



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.640

(03/2006)

СЕРИЯ G: СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ,
ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Характеристики среды передачи – Подводные кабели

**Находящиеся в одном и том же месте
продольно совместимые интерфейсы для
оптических систем в свободном
пространстве**

Рекомендация МСЭ-Т G.640

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G
СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ	G.100–G.199
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	G.200–G.299
ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ВЧ-СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ	G.300–G.399
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ИЛИ СПУТНИКОВЫХ ЛИНИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДНЫМИ ЛИНИЯМИ	G.400–G.449
КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ	G.450–G.499
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.600–G.699
Общие положения	G.600–G.609
Симметричные кабельные пары	G.610–G.619
Наземные коаксиальные кабельные пары	G.620–G.629
Подводные кабели	G.630–G.649
Волоконно-оптические кабели	G.650–G.659
Характеристики оптических компонентов и подсистем	G.660–G.699
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.700–G.799
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.800–G.899
ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ	G.900–G.999
КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ – ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.6000–G.6999
ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	G.7000–G.7999
ETHERNET И АСПЕКТЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ СООБЩЕНИЙ	G.8000–G.8999
СЕТИ ДОСТУПА	G.9000–G.9999

Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.

Рекомендация МСЭ-Т G.640

Находящиеся в одном и том же месте продольно совместимые интерфейсы для оптических систем в свободном пространстве

Резюме

В настоящей Рекомендации предусматривается процедура определения того, чтобы две находящиеся в одном и том же месте системы оптической передачи в свободном пространстве (FSO) не создавали помех друг для друга. Включены также расчеты условий, которые должны соблюдаться для предупреждения помех в некоторых случаях находящихся в одном и том же месте систем FSO.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т G.640 утверждена 29 марта 2006 г. 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2005–2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации носит добровольный характер. Однако в Рекомендации могут содержаться определенные обязательные положения (например, для обеспечения возможности взаимодействия или применимости), и соблюдение положений данной Рекомендации достигается в случае выполнения всех этих обязательных положений. Для выражения необходимости выполнения требований используется синтаксис долженствования и соответствующие слова (такие, как "должен" и т. п.), а также их отрицательные эквиваленты. Использование этих слов не предполагает, что соблюдение положений данной Рекомендации является обязательным для какой-либо из сторон.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения этой Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ.

© ITU 2006

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких-либо средств без письменного разрешения МСЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Сфера применения	1
2 Справочные документы.....	1
2.1 Нормативные справочные документы.....	1
2.2 Информационные справочные документы	1
3 Термины и определения	1
3.1 Определения.....	1
3.2 Термины, определенные в других рекомендациях.....	2
4 Сокращения	2
5 Эталонные точки.....	2
6 Продольная совместимость при нахождении в одном и том же месте.....	3
6.1 Коэффициент перекрестных помех между двумя системами FSO.....	5
6.2 Влияние погодных условий на коэффициент перекрестных помех	9
6.3 Случай А – помехи между двумя системами, которые могут работать на одинаковых длинах волн	10
6.4 Случай В – помехи между двумя системами, которые не могут работать на одних и тех же длинах волн.....	11
6.5 Процедура установления того, соблюдены ли условия для продольной совместимости при нахождении в одном и том же месте	12
7 Соображения в отношении оптической безопасности	13
Дополнение I – Примеры расчетов перекрестных помех.....	13
I.1 Пример 1.....	13
I.2 Пример 2.....	15
I.3 Пример 3.....	16

Рекомендация МСЭ-Т G.640

Находящиеся в одном и том же месте продольно совместимые интерфейсы для оптических систем в свободном пространстве

1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации определяются оптические интерфейсы для "находящихся в одном и том же месте продольно совместимых" систем оптической передачи в свободном пространстве, что позволяет обеспечивать беспомеховое сосуществование в одном и том же месте нескольких систем оптической передачи из пункта в пункт в свободном пространстве.

В настоящую Рекомендацию включены также определения параметров, относящихся к характеристикам оптических систем в свободном пространстве.

Оптические системы в свободном пространстве обычно именуются системы "FSO".

2 Справочные документы

2.1 Нормативные справочные документы

Нижеследующие Рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылок на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие источники являются предметом пересмотра; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается рассмотреть возможность применения последнего издания Рекомендаций и других ссылок, перечисленных ниже. Перечень действующих на настоящий момент Рекомендаций МСЭ-Т публикуется регулярно. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статус рекомендации.

- ITU-T Recommendation G.957 (1999), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy*.
- IEC 60825-1 (2001), *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide*.
- IEC 60825-2 (2005), *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)*.
- IEC 60825-12 (2004), *Safety of laser products – Part 12: Safety of free space optical communication systems used for transmission of information*.

2.2 Информационные справочные документы

- Рекомендации МСЭ-Т серии G – Дополнение 39 (2006 г.), *Рассмотрение вопросов расчета и проектирования оптических систем*.

3 Термины и определения

3.1 Определения

В настоящей Рекомендации определяются следующие термины:

3.1.1 приемный угол: Приемный угол (приемника FSO) представляет собой угол между двумя линиями, на которых мощность, детектируемая приемником, уменьшается до $1/e^2$. Этот параметр именуется также зоной видимости (ЗВ) приемника FSO и обычно определяется, когда плотность мощности снижается до $1/e^2$, $1/e$ или 50%.

3.1.2 расхождение пучка: Расхождение пучка представляет собой угол между линиями, при котором плотность мощности пучка FSO снижается до $1/e^2$.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Этот параметр обычно определяется также, когда плотность мощности уменьшается либо до $1/e$, либо до 50%.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Расхождение пучка следует измерять на расстоянии, которое по меньшей мере в пять раз превышает рэлеевское расстояние от линзы (см. п. 3.1.8.), для обеспечения его измерения в условиях дальнего поля.

3.1.3 перекрестные помехи между каналами: Отношение мешающей оптической мощности к полезной оптической мощности, обнаруженной приемником, когда мешающий и полезный сигналы имеют разную длину волны.

3.1.4 штраф по перекрестным помехам между каналами: Штраф, присвоенный в бюджете системы, по перекрестным помехам между каналами.

3.1.5 интерферометрические перекрестные помехи: Отношение мешающей оптической мощности к полезной оптической мощности, обнаруженной приемником, когда мешающий и полезный сигналы имеют одну и ту же длину волны.

3.1.6 штраф по интерферометрическим перекрестным помехам: Штраф, присвоенный в бюджете системы, по интерферометрическим перекрестным помехам.

3.1.7 ошибка установки передатчика (или приемника): Максимальный угол между осью передатчика (или приемника) и прямой линией, соединяющей передатчик и приемник.

3.1.8 рэлеевское расстояние: Определяется как:

$$\text{Рэлеевское расстояние} = \frac{2D^2}{\lambda},$$

где

D : диаметр линзы передатчика

λ : длина волны.

3.2 Термины, определенные в других рекомендациях

В настоящей Рекомендации используется следующий термин, определенный в Рекомендации МСЭ-Т G.957:

– Контраст сигнала.

4 Сокращения

ZB Зона видимости

FSO Оптическая система в свободном пространстве

R_{fso} Эталонная плоскость непосредственно перед входными линзами оптического приемника

Rx Приемник

S_{fso} Эталонная плоскость непосредственно после выходных линз оптического приемника

Tx Передатчик

5 Эталонные точки

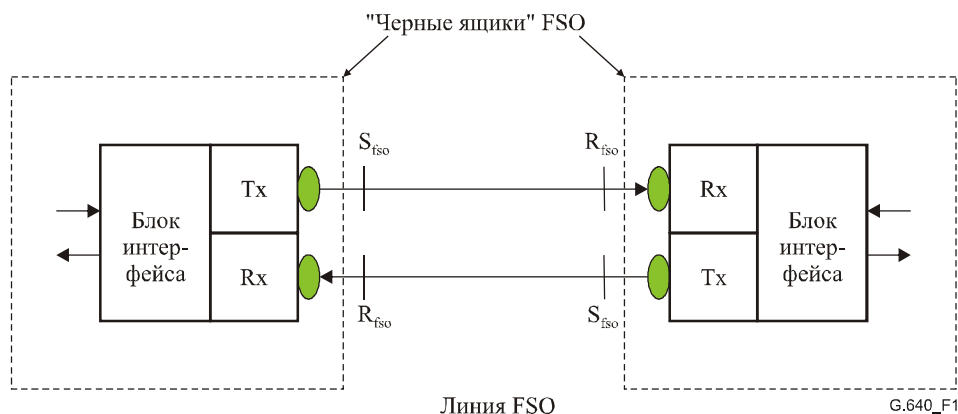


Рисунок 1/G.640 – Эталонная диаграмма оптического канала в свободном пространстве

Эталонные плоскости на рисунке 5 определены следующим образом:

- S_{fso} является эталонной плоскостью непосредственно после выходной линзы оптического передатчика;
- R_{fso} является эталонной плоскостью непосредственно перед входной линзой оптического приемника.

6 Продольная совместимость при нахождении в одном и том же месте

Свободно пространство между эталонными плоскостями S_{fso} и R_{fso} в системе FSO является общей средой, совместно используемой по разным причинам многими другими пользователями. В целях выработки критериев для нахождения систем FSO в одном и том же месте в п. 6.1 приводится описание коэффициента перекрестных помех C , создаваемых одной системой, испытывающей помехи со стороны другой системы, а в п. 6.2 рассматривается воздействие погодных условий на коэффициент перекрестных помех. Далее определяется штраф по мощности оптической линии для двух случаев:

- случай А – когда две системы могут находиться на одной и той же длине волны – (см. п. 6.3);
- случай В – когда две системы **не** могут находиться на одной и той же длине волны – (см. п. 6.4).

Различия между этими двумя случаями показаны на рисунке 6-1.

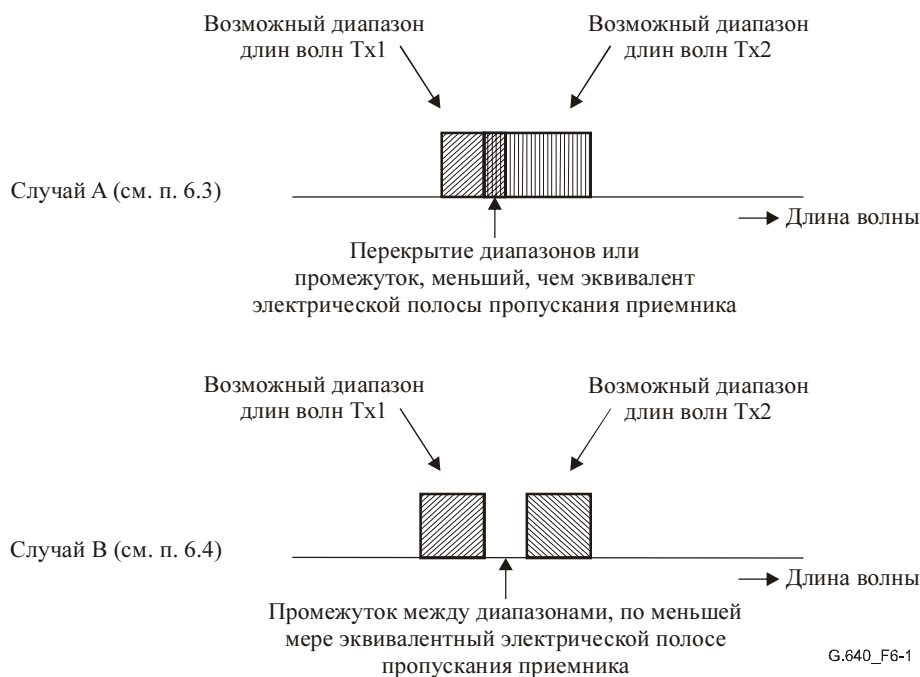


Рисунок 6-1/G.640 – Иллюстрация различия между случаями, рассматриваемыми в пп. 6.3 и 6.4

В случае двунаправленных систем оба направления должны рассматриваться отдельно.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В некоторых системах FSO когерентность источника является достаточно низкой (особенно в случае систем на базе светодиодов), и даже при одинаковой длине волн интерферометрические перекрестные помехи не наблюдаются. В отношении таких находящихся в одном и том же месте систем FSO всегда применяется случай В.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Даже для некоторых систем FSO на основе лазеров предположение о наличии интерферометрических перекрестных помех может быть пессимистическим, поскольку лазерная когерентность может быть в значительной степени нарушена под воздействием атмосферы на некоторых длинах волн.

6.1 Коэффициент перекрестных помех между двумя системами FSO

На основе предположения о том, что пучок, создаваемый передатчиком FSO, может аппроксимироваться гауссовским пучком, на рисунке 6-2 приводится эталонная диаграмма для общего передатчика FSO.

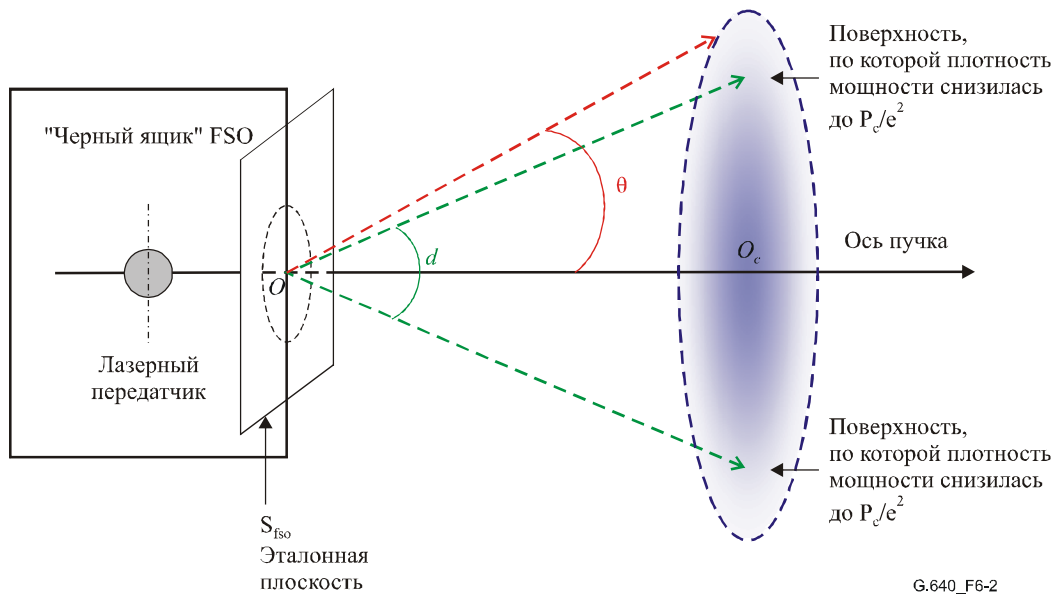


Рисунок 6-2/G.640 – Эталонная диаграмма гауссовского пучка для передатчика FSO

Плотность оптической мощности этого пучка под углом θ к оси пучка задается уравнением:

$$O = O_c e^{\frac{-8\theta^2}{d^2}}, \quad (6-1)$$

где:

- O_c : плотность оптической мощности в центре пучка
- d : расхождение пучка (угол между линиями, при котором плотность мощности снижается до $1/e^2$) и
- θ : угол между осью пучка и точкой измерения.

Если в отношении какой-либо конкретной системы FSO известна кривая плотности оптической мощности в зависимости от угла, то вместо аппроксимации из уравнения 6-1 следует использовать значения на этой кривой. Пример измеренной кривой приводится на рисунке 6-3.

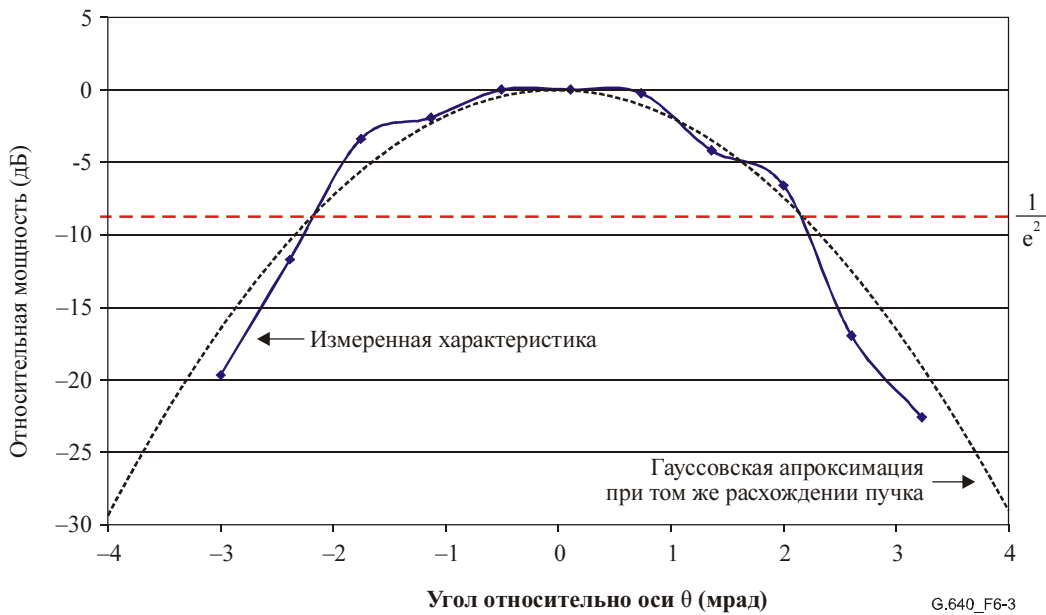


Рисунок 6-3/G.640 – Пример измеренной кривой плотности мощности в зависимости от угла

Соответствующая эталонная диаграмма для приемника FSO приводится на рисунке 6-4.

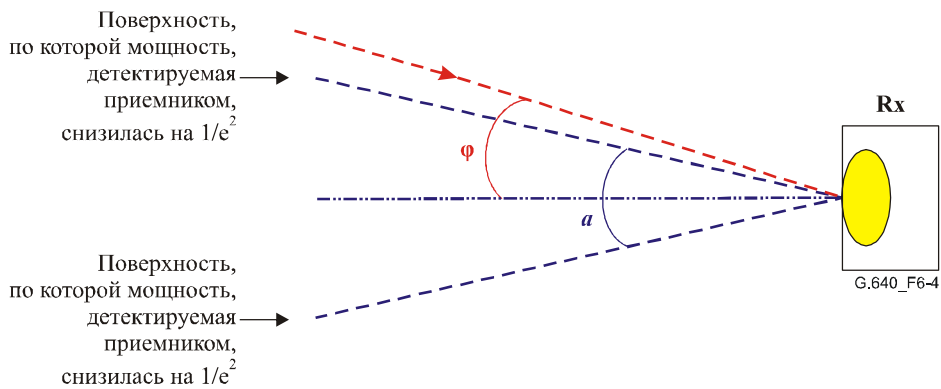


Рисунок 6-4/G.640 – Эталонная диаграмма для приемника FSO

Характеристика детектированной мощности в зависимости от угла для приемника FSO определяется целым рядом параметров, включая фокусное расстояние линзы, качество линзы и диаметр детектора.

Если диаметр пятна, образуемого линзой, меньше диаметра детектора, то характеристика будет почти прямоугольной. Однако, если диаметр пятна почти такой же, как и диаметр детектора, то характеристика будет почти гауссовской кривой, где мощность оптического излучения (падающего под углом φ к оси приемника), обнаруженная приемником, задается уравнением:

$$R = R_a e^{\frac{-8\varphi^2}{a^2}}, \quad (6-2)$$

где:

R_a : оптическая мощность, детектированная приемником, когда световой поток падает вдоль оси приемника

a : приемный угол (угол между линиями, при котором мощность, обнаруженная приемником, снижается до $1/e^2$) и

φ : угол между падающим световым потоком и осью приемника.

Два случая, определенные выше, иллюстрируются на рисунках 6-5 и 6-6.

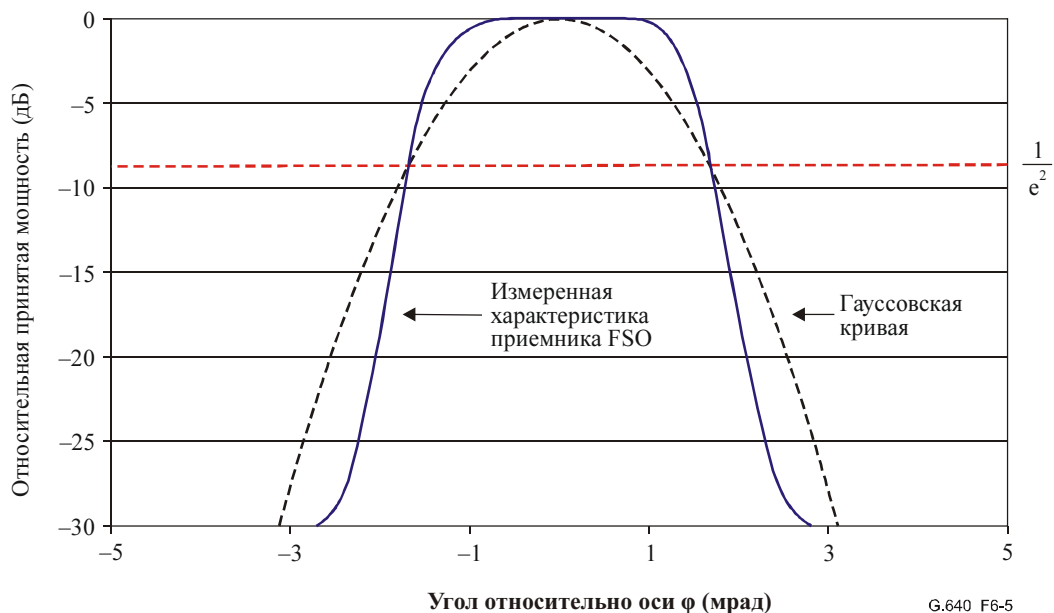


Рисунок 6-5/G.640 – Пример измеренной кривой принятой мощности в зависимости от угла, имеющей прямоугольную форму

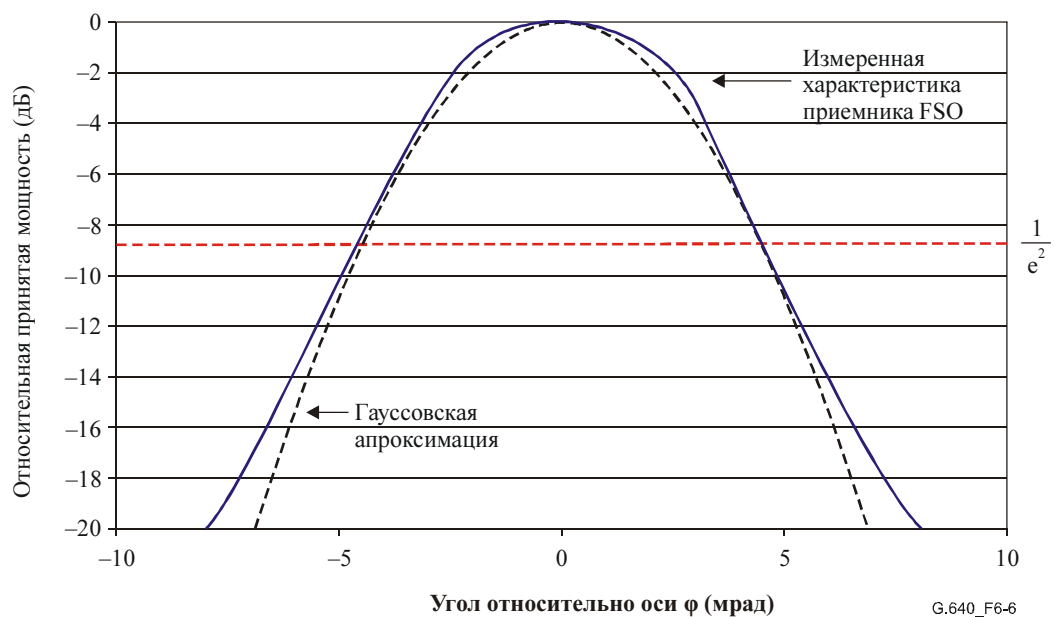


Рисунок 6-6/G.640 – Пример измеренной кривой принятой мощности в зависимости от угла в гауссовой форме

Как видно на рисунке 6-5, в случае прямоугольной формы соответствие между измеренной характеристикой и гауссовской кривой не очень хорошее.

Соответственно, если в отношении какой-либо конкретной системы FSO известна кривая оптической мощности, детектированной приемником, в зависимости от угла, то вместо аппроксимации на основании уравнения 6-2 следует использовать значения на этой кривой.

В том случае, когда две системы не могут иметь одну и ту же длину волны, оптическая фильтрация в приемнике может дополнительно уменьшить величину детектированной приемником мешающей мощности относительно полезной мощности. Этот эффект иллюстрируется на рисунке.

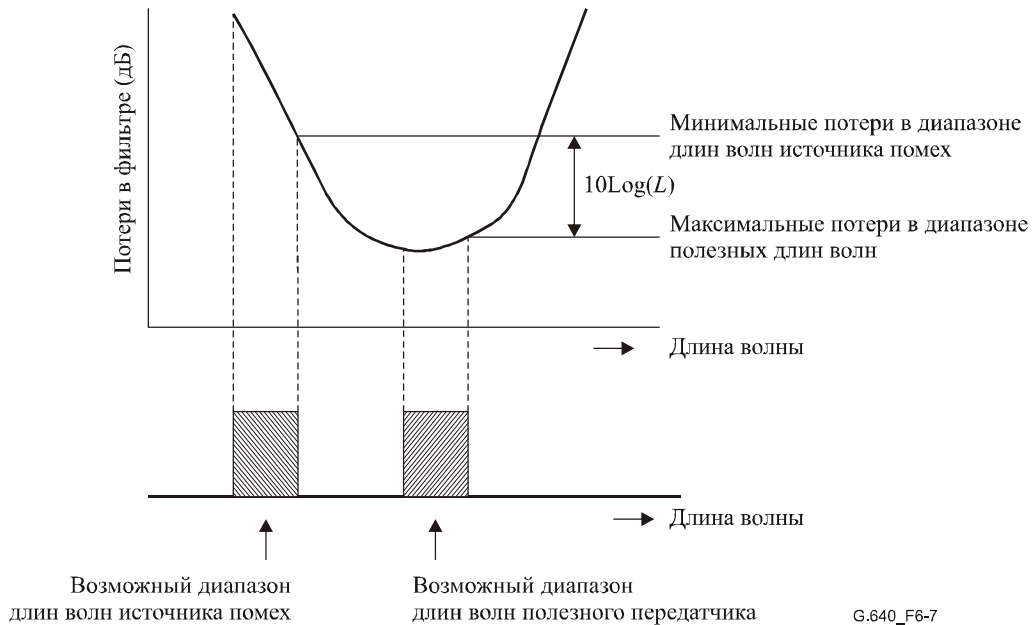


Рисунок 6-7/G.640 – Пример уменьшения мешающей мощности посредством оптической фильтрации

На рисунке 6-8 показан общий случай, когда одна система FSO создает помехи другой системе.

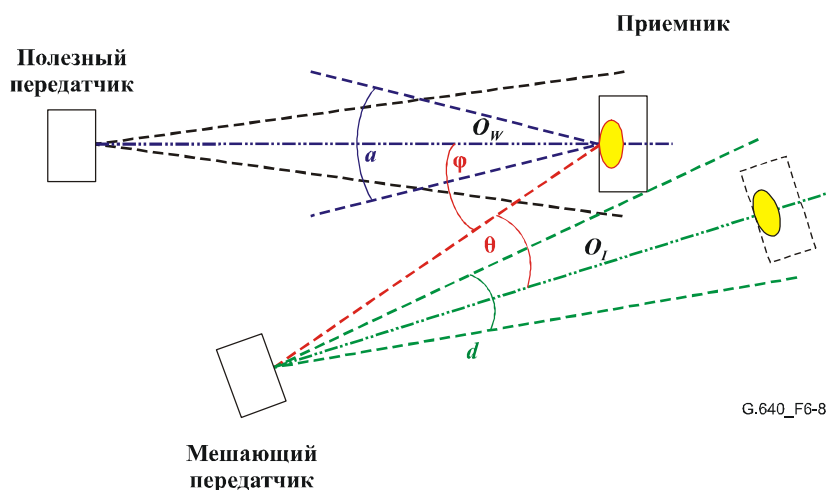


Рисунок 6-8/G.640 – Эталонная диаграмма перекрестных помех в системе FSO

Она дает уравнение для коэффициента перекрестных помех C :

$$C = L \frac{O_I}{O_W} e^{\frac{-8\theta^2}{d^2}} e^{\frac{-8\varphi^2}{a^2}}, \quad (6-3)$$

где:

- L : коэффициент потерь в оптическом фильтре между диапазонами полезной и мешающей длин волн, как это показано на рисунке 6-7 (он будет равен 1 в случае перекрытия диапазонов (случай А) или если оба диапазона находятся на плоском участке характеристики фильтра)
- O_W : минимальная плотность мощности в центре полезного пучка
- O_I : максимальная плотность в центре мешающего пучка на том же расстоянии от мешающего передатчика, что и приемник
- θ : угол между осью мешающего пучка и линией между мешающим передатчиком и приемником
- d : расхождение пучка (угол между линиями, при котором плотность мощности снижается до $1/e^2$) мешающего передатчика
- φ : угол между осью приемника и линией между мешающим передатчиком и приемником
- a : приемный угол приемника (угол между линиями, при котором мощность, детектированная приемником, снижается до $1/e^2$).

Если в отношении мешающего передатчика известна кривая плотности оптической мощности в зависимости от угла, то в уравнении 6-3 член $e^{\frac{-8\theta^2}{d^2}}$ следует заменить (линейным) значением на этой кривой.

Аналогичным образом, если известна кривая оптической мощности, детектированной приемником, в зависимости от угла, то в уравнении 6-3 член $e^{\frac{-8\varphi^2}{a^2}}$ следует заменить (линейным) значением на этой кривой.

6.2 Влияние погодных условий на коэффициент перекрестных помех

Используемые на практике системы FSO, как правило, сконструированы так, что могут выдерживать воздействие самых разных погодных условий. Двумя основными результатами воздействия погодных условий, которые следует учитывать при расчете коэффициента перекрестных помех, являются затухание и расхождение луча.

6.2.1 Изменение затухания

При применении уравнения 6-3 для расчета коэффициента перекрестных помех необходимо внимательно отнестись к оценке фактора $\frac{O_I}{O_W}$ для обеспечения того, чтобы используемое значение было наилучшим для тех возможных погодных условий, которые полезная линия должна выдерживать. В частности, в том случае, когда мешающий передатчик находится ближе к приемнику, чем полезный передатчик, наилучшее соотношение между плотностью мешающей мощности и плотностью полезной мощности в центре их соответствующих пучков наступит при максимальном затухании полезной линии (т. е. при наилучших погодных условиях, которые система должна выдерживать). В качестве примера см. пример 3 в Дополнении I.

6.2.2 Изменение расхождения пучка

Второй результат воздействия погоды на линии FSO заключается в том, что под воздействием плохих погодных условий фактическое расхождение пучка может несколько увеличиться. Такой эффект следует принимать во внимание при установлении значения d , используемого в уравнении 6-3 для расчета коэффициента перекрестных помех.

В том случае, когда две находящиеся в одном и том же месте линии работают на разных длинах волн, затухание полезного и мешающего пучков может быть различным. В то же время степень различия в затухании зависит от целого ряда параметров, например размера капель воды.

6.3 Случай А – помехи между двумя системами, которые могут работать на одинаковых длинах волн

Когда длины волн двух находящихся в одном и том же месте систем FSO могут быть одинаковыми, то для предотвращения взаимных помех каждая система FSO должна претендовать на определенное физическое пространство. Пространство, на которое они должны претендовать, зависит от уровня интерферометрических перекрестных помех, создаваемых источником помех.

Штраф по интерферометрическим перекрестным помехам, предусмотренный в Рекомендациях МСЭ-Т серии G – Дополнение 39 (и включающий влияние неполного контраста сигнала) равен:

$$P_I = 10 \log_{10} \left(\frac{\frac{r-1}{r+1}}{\frac{r-1}{r+1} + 10^{\frac{C_I}{10}} - 4 \sqrt{\frac{r}{r+1}} 10^{\frac{C_I}{10}}} \right) \quad \text{дБ} \quad (6-4)$$

для порога решения по средней мощности либо:

$$P_I = -10 \log_{10} \left(1 - 2 \left(\frac{(1 + \sqrt{r}) \sqrt{10^{\frac{C_I}{10}} (r+1)}}{r-1} \right) \right) \quad \text{дБ} \quad (6-5)$$

для оптимизированного порога решения,

где:

P_I : штраф по интерферометрическим перекрестным помехам (дБ),

$C_I = \log_{10}(C)$: интерферометрические перекрестные помехи (дБ), т. е. отношение мешающей мощности к полезной мощности, детектированной приемником,

r : линейный контраст полезного сигнала.

Штраф по интерферометрическим перекрестным помехам при идеальном полезном сигнале и контрасте сигнала 6 дБ показан на рисунке 6-9.

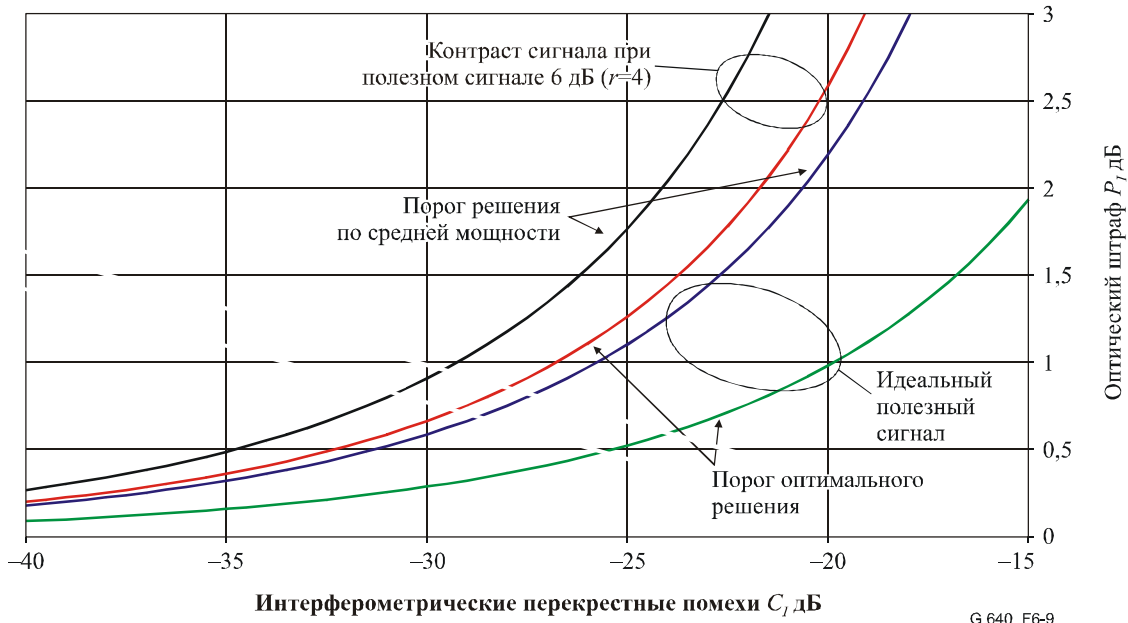


Рисунок 6-9/G.640 – График оптического штрафа в зависимости от интерферометрических перекрестных помех при одиночном источнике помех (ограниченная модель)

6.4 Случай В – помехи между двумя системами, которые не могут работать на одних и тех же длинах волн

Когда длина волн двух находящихся в одном и том же месте систем FSO **не может** быть одинаковой (как показано на рисунке 6-1 случая В), перекрестные помехи, создаваемые источниками помех, являются межканальными перекрестными помехами.

Штраф по межканальным перекрестным помехам, предусмотренный в Рекомендациях МСЭ-Т серии G – Дополнение 39 (и включающий влияние неполного контраста сигнала) равен:

$$P_C = 10 \log_{10} \left(1 - 10^{\frac{C_C}{10}} \frac{r+1}{r-1} \right), \quad [\text{дБ}] \quad (6-6)$$

где:

P_C : штраф по межканальным перекрестным помехам (дБ)

$C_C = \log_{10}(C)$: межканальные перекрестные помехи (дБ), т. е. отношение мешающей мощности к полезной мощности, обнаруженной приемником

r : линейный контраст полезного сигнала

Штраф по межканальным перекрестным помехам при идеальном полезном сигнале и контрасте сигнала 6 дБ показан на рисунке 6-10.

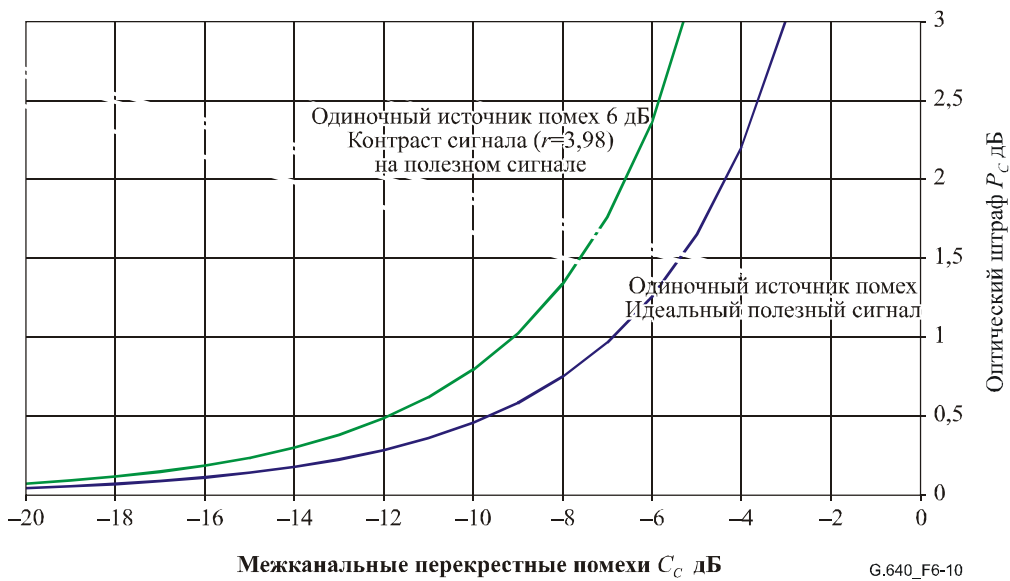


Рисунок 6-10/G.640 – График оптического штрафа в зависимости от межканальных перекрестных помех при одиночном источнике помех

6.5 Процедура установления того, соблюдены ли условия для продольной совместимости при нахождении в одном и том же месте

Когда требуется расположить две системы FSO в непосредственной близости друг от друга, нижеследующая процедура позволяет произвести оценку того, будут ли эти две системы создавать неприемлемые помехи друг для друга. Эта процедура должна быть осуществлена дважды для каждой пары систем FSO, один раз применительно к полезной системе, второй раз применительно к источнику помех, и затем вновь, но в обратном порядке.

- 1 Установить оптический штраф по перекрестным помехам, который допускается в бюджете мощности полезной системы. Например, он может быть равен 0,5 дБ.
- 2 Определить, который из двух случаев, показанных на рисунке 6-1, применим. Если между возможными диапазонами длин волн двух передатчиков имеется промежуток, который по меньшей мере, эквивалентен электрической ширине полосы приемника, то это случай В и перекрестные помехи являются межканальными, в противном случае это случай А – интерферометрические перекрестные помехи.
- 3 Рассчитать коэффициент перекрестных помех. Этот коэффициент различен в зависимости от результата этапа 2.
 - а) Случай А. При интерферометрических перекрестных помехах для расчета того, какое значение перекрестных помех приведет к максимальному штрафу, установленному на этапе 1, следует использовать уравнение 6-4 или 6-5 (в зависимости от того, оптимизирована ли точка принятия решения приемника). Например, полезный передатчик с контрастом сигнала 6 дБ и приемник с порогом решения по средней мощности будут иметь штраф 0,5 дБ по C_I равным приблизительно -35 дБ (см. рисунок 6-9).
 - б) Случай В. При межканальных перекрестных помехах для расчета того, какое значение перекрестных помех приведет к максимальному штрафу, установленному на этапе 1, следует использовать уравнение 6-6. Например, полезный передатчик с контрастом сигнала 6 дБ будет иметь штраф 0,5 дБ по C_C , равным приблизительно -12 дБ (см. рисунок 6-10).

4 Используя уравнение 6-3 и значения физических характеристик двух систем FSO, рассчитать, обеспечит ли физическое местоположение, предложенное для этих двух систем, соблюдение максимальных уровней перекрестных помех, установленных на этапе 3, при любых условиях. Следует принимать во внимание информацию, приведенную в п. 6.2, для того чтобы убедиться в том, что используемые значения характеристик соответствуют наихудшему случаю в плане возможных погодных условий, при котором полезная система должна работать удовлетворительно.

С примерами использования этой процедуры в практической работе систем FSO можно ознакомиться в Дополнении I.

7 **Соображения в отношении оптической безопасности**

С информацией о соображениях оптической безопасности, касающихся систем FSO, можно ознакомиться в стандартах МЭК 60825-1, 60825-2 и 60825-12.

В МЭК 60825-12, *Безопасность оптических систем связи в свободном пространстве, используемых для передачи информации*, в частности, приводится подробная информация о классификации местоположений, в которых системы FSO могли бы функционировать, и предусматриваются требования в отношении оборудования, работающего в каждой из этих систем.

Дополнение I

Примеры расчетов перекрестных помех

I.1 **Пример 1**

Две системы FSO одинаковой конструкции должны быть установлены между одной и той же парой зданий, в результате чего в свободном пространстве образуются две параллельные линии. Характеристики отдельных систем следующие:

- расстояние между передатчиком и приемником 400 м;
- общие максимальная и минимальная мощности передачи составляют 8 мВт и 5 мВт;
- максимальное расхождение пучка передатчика при наихудших погодных условиях (d) 4 мрад;
- минимальный контраст сигнала передатчика 8,2 дБ;
- максимальный приемный угол приемника (a) 5 мрад;
- приемник имеет порог решения по средней мощности;
- точность установки передатчика и приемника 1 мрад;
- максимальный штраф по перекрестным помехам 0,5 дБ.

Каково минимальное разнесение двух систем? Эталонная диаграмма для этого примера показана на рисунке I.1.

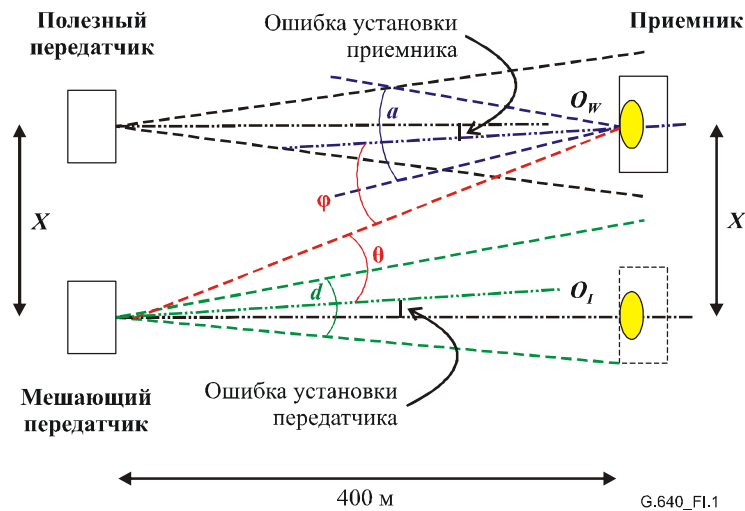


Рисунок I.1/G.640 –Пример 1 эталонной диаграммы перекрестных помех

В соответствии с процедурой в п. 6.5:

- 1 Максимальный оптический штраф по перекрестным помехам равен 0,5 дБ.
- 2 Поскольку обе системы имеют одинаковую конструкцию, длины волн могут быть одинаковыми, следовательно это случай А – интерферометрические перекрестные помехи.
- 3 Рассчитать коэффициент перекрестных помех для случая А.
 - а) Случай А. При интерферометрических перекрестных помехах с порогом решения по средней мощности использовать уравнение 6-4 для расчета того, чтобы $C_I = -33,3$ дБ создавали штраф 0,5 дБ с контрастом сигнала 8,2 дБ. В линейном выражении это означает $C_I = 0,000463$.
- 4 Поскольку в этом примере линии параллельны и ошибки установки передатчика и приемника одинаковы, углы θ и φ одинаковы для всех значений разнесения X . Поскольку обе линии имеют одинаковую длину, отношение O_I к O_W является таким же, что и соотношение максимальной и минимальной мощности передачи (поскольку мешающий передатчик может иметь максимальную мощность, а полезный передатчик – минимальную). Кроме того, поскольку длины волн одинаковые, $L = 1$. Таким образом, получаем уравнение 6-3:

$$0,000463 = \frac{8}{5} e^{\frac{-80^2}{4^2}} e^{\frac{-80^2}{5^2}}.$$

Это уравнение выполняется, когда θ (и, таким образом, φ) равен 3,06 мрад.

Из геометрических характеристик линий следует:

$$\tan\left(\frac{1+3,06}{1000}\right) = \frac{X}{200},$$

что выполняется при разнесении $X = 1,6$ м.

I.2 Пример 2

Этот пример похож на пример 1, за исключением того, характеристики пучка передатчика для наихудшего случая находятся внутри кривой на рисунке I.2, а значения детектированной приемником оптической мощности в зависимости от угла для наихудшего случая находятся под кривой на рисунке I.3.

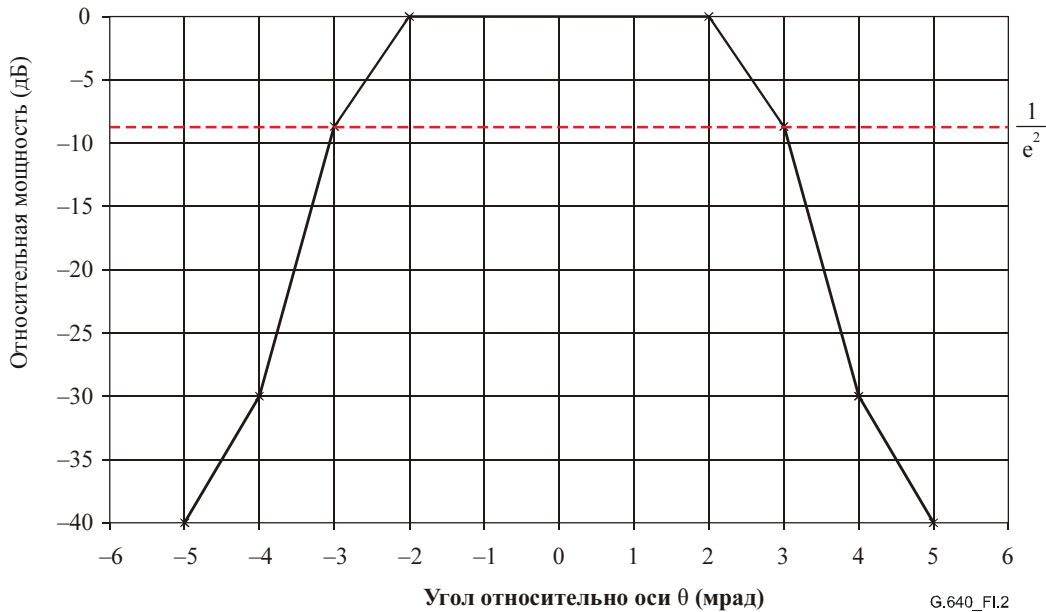


Рисунок I.2/G.640 – Кривая плотности мощности в зависимости от угла для наихудшего случая применительно к передатчикам

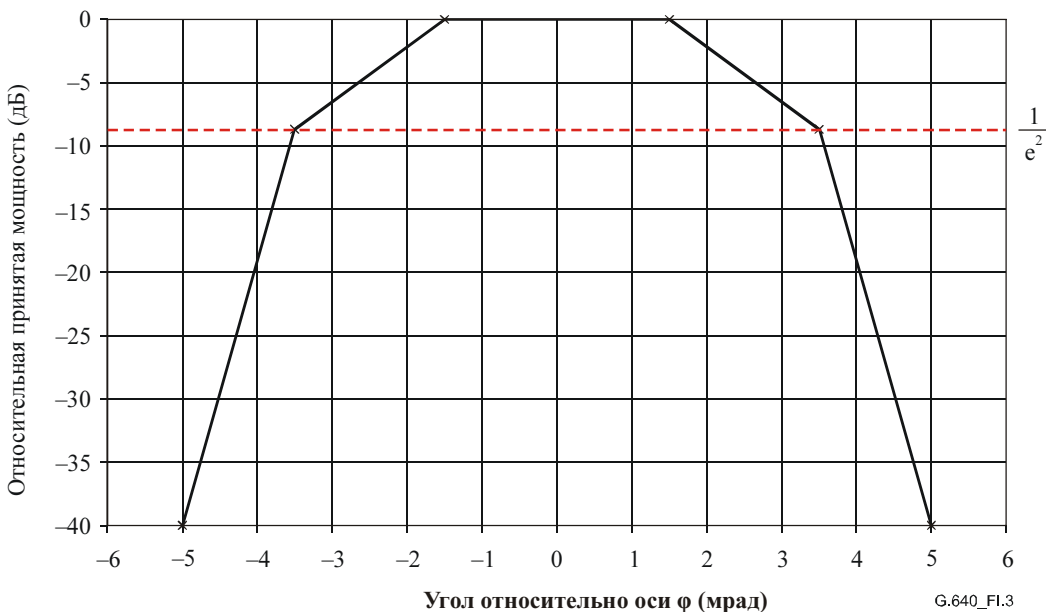


Рисунок I.3/G.640 – Кривая оптической мощности, детектированной приемником, в зависимости от угла для наихудшего случая

Процедура в рамках этого примера аналогична процедуре в рамках примера 1 вплоть до 4 этапа. Теперь уравнение 6-3 принимает вид:

$$0,000463 = \frac{8}{5} \text{ (значение на рисунке I.2} \times \text{значение на рисунке I.3)}$$

Это уравнение выполняется, когда θ (и, таким образом, ϕ) равен 3,82 мрад.

Из геометрических характеристик линий следует:

$$\tan\left(\frac{1+3,82}{1000}\right) = \frac{X}{200},$$

что выполняется при разнесении $X = 1,6$ м.

I.3 Пример 3

Две системы FSO одинаковой конструкции нужно установить в порядке, указанном на рисунке I.4.

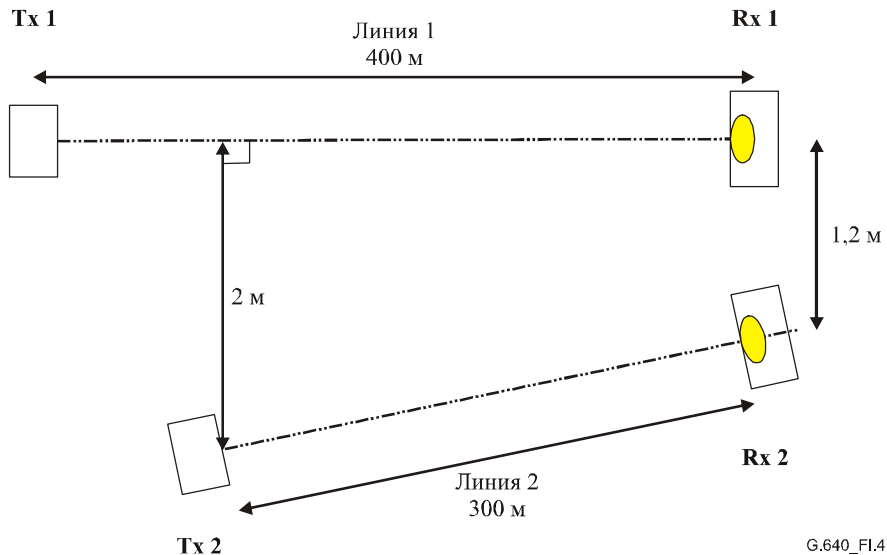


Рисунок I.4/G.640 – Конфигурация для примера 3

Характеристики обеих систем следующие:

- общие максимальная и минимальная мощности передачи составляют 8 мВт и 5 мВт;
- максимальное расхождение пучка передатчика при наихудших погодных условиях (d) 4 мрад;
- минимальный контраст сигнала передатчика 10 дБ;
- максимальный приемный угол приемника (a) 6 мрад;
- приемник имеет порог решения по средней мощности;
- точность установки передатчика и приемника 1 мрад;
- максимальный штраф по перекрестным помехам 0,5 дБ;
- линия 1: расстояние между передатчиком и приемником 400 м;
- распределение в бюджете линии 1 на атмосферное поглощение 25 дБ;
- линия 2: расстояние между передатчиком и приемником 300 м.

Будет ли штраф по перекрестным помехам приемлемым для обеих систем?

Эталонная диаграмма для линии 1 как полезной системы показана на рисунке I.5.

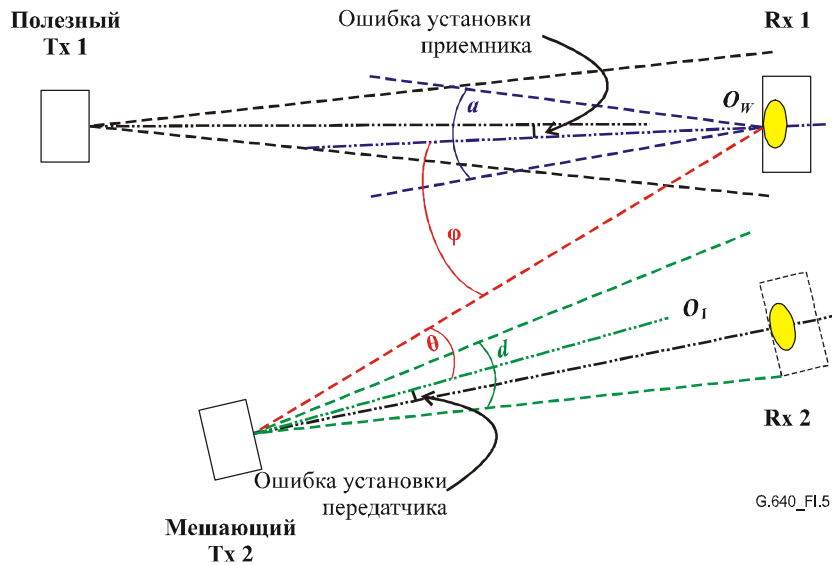


Рисунок I.5/G.640 – Пример 3 эталонной диаграммы перекрестных помех для линии 1

В соответствии с процедурой в п. 6.5 в отношении Tx 1 как полезного передатчика и Tx 2 как источника помех:

- 1 Максимальный оптический штраф по перекрестным помехам равен 0,5 дБ.
- 2 Поскольку обе системы имеют одинаковую конструкцию, длины волн могут быть одинаковыми, следовательно это случай А – интерферометрические перекрестные помехи.
- 3 Рассчитать коэффициент перекрестных помех для случая А.
 - а) Случай А. При интерферометрических перекрестных помехах с порогом решения по средней мощности использовать уравнение 6-4 для расчета того, чтобы $C_I = -32,6$ дБ создавали штраф 0,5 дБ с контрастом сигнала 10 дБ. В линейном выражении это означает $C_I = 0,000545$.
- 4 Из геометрических характеристик, определенных на рисунке I.4, следует, что угол $\varphi \approx 1000 \times \arctan(2/300) - 1$ мрад равен 5,67 мрад, а угол $\theta \approx 1000 \times \arctan(1,2/300) - 1$ мрад равен 3,0 мрад. Поскольку линия 2 короче линии 1, отношение O_I к O_W зависит от квадрата протяженности линий, погодных условий и соотношения максимальной и минимальной мощности передачи (поскольку мешающий передатчик может иметь максимальную мощность, а полезный передатчик – минимальную). Таким образом, получаем соотношение:

$$\frac{O_I}{O_W} = \frac{8 \cdot 400^2}{5 \cdot 300^2} 10^{\frac{(25-25 \frac{300}{400})}{10}} = 12,$$

последний член которого учитывает атмосферное затухание линии 2 в условиях, когда затухание линии 1 составляет 25 дБ. Поскольку длины волн могут быть одинаковыми, $L = 1$. Таким образом, получаем уравнение 6-3:

$$C = 12 e^{\frac{-8 \times 3,0^2}{4^2}} e^{\frac{-8 \times 5,67^2}{6^2}} = 0,0000106 = -39,7 \text{ дБ}.$$

Поскольку уровень перекрестных помех находится ниже значения $-32,6$ дБ, составляющего максимум того, что может допустить приемник, предлагаемая геометрическая линий приемлема для линии 1.

Эталонная диаграмма линии 2 как полезной системы показана на рисунке I.6.

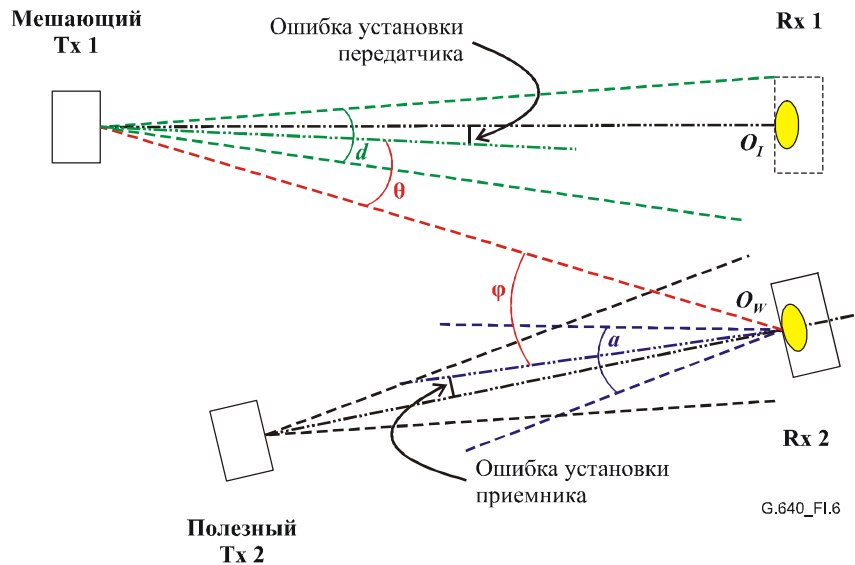


Рисунок I.6/G.640 – Пример 3 эталонной диаграммы перекрестных помех для линии 2

В соответствии с процедурой в п. 6.5 в отношении Tx 2 как полезного передатчика и Tx 1 как источника помех:

- 1 Максимальный оптический штраф по перекрестным помехам равен 0,5 дБ.
- 2 Поскольку обе системы имеют одинаковую конструкцию, длины волн могут быть одинаковыми, следовательно это случай А – интерферометрические перекрестные помехи.
- 3 Рассчитать коэффициент перекрестных помех для случая А.
 - а) Случай А. При интерферометрических перекрестных помехах с порогом решения по средней мощности использовать уравнение 6-4 для расчета того, чтобы $C_I = -32,6$ дБ создавали штраф 0,5 дБ с контрастом сигнала 10 дБ. В линейном выражении это означает $C_I = 0,000545$.
- 4 Из геометрических характеристик, определенных на рисунке I.4, следует, что угол $\varphi \approx 1000 \times (\arctan(0,8/300) + \arctan(1,2/400)) - 1$ мрад равен 4,67 мрад, а угол $\theta \approx 1000 \times \arctan(1,2/400) - 1$ мрад равен 2,0 мрад.

Поскольку линия 2 короче линии 1, отношение P_I к P_W зависит от квадрата протяженности линий, погодных условий и соотношения максимальной и минимальной мощности передачи (поскольку мешающий передатчик может иметь максимальную мощность, а полезный передатчик – минимальную). Перекрестные помехи будут иметь наихудшие характеристики в условиях ясной погоды, отсюда получаем отношение для наихудшего случая:

$$\frac{P_I}{P_W} = \frac{8\ 300^2}{5\ 400^2} = 0,9.$$

Поскольку длины волн могут быть одинаковыми, $L = 1$. Таким образом, уравнение 6-3 принимает вид:

$$C = 0,9 e^{\frac{-8 \times 2,0^2}{4^2}} e^{\frac{-8 \times 4,67^2}{6^2}} = 0,000964 = -30,2 \text{ дБ}.$$

Поскольку уровень перекрестных помех находится выше значения $-32,6$ дБ, составляющего максимум того, что может допустить приемник, предлагаемая геометрическая линий должна быть изменена во избежание превышения в линии 1 максимального значения штрафа по перекрестным помехам. Этого можно достичь путем увеличения разнесения приемников по меньшей мере на 1,4 м.

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	Управление электросвязью, включая СУЭ и техническое обслуживание сетей
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
Серия Q	Коммутация и сигнализация
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевых протоколов и сети последующих поколений
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи