

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R F.1245-2
(03/2012)

**Математическая модель усредненных и
родственных диаграмм направленности
излучения антенн систем фиксированной
беспроводной связи прямой видимости
для связи пункта с пунктом,
предназначенная для использования
при изучении определенных вопросов
координации и оценке помех в диапазоне
частот от 1 ГГц примерно до 70 ГГц**

Серия F
Фиксированная служба



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
BO	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 F.1245-2*

Математическая модель усредненных и родственных диаграмм направленности излучения антенн систем фиксированной беспроводной связи прямой видимости для связи пункта с пунктом, предназначенная для использования при изучении определенных вопросов координации и оценке помех в диапазоне частот от 1 ГГц примерно до 70 ГГц

(Вопрос МСЭ-R 110-2/5)

(1997-2000-2012)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации содержатся усредненные и родственные эталонные диаграммы направленности излучения антенн систем фиксированной беспроводной связи (СФБС) в диапазоне частот от 1 ГГц примерно до 70 ГГц. Приведенные в настоящей Рекомендации результаты анализа могут быть использованы при изучении определенных вопросов координации и оценке помех в отсутствие конкретной информации об антеннах СФБС.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что эталонные диаграммы направленности антенн систем фиксированной беспроводной связи (СФБС) прямой видимости для связи пункта с пунктом, представленные в Рекомендации МСЭ-R F.699, определяют огибающую максимумов боковых лепестков диаграммы направленности;
- b)* что если уровни огибающей максимумов диаграммы направленности используются при оценке суммарной помехи, состоящей из многих единичных помех, то в результате значения прогнозируемой помехи будут больше, чем значения, которые существовали бы в реальности;
- c)* что поэтому необходимо использовать диаграмму направленности антенны с усредненными уровнями боковых лепестков в следующих случаях:
 - для прогнозирования совокупной помехи геостационарному или негеостационарному спутнику от многих радиорелейных станций;
 - для прогнозирования совокупной помехи радиорелейной станции от множества геостационарных спутников;
 - для прогнозирования помех радиорелейной станции от одного или нескольких негеостационарных спутников при постоянно изменяющемся угле, который необходимо усреднить;
 - в любых других случаях, при которых целесообразно использование диаграммы направленности с усредненными уровнями боковых лепестков;
- d)* что для диаграммы направленности, представляющей усредненные уровни боковых лепестков, предпочтительна простая математическая формула;
- e)* что также требуется математическая модель обобщенных диаграмм направленности излучения антенн для статистического анализа помех при участии небольшого количества источников помех, например, создаваемых системам фиксированной службы геостационарными спутниками,

* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 4-й и 7-й Исследовательских комиссий по радиосвязи.

рекомендует,

1 чтобы для целей, упомянутых в пункте *с)* раздела *учитывая*, в отсутствие конкретной информации о диаграмме направленности используемой антенны СФБС прямой видимости использовалась определенная ниже математическая модель усредненной диаграммы направленности;

2 чтобы для частот в диапазоне 1–40 ГГц и ориентировочно в диапазоне от 40 ГГц до примерно 70 ГГц была принята следующая математическая модель усредненной диаграммы направленности;

2.1 в случаях, когда отношение диаметра антенны к длине волны превышает 100 ($D/\lambda > 100$), необходимо использовать следующие уравнения (см. Примечания 1 и 7):

$$\begin{aligned}
 G(\varphi) &= G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 && \text{при } 0^\circ < \varphi < \varphi_m \\
 G(\varphi) &= G_1 && \text{при } \varphi_m \leq \varphi < \max(\varphi_m, \varphi_r) \\
 G(\varphi) &= 29 - 25 \log \varphi && \text{при } \max(\varphi_m, \varphi_r) \leq \varphi < 48^\circ \\
 G(\varphi) &= -13 && \text{при } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ,
 \end{aligned}$$

где:

G_{max} : максимальный коэффициент усиления антенны (дБи) (см. Примечание 2);

$G(\varphi)$: коэффициент усиления (дБи) относительно изотропной антенны;

φ : угол отклонения от оси (градусы);

D : диаметр антенны }
 λ : длина волны } выраженные в одних и тех же единицах;

G_1 : коэффициент усиления первого бокового лепестка
 $= 2 + 15 \log(D/\lambda)$

$$\varphi_m = \frac{20 \lambda}{D} \sqrt{G_{max} - G_1} \quad \text{градусы;}$$

$$\varphi_r = 12,02 (D/\lambda)^{-0,6} \quad \text{градусы.}$$

2.2 в случаях, когда отношение диаметра антенны к длине волны меньше или равно 100 ($D/\lambda \leq 100$), необходимо использовать следующие уравнения (см. Примечания 3 и 7):

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

$$G(\varphi) = 39 - 5 \log(D/\lambda) - 25 \log \varphi \quad \text{при } \varphi_m \leq \varphi < 48^\circ$$

$$G(\varphi) = -3 - 5 \log(D/\lambda) \quad \text{при } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ.$$

3 предварительно указать, что в Приложении 1 содержатся обобщенные диаграммы направленности излучения антенн СФБС для связи пункта с пунктом, которые могут быть использованы только для статистического анализа помех при участии небольшого количества источников помех, например, создаваемых системам фиксированной службы геостационарными спутниками (см. Примечание 9);

4 чтобы следующие примечания рассматривались как часть настоящей Рекомендации.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Усредненные уровни боковых лепестков, приведенные в п. 2.1, на 3 дБ ниже, чем уровни огибающей максимумов боковых лепестков диаграммы направленности, указанные в п. 2.1 Рекомендации МСЭ-R F.699.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Взаимосвязь между G_{max} и D/λ указана в Рекомендации МСЭ-R F.699.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Математическая модель, приведенная в п. 2.2, была выведена при условии, что общая излучаемая мощность антенны не должна превышать общей мощности, поступающей в антенну.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Диаграмма направленности, упомянутая в п. 2, применима только для одной поляризации (горизонтальной или вертикальной).

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Диаграмма направленности, включенная в настоящую Рекомендацию, применима только для поворотно-симметричных антенн.

ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Усредненная диаграмма направленности, приведенная в настоящей Рекомендации, может несколько отличаться от диаграмм направленности реальных антенн. Единственной целью настоящей Рекомендации является предоставление математической модели для использования при оценке помех для применений, упомянутых в п. с) раздела *учитывая*.

ПРИМЕЧАНИЕ 7. – В радиорелейных антеннах обычно используется линейная поляризация. Следовательно, при оценке помех от системы, использующей одну круговую поляризацию, как, например, в случае взаимодействия главного лепестка с главным лепестком от космических станций, эффективный коэффициент усиления радиорелейной антенны $G_{eff}(\varphi)$. Учитывая выигрыш от поляризации, можно приблизительно рассчитать с помощью следующей формулы в пределах 3 дБ от осевого направления в области главного лепестка ($0 < \varphi < \varphi_{3\text{дБ}}$) вместо первой формулы, приведенной в пп. 2.1 или 2.2, как показано в Приложении 2:

$$G_{eff}(\varphi) = G(\varphi) - 1,7 \quad \text{дБи,}$$

где $G(\varphi)$ – коэффициент усиления в соответствии с первой формулой, приведенной в пп. 2.1 и 2.2.

В приведенной выше формуле предполагается, что коэффициент усиления кросс-поляризованной антенны при $0^\circ < \varphi < \varphi_{3\text{дБ}}$ на 20 дБ меньше, чем G_{max} . Не следует ожидать выигрыша от поляризации при $\varphi > \varphi_{3\text{дБ}}$ или в случае, если радиорелейная станция находится за пределами главного лепестка антенны другой службы.

Угол $\varphi_{3\text{дБ}}$, при котором коэффициент усиления для совпадающей поляризации на 3 дБ ниже максимального коэффициента усиления G_{max} , можно рассчитать путем замены $G(\varphi)$ на $G_{max} - 3$ дБ в выражении для $G(\varphi)$ при $0^\circ < \varphi < \varphi_m$:

$$\varphi_{3\text{дБ}} \approx \frac{34,64}{\left(\frac{D}{\lambda}\right)}.$$

ПРИМЕЧАНИЕ 8. – Администрациям и другим членам МСЭ-R настоятельно рекомендуется представлять информацию, в которой усредненные уровни боковых лепестков и обобщенные диаграммы направленности, приведенные в настоящей Рекомендации, сравниваются с теми, которые получены при помощи измерений диаграммы направленности реальных антенн. Эта информация может помочь при доработке настоящей Рекомендации.

ПРИМЕЧАНИЕ 9. – Администрациям и другим членам МСЭ-R настоятельно рекомендуется изучить практическую возможность расширения области применения модели, приведенной в Приложении 1.

Приложение 1

Математическая модель обобщенных диаграмм направленности излучения антенн систем связи пункта с пунктом фиксированной службы, предназначенная для использования при статистической оценке помех

1 Введение

В Рекомендации МСЭ-R F.699 приведены эталонные диаграммы направленности излучения антенн систем связи пункта с пунктом фиксированной службы, основанные на уровнях огибающей максимумов боковых лепестков. Поэтому оценка помех с использованием этой Рекомендации неизбежно приведет к получению завышенной оценки помех.

С другой стороны, в основном тексте настоящей Рекомендации приводится математическая модель усредненных диаграмм направленности антенн систем связи пункта с пунктом фиксированной службы, представляющих усредненные уровни боковых лепестков. Вместе с тем эта модель может применяться только в случае нескольких источников помех или источников помех, уровень которых изменяется во времени.

Требуется математическая модель обобщенных диаграмм направленности антенн, предназначенная для использования в пространственном статистическом анализе, например модель, в которой выводится функция распределения вероятностей помех, создаваемых небольшим количеством спутниковых систем ГСО большому количеству систем или станций фиксированной службы, испытывающих помехи.

2 Антенны, у которых отношение D/λ превышает 100

Эталонная диаграмма направленности антенн с отношением D/λ , превышающим 100, которая представляет уровни огибающей максимумов боковых лепестков, приведена в пункте 2.1 раздела *рекомендует* Рекомендации МСЭ-R F.699. В соответствии с пунктом 2.1 раздела *рекомендует* настоящей Рекомендации, усредненный уровень бокового лепестка на 3 дБ ниже уровня огибающей максимумов боковых лепестков. По-видимому, есть основания предполагать, что реальные уровни боковых лепестков изменяются синусоидально. Поэтому реальная диаграмма направленности будет определяться следующим выражением:

$$G(\varphi) = \max [G_a(\varphi), G_b(\varphi)] \quad \text{при} \quad 0 \leq \varphi < \varphi_r \quad (1a)$$

$$G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi + F(\varphi) \quad \text{при} \quad \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ \quad (1b)$$

$$G(\varphi) = -10 + F(\varphi) \quad \text{при} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ, \quad (1c)$$

где:

$$G_a(\varphi) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad (1d)$$

$$G_b(\varphi) = G_1 + F(\varphi) \quad (1e)$$

$$G_1 = 2 + 15 \log (D/\lambda) \quad \text{дБ} \quad (2a)$$

$$\varphi_r = 15,85 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0,6} \quad \text{градусы} \quad (2b)$$

$$F(\varphi) = 10 \log \left(0,9 \sin^2 \left(\frac{3 \pi \varphi}{2 \varphi_r} \right) + 0,1 \right) \quad \text{дБ.} \quad (2c)$$

При этом предполагается, что φ_r соответствует внеосевому углу максимума первого бокового лепестка, а фаза при $\varphi = \varphi_r$ равна $1,5\pi$. Следует отметить, что аргумент синусоидальной функции в уравнении (2с) выражен в радианах, а $F(\varphi)$ принимает близкое к нулю или отрицательное значение. $F(\varphi) = 0$ соответствует максимумам боковых лепестков. Параметр 0,1 введен в уравнении (2с) для недопущения ситуации, при которой $F(\varphi)$ опускается ниже -10 дБ.

3 Антенны, у которых отношение D/λ меньше или равно 100

В случае антенн, у которых отношение D/λ меньше или равно 100, предполагается, что уровни максимумов боковых лепестков на 3 дБ выше, чем усредненный уровень боковых лепестков, приведенный в основном тексте настоящей Рекомендации.

Таким образом, в качестве обобщенной диаграммы направленности антенны, у которой отношение D/λ меньше или равно 100, предварительно представлена следующая диаграмма направленности:

$$G(\varphi) = \max [G_a(\varphi), G_b(\varphi)] \quad \text{при } 0 \leq \varphi < \varphi_r \quad (3a)$$

$$G(\varphi) = 42 - 5 \log (D/\lambda) - 25 \log \varphi + F(\varphi) \quad \text{при } \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ \quad (3b)$$

$$G(\varphi) = -5 \log (D/\lambda) + F(\varphi) \quad \text{при } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ, \quad (3c)$$

где:

$$G_a(\varphi) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad (3d)$$

$$G_b(\varphi) = G_1 + F(\varphi) \quad (3e)$$

$$G_1 = 2 + 15 \log (D/\lambda) \quad \text{дБ} \quad (4a)$$

$$\varphi_r = 39,8 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0,8} \quad \text{градусы} \quad (4b)$$

$$F(\varphi) = 10 \log \left(0,9 \sin^2 \left(\frac{3 \pi \varphi}{2 \varphi_r} \right) + 0,1 \right) \quad \text{дБ.} \quad (4c)$$

И вновь следует отметить, что аргумент синусоидальной функции в уравнении (4с) выражен в радианах, а $F(\varphi)$ принимает близкое к нулю или отрицательное значение. $F(\varphi) = 0$ соответствует максимумам боковых лепестков. Параметр 0,1 введен в уравнении (4с) по той же причине, что и в уравнении (2с).

4 Вывод

Уравнения (1a)–(1e) (вместе с уравнениями (2a)–(2с)) и уравнения (3a)–(3e) (вместе с уравнениями (4a)–(4с)) предварительно представлены в качестве математических моделей обобщенных диаграмм направленности излучения антенн систем связи пункта с пунктом фиксированной службы, предназначенных для использования при статистической оценке помех.

Приложение 2

Получение $G_{eff}(\varphi)$, указанного в Примечании 7 относительно выигрыша от поляризации при взаимодействии систем с линейной поляризацией и систем с круговой поляризацией

1 Введение

В антеннах радиорелейных станций обычно используется линейная поляризация. Следовательно, при поступлении помехи от системы, использующей круговую поляризацию, в антенны радиорелейных станций важно оценить потери рассогласования между круговой и линейной поляризацией или выигрыш от поляризации при взаимодействии систем с линейной поляризацией и систем с круговой поляризацией. В идеальном случае потери рассогласования между круговой и линейной поляризацией составят 3 дБ. В реальных системах будет достигнута несколько меньшая поляризационная развязка, чем в идеальной ситуации.

В настоящем Приложении рассматривается получение значения потерь рассогласования между круговой и линейной поляризацией в практических случаях.

2 Уравнение потерь на поляризацию в неидеальных антеннах

В неидеальных антеннах потери на поляризацию обычно задаются следующим выражением:

$$L_p = -10 \log \left(\frac{1}{2} + \frac{4r_w r_a + (r_w^2 - 1)(r_a^2 - 1) \cos 2\Delta\tau}{2(r_w^2 + 1)(r_a^2 + 1)} \right),$$

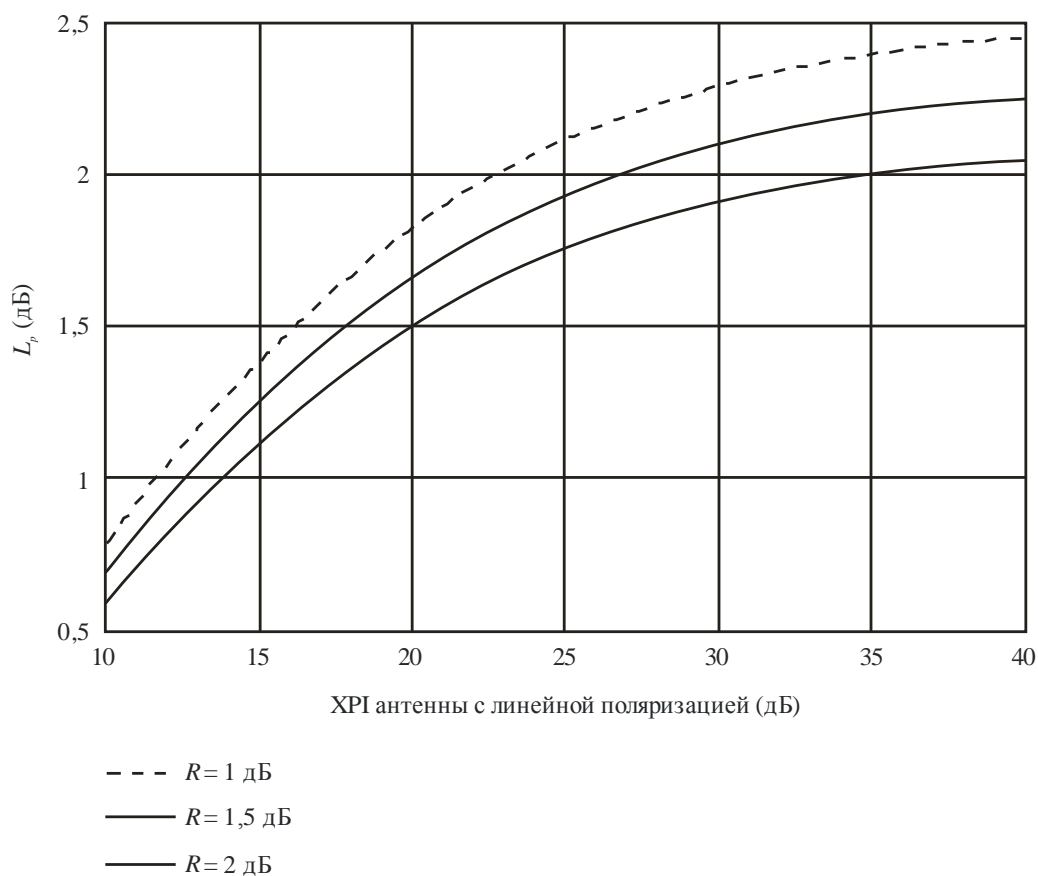
где:

- L_p : потери на поляризацию;
- r_w : коэффициент эллиптичности радиоволны по напряжению;
- r_a : коэффициент эллиптичности антенны по напряжению;
- $\Delta\tau$: угол между углом наклона эллипса поляризации антенны и углом наклона эллипса поляризации падающей волны; оба угла отчитываются от горизонтальной плоскости на поверхности Земли. Для целей настоящего анализа предполагается, что $\Delta\tau = 0$, что является самым консервативным случаем.

Для антенны с круговой поляризацией коэффициент эллиптичности по напряжению, как правило, указывается в децибелах. Эти члены связаны соотношением: $R(\text{дБ}) = 20 \log(|r_w|)$. Для антенны с линейной поляризацией коэффициент эллиптичности в децибелах эквивалентен величине кросс-поляризационной развязки, определяемой из следующего соотношения: $\text{ХРП}(\text{дБ}) = 20 \log(|r_a|)$.

На приведенном ниже рисунке 1 показан график зависимости потерь на поляризацию, L_p , от кросс-поляризационной развязки (ХРП) для трех значений коэффициента эллиптичности антенны с круговой поляризацией, R . Данная кривая не зависит от частоты.

РИСУНОК 1

Зависимость потерь на поляризацию от ХРІ для разных значений R 

F.1245-01

Соответствующее значение L_p будет зависеть от характеристик антенн с линейной и круговой поляризацией во всем диапазоне частот от 1 до 70 ГГц.

3 Примеры данных по ХРІ

В таблицах 1 и 2 приведены примеры данных по ХРІ для антенн фиксированной службы двух администраций. В таблице 1 содержится краткая информация из базы данных по лицензированию одной администрации для ряда полос частот примерно от 1 ГГц до 40 ГГц, в таблице 2 приведены другие данные по ХРІ, основанные на разных типах антенн, используемых в другой администрации в полосах частот примерно от 6 ГГц до 22 ГГц.

ТАБЛИЦА 1

Пример данных по ХРІ в одной администрации

Полоса (ГГц)	Количество зарегистрированных антенн	ХРІ, 5-й процентиль (дБ)	ХРІ, 10-й процентиль (дБ)	ХРІ, медианное значение (дБ)
0,953–1,525	484	12	20	30
1,7–2,7	698	20	20	30
3,4–5,0	280	15	20	30
5,85–7,125	532	20	28	30
7,125–7,725	403	24	28	30
7,725–8,5	213	30	30	30
10,5–10,68	151	28	30	30
10,7–11,7	202	20	25	30
12,7–13,25	209	25	25	30
14,5–15,35	172	28	30	30
17,7–19,7	181	27	30	30
21,2–23,6	164	25	28	30
24,25–25,25	8	30	30	32
24,35–28,35	4	30	30	32
28,6–40,0	30	23	26	30

ТАБЛИЦА 2

Пример данных по ХРІ в другой администрации

Полоса (ГГц)	Количество типов антенн	Количество развернутых антенн	ХРІ, 10-й процентиль (дБ)	ХРІ, среднее значение (дБ)
5,925–7,75	11	600	25	29
10,7–15,23	27	5 700	32	35
17,85–23,2	13	2 806	26	28

Согласно этим данным целесообразно предположить, что на частотах до 40 ГГц минимальное значение ХРІ равно 20 дБ.

Несмотря на отсутствие данных о характеристиках антенны на частотах выше 40 ГГц, наблюдается тенденция к сохранению или улучшению характеристик кросс-поляризации с увеличением частоты. Поэтому до появления более конкретных данных об антеннах с линейной поляризацией в более высоких полосах частот, а также в соответствии с пунктом 2 раздела *рекомендует* можно сделать предварительный вывод о возможности использования минимального значения ХРІ, равного 20 дБ, и на частотах от 40 ГГц до 70 ГГц.

4 Вывод

С учетом таблиц 1 и 2 подходящее значение ХРІ антенны радиорелейной станции равно 20 дБ. С учетом рисунка 1, при значении ХРІ, равном 20 дБ, и ориентировочном максимальном коэффициенте эллиптичности создающей помехи антенны с круговой поляризацией (R), равном 1,5 дБ, который применим вблизи опорного направления антенн космических станций, не осуществляющих повторное использование частот путем ортогональной поляризации и работающих в полосах частот примерно от 2 до 30 ГГц, потери на поляризацию составят 1,7 дБ. Данное значение применимо только в пределах ширины луча антенны по уровню 3 дБ для антенны радиорелейной станции и вблизи опорного направления антенн космических станций и должно быть применимо на частотах от 1 до 70 ГГц.
