|  |
| --- |
| **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-Т/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-Т/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

|  |  |
| --- | --- |
| **Серии Рекомендаций МСЭ-R**  (Представлены также в онлайновой 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[[1]](#footnote-1)\*

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,

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*/λ > 100), необходимо использовать следующие уравнения (см. Примечания 1 и 7):

*G*(ϕ)  =  *Gmax*  –  2,5  ×  10–3 при 0° < ϕ < ϕ*m*

*G*(ϕ)  =  *G*1 при ϕ*m* ≤ ϕ < max (ϕ*m*, ϕ*r*)

*G*(ϕ)  =  29  –  25 log ϕ при max (ϕ*m*, ϕ*r*) ≤ ϕ< 48°

*G*(ϕ)  =  –13 при 48° ≤ ϕ ≤ 180°,

где:

*Gmax*: максимальный коэффициент усиления антенны (дБи) (см. Примечание 2);

*G*(ϕ): коэффициент усиления (дБи) относительно изотропной антенны;

ϕ: угол отклонения от оси (градусы);

  выраженные в одних и тех же единицах;

*G*1: коэффициент усиления первого бокового лепестка

2  15 log (*D*/λ)

              градусы;

                  градусы.

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

*G*(ϕ)  =  *Gmax*  –  2,5  ×  10–3  при 0° <ϕ< ϕ*m*

*G*(ϕ)  =  39 – 5 log (*D*/λ)  –  25 log ϕ при ϕ*m* ≤ϕ< 48°

*G*(ϕ)  =  –3 – 5 log (*D*/λ) при 48° ≤ϕ≤ 180°.

**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 *Gmax* 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 *Geff*(ϕ). Учитывая выигрыш от поляризации, можно приблизительно рассчитать с помощью следующей формулы в пределах 3 дБ от осевого направления в области главного лепестка (0 < ϕ < ϕ3 дБ) вместо первой формулы, приведенной в пп. 2.1 или 2.2, как показано в Приложении 2:



где *G*(ϕ) – 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° < ϕ < ϕ3 дБ на 20 дБ меньше, чем *Gmax*. Не следует ожидать выигрыша от поляризации при ϕ > ϕ3 дБ или в случае, если радиорелейная станция находится за пределами главного лепестка антенны другой службы.

Угол ϕ3 дБ, при котором коэффициент усиления для совпадающей поляризации на 3 дБ ниже максимального коэффициента усиления *Gmax*, можно рассчитать путем замены *G(*ϕ) на *Gmax* − 3 дБ в выражении для *G*(ϕ) при 0° < ϕ < ϕ*m*:

.

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*(ϕ)  max [*Ga*(ϕ), *Gb*(ϕ)] при 0 ≤ ϕ < ϕ*r* (1a)

 *G*(ϕ)  32 – 25 log ϕ *F*(ϕ)при ϕ*r*≤ ϕ < 48°(1b)

*G*(ϕ)–10  *F*(ϕ) при 48° ≤ ϕ ≤ 180°,(1c)

где:

 (1d)

*Gb*(ϕ)*G*1 + *F*(ϕ) (1e)

*G*1  2  15 log (*D*/λ)          дБ (2a)

ϕ*r*  15,85            градусы (2b)

*F*(ϕ)10 log           дБ. (2c)

При этом предполагается, что ϕ*r* соответствует внеосевому углу максимума первого бокового лепестка, а фаза при ϕ = ϕ*r* равна 1,5π. Следует отметить, что аргумент синусоидальной функции в уравнении (2c) выражен в радианах, а *F*(ϕ) принимает близкое к нулю или отрицательное значение. *F*(ϕ) = 0 соответствует максимумам боковых лепестков. Параметр 0,1 введен в уравнении (2c) для недопущения ситуации, при которой *F*(ϕ) 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*(ϕ)  max [*Ga*(ϕ), *Gb*(ϕ)] при 0 ≤ ϕ < ϕ*r* (3a)

 *G*(ϕ) = 42 – 5 log (*D*/λ) – 25 log ϕ + *F*(ϕ) при ϕ*r* ≤ ϕ < 48° (3b)

*G*(ϕ) = –5 log (*D*/λ) + *F*(ϕ) при 48° ≤ ϕ ≤ 180°, (3c)

где:

 (3d)

*Gb*(ϕ)*G*1 + *F*(ϕ) (3e)

*G*1  2  15 log (*D*/λ)         дБ (4a)

ϕ*r*  39,8           градусы (4b)

*F*(ϕ)10 log            дБ. (4c)

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

# 4 Вывод

Уравнения (1a)–(1e) (вместе с уравнениями (2a)–(2c)) и уравнения (3a)–(3e) (вместе с уравнениями (4a)–(4c)) 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 *Geff* (ϕ), 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:

,

где:

*Lp*: потери на поляризацию;

*rw*: коэффициент эллиптичности радиоволны по напряжению;

*ra*: коэффициент эллиптичности антенны по напряжению;

Δτ: угол между углом наклона эллипса поляризации антенны и углом наклона эллипса поляризации падающей полны; оба угла отчитываются от горизонтальной плоскости на поверхности Земли. Для целей настоящего анализа предполагается, что Δτ = 0, что является самым консервативным случаем.

Для антенны с круговой поляризацией коэффициент эллиптичности по напряжению, как правило, указывается в децибелах. Эти члены связаны соотношением: . Для антенны с линейной поляризацией коэффициент эллиптичности в децибелах эквивалентен величине кросс‑поляризационной развязки, определяемой из следующего соотношения: .

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

Рисунок 1

Зависимость потерь на поляризацию от XPI для разных значений *R*



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

# 3 Примеры данных по XPI

В таблицах 1 и 2 приведены примеры данных по XPI 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 XPI, основанные на разных типах антенн, используемых в другой администрации в полосах частот примерно от 6 ГГц до 22 ГГц.

ТАБЛИЦА 1

Пример данных по XPI в одной администрации

| Полоса  (ГГц) | Количество зарегистрированных антенн | XPI,  5-й процентиль (дБ) | XPI,  10-й процентиль (дБ) | XPI, 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 XPI в другой администрации

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Полоса  (ГГц) | Количество типов антенн | Количество развернутых антенн | XPI,  10-й процентиль (дБ) | XPI, 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 XPI 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 XPI, равного 20 дБ, и на частотах от 40 ГГц до 70 ГГц.

# 4 Вывод

С учетом таблиц 1 и 2 подходящее значение XPI антенны радиорелейной станции равно 20 дБ. С учетом рисунка 1, при значении XPI, 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.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. \* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 4‑й и 7‑й Исследовательских комиссий по радиосвязи. [↑](#footnote-ref-1)