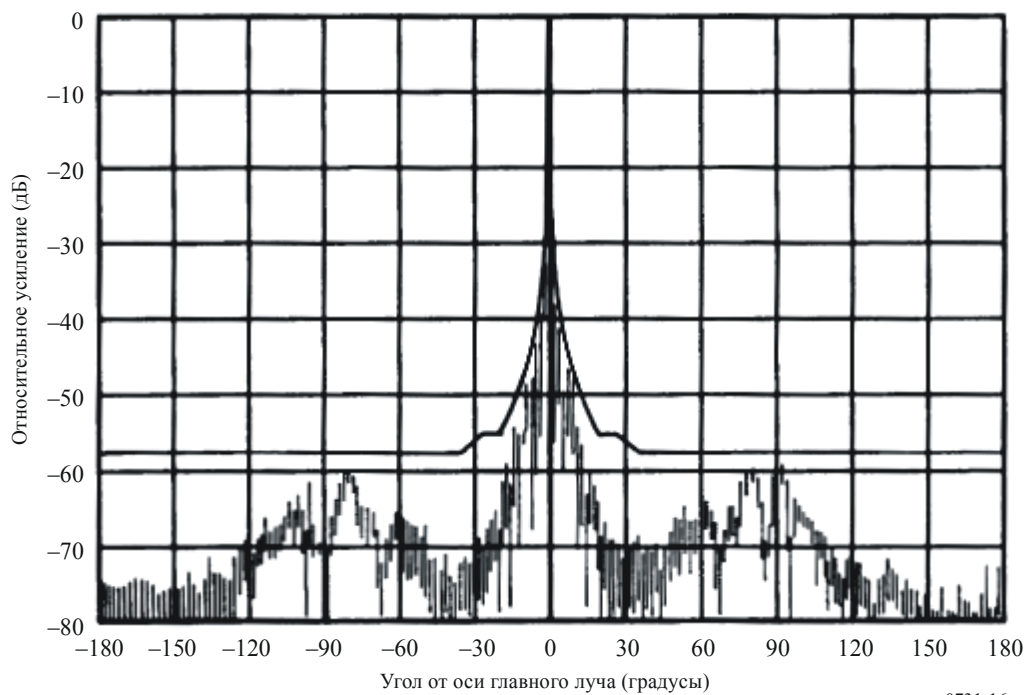


РИСУНОК 17

Измеренная относительная диаграмма направленности для кроссполяризации  
для антенны диаметром 3,7 м,  $f = 10,7$  ГГц

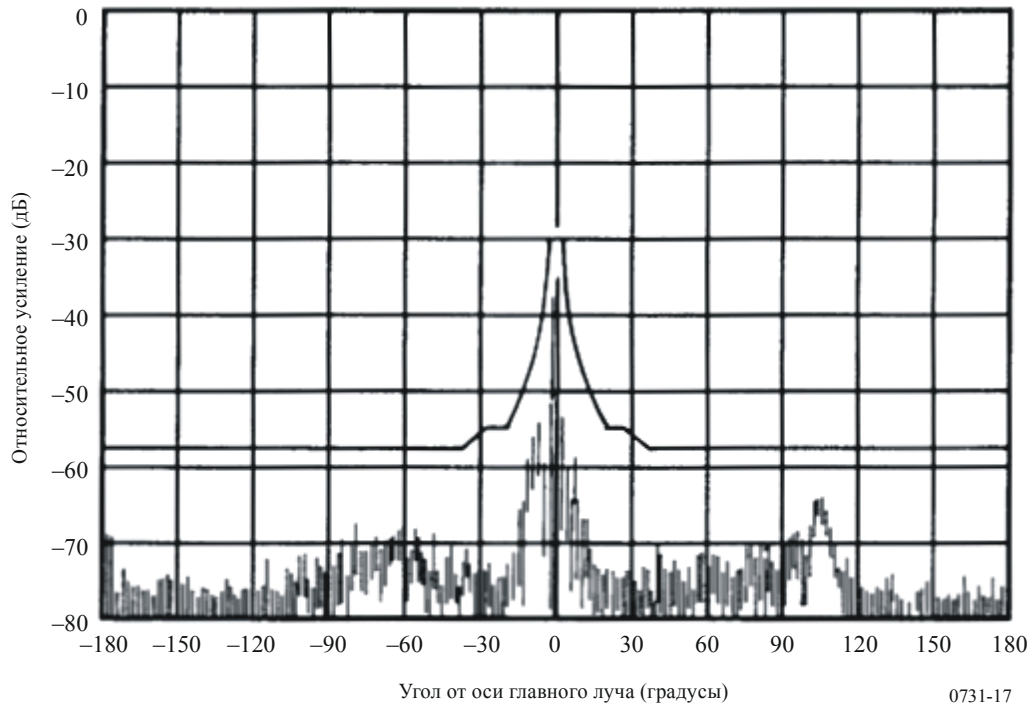
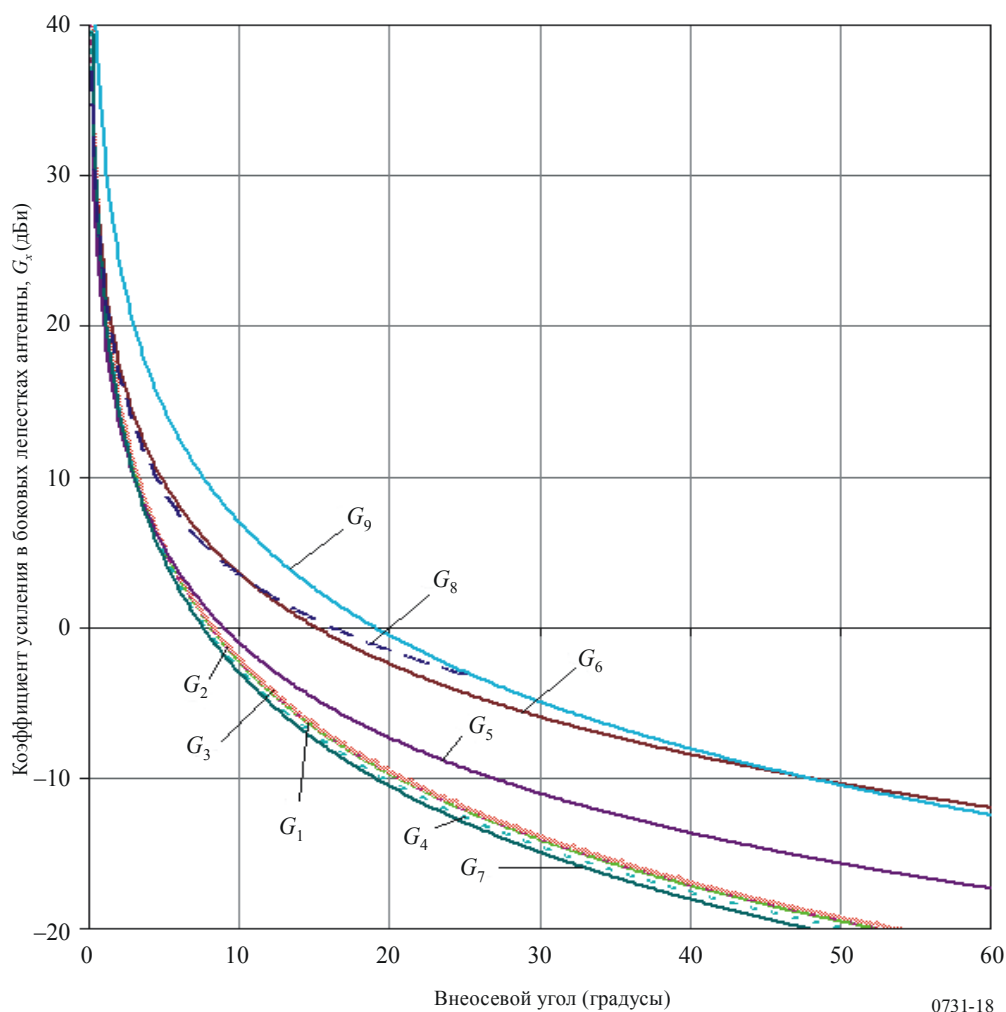


РИСУНОК 18

Абсолютная диаграмма усиления в боковых лепестках антенны для кроссполяризации



$$\begin{aligned}
 G_1(\varphi) &= 22,70 + 0,29\varphi - 25 \log \varphi && \text{для } D/\lambda = 25 \\
 G_2(\varphi) &= 22,69 + 0,37\varphi - 25 \log \varphi && \text{для } D/\lambda = 50 \\
 G_3(\varphi) &= 22,87 + 0,42\varphi - 25 \log \varphi && \text{для } D/\lambda = 75 \\
 G_4(\varphi) &= 22,15 + 0,47\varphi - 25 \log \varphi && \text{для } D/\lambda = 100 \\
 G_5(\varphi) &= 20,0 - 21 \log \varphi \\
 G_6(\varphi) &= 23,6 - 20 \log \varphi \\
 G_7(\varphi) &= 22,0 - 25 \log \varphi \\
 G_8(\varphi) &= 23,0 - 20 \log \varphi && \text{для } \varphi_r \leq \varphi \leq 7^\circ \\
 &= 20,2 - 16,7 \log \varphi && \text{для } 7^\circ < \varphi \leq 26,3^\circ \\
 &= 32,0 - 25 \log \varphi && \text{для } 26,3^\circ < \varphi \leq 48^\circ \\
 G_9(\varphi) &= 32 - 25 \log \varphi
 \end{aligned}$$