

# МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R F.1764-1**  
(05/2011)

**Методика оценки помех, создаваемых  
пользовательскими линиями в системах  
фиксированной службы, использующих  
станции на высотных платформах,  
системам фиксированной беспроводной  
связи, действующим в диапазонах  
частот выше 3 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 1 МСЭ-R. 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)
<b>F</b>	<b>Фиксированная служба</b>
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 1 МСЭ-R.

Электронная публикация  
Женева, 2011 г.

© ITU 2011

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.1764-1

**Методика оценки помех, создаваемых пользовательскими линиями в системах фиксированной службы, использующих станции на высотных платформах, системам фиксированной беспроводной связи\*, действующим в диапазонах частот выше 3 ГГц**

(2006-2011)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации представлена методика оценки помех, которую можно было бы использовать при исследованиях совместного использования частот пользовательскими линиями в системах фиксированной службы (ФС), использующих станции на высотных платформах (HAPS), и обычными системами фиксированной беспроводной связи, действующими в диапазонах частот выше 3 ГГц. Рассматриваются ситуации создания помех воздушными судами и наземными станциями HAPS станциям фиксированной беспроводной связи. В настоящей Рекомендации линии станций сопряжения HAPS не рассматриваются.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что для предоставления высокоскоростных услуг была разработана новая технология, использующая станции на высотной платформе (HAPS) в стратосфере;
- b) что некоторые администрации намерены эксплуатировать системы, использующие HAPS, в полосах частот, распределенных на исключительной основе в таблице распределения радиочастот или в примечаниях для наземных служб радиосвязи, таких как фиксированные службы;
- c) что информация об архитектуре, в том числе пользовательских линий и линий станций сопряжения, систем, использующих станции на высотных платформах в полосе 5850–7075 МГц, содержится в Рекомендации МСЭ-R F.1891;
- d) что пользовательские линии HAPS могут работать в полосах 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц;
- e) что в некоторых странах пользовательские линии HAPS могут работать в полосах 27,9–28,2 ГГц и 31,0–31,3 ГГц на условии непричинения помех и отсутствия защиты,

*рекомендует,*

1 чтобы методику, приведенную в Приложении 1, можно было использовать для оценки помех, создаваемых пользовательскими линиями в системах фиксированной службы, использующих станции на высотных платформах, системам фиксированной беспроводной связи, действующим в диапазонах частот выше 3 ГГц.

---

\* Термин "система фиксированной беспроводной связи", используемый в настоящей Рекомендации, означает системы фиксированной беспроводной связи пункта с пунктом. Поэтому также используется термин "станция фиксированной беспроводной связи".

## Приложение 1

### Методика оценки помех, создаваемых пользовательскими линиями в системах фиксированной службы, использующих станции на высотных платформах, системам фиксированной беспроводной связи, действующим в диапазонах частот выше 3 ГГц

#### 1 Введение

В настоящем Приложении представлена методика оценки помех для применения при исследованиях совместного использования частот пользовательскими линиями в системах фиксированной службы, использующих HAPS, и системами фиксированной беспроводной связи в диапазонах частот выше 3 ГГц. Рассмотрены ситуации создания помех воздушными судами HAPS станциям фиксированной беспроводной связи.

Также приведен пример оценки помех на частоте 6 ГГц<sup>1</sup>. Данная частота рассматривается только в качестве примера при оценке помех.

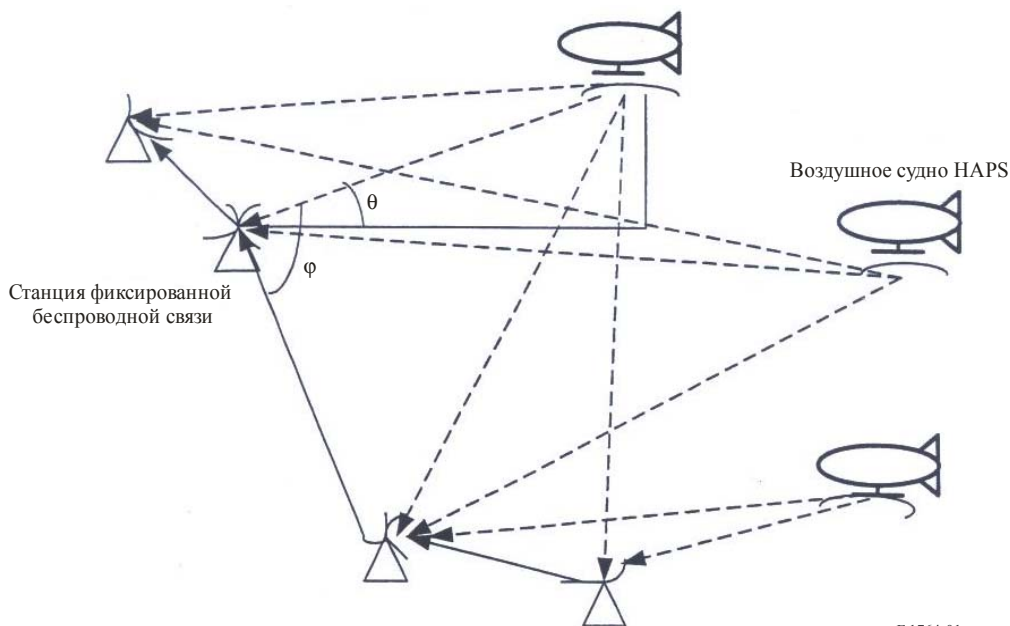
#### 2 Методика расчета помех, создаваемых системами фиксированной службы, использующими HAPS, системам фиксированной беспроводной связи

##### 2.1 Помехи, создаваемые воздушными судами HAPS, станциям фиксированной беспроводной связи

На рисунке 1 показана ситуация создания помех воздушными судами HAPS станциям фиксированной беспроводной связи.

РИСУНОК 1

Среда помех, создаваемых воздушными судами HAPS станциям фиксированной беспроводной связи



F.1764-01

<sup>1</sup> Признается, что частота 6 ГГц не входит в полосу частот, распределенную исключительно наземной радиосвязи. Данная частота была выбрана для данного анализа, чтобы облегчить разработку методики ввиду преобладания доступной технической информации по наземным системам.

В настоящее время в большинстве систем ФС используется цифровая модуляция. В случае цифровых систем ФС для связи пункта с пунктом (П-П) и пункта со многими пунктами (П-МП) целесообразно оценивать помехи с точки зрения частичного ухудшения значений качественных показателей на трассе,  $FDP_{route}$ , как определено в Рекомендации МСЭ-R F.1107, допуская, что уровень помех не зависит от времени.

Для цифровых систем П-П фиксированной службы с  $n$  пролетами, действующих на частотах, где главным образом преобладают многолучевые замирания, и, учитывая, что качественные показатели многопролетных систем П-П ФС обычно определяются на основе оценки трассы следующим образом:

$$FDP_{route} = 100 \frac{\sum_{k=1}^n (I_k)}{n \times N_T} \% , \quad (1)$$

где:

$N_T$ : тепловой шум приемника;

$I_k$ : совокупный уровень помех, создаваемых воздушными судами HAPS, находящимися в зоне видимости,  $k$ -му приемнику.

**ПРИМЕЧАНИЕ 1.** – Данная модель отражает многопролетную систему станций фиксированной беспроводной связи для базовых исследований помех, отображающих период, в течение которого микроволновые системы обеспечивают междугородный трафик с высокой пропускной способностью. Однако с развитием городских, национальных и международных волоконно-оптических сетей такие системы быстро заменяются ретрансляционными системами, передающими самый разный трафик и обеспечивающими соединение с волоконной сетью. Таким образом, самые современные применения содержат в основном короткие линии. Поэтому любой анализ, основанный на сквозном ухудшении показателей качества при 50 пролетах, которое вызвано помехами, более не может применяться. Вместо этого необходимо обеспечивать защиту каждого пролета в отдельности.

Совокупный уровень помех, полученных цифровой станцией фиксированной беспроводной связи, может быть определен путем суммирования вкладов от всех видимых воздушных судов HAPS. Каждый такой вклад может быть определен следующим образом:

$$I_D = F(\theta) + G(\varphi) + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - L_{fr} , \quad (2)$$

где:

$F(\theta)$ : п.п.м. воздушного судна HAPS при угле прихода сигнала над горизонтальной плоскостью,  $\theta$  (дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)));

$G(\varphi)$ : усиление антенны станции фиксированной беспроводной связи в направлении воздушного судна HAPS,  $\varphi$  (дБи);

$\lambda$ : длина волны несущей (м);

$L_{fr}$ : потери в фидере станции фиксированной беспроводной связи (дБ).

## 2.2 Помехи, создаваемые наземными станциями HAPS станциям фиксированной беспроводной связи

На рисунке 2 показана помеховая ситуация, создаваемая наземными станциями HAPS станциям фиксированной беспроводной связи.

Мощность помех, создаваемых наземной станцией HAPS станции фиксированной беспроводной связи, определяется следующим уравнением (3):

$$I_G = P_{HG} - L_{fh} + G(\theta_{H-R}) - L_b(p) + G(\theta_{R-H}) - L_{fr} , \quad (3)$$

где:

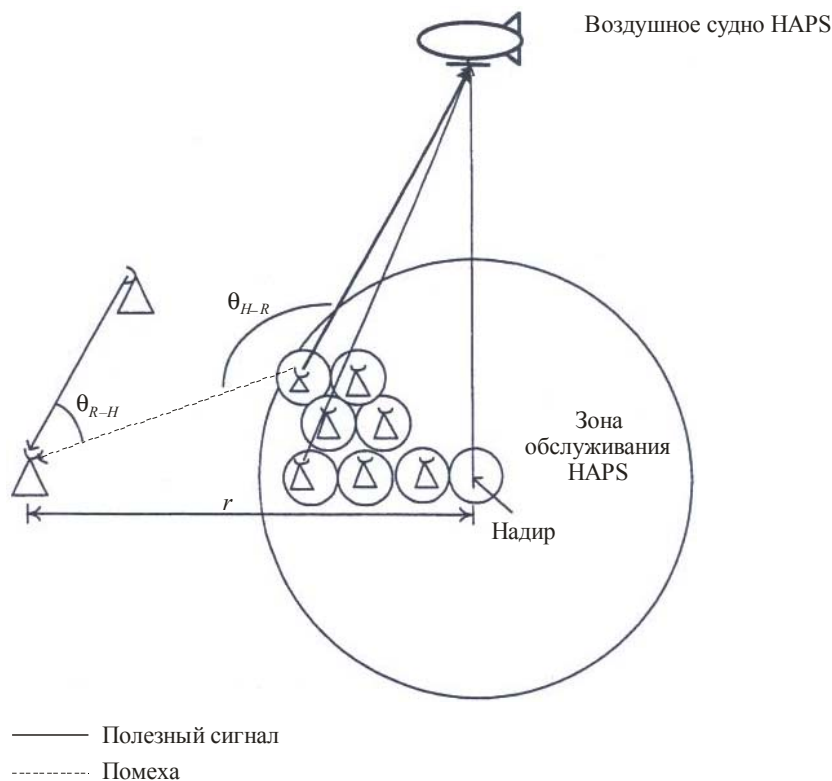
$P_{HG}$ : плотность мощности передачи наземной станции HAPS (дБ(Вт/МГц));

$L_{fh}$ : потери в фидере наземной станции HAPS (дБ);

- $G(\theta_{H-R})$ : усиление передающей антенны наземной станции HAPS под углом  $\theta_{H-R}$  между направлением основного луча антенны наземной станции HAPS и направлением на станцию фиксированной беспроводной связи, подвергаемую помехам (дБи);
- $L_b(p)$ : основные потери при передаче, не превышаемые для процента времени  $p$ (%), приведенного в Рекомендации МСЭ-R P.452;
- $G(\theta_{R-H})$ : усиление приемной антенны станции фиксированной беспроводной связи под углом  $\theta_{R-H}$  между направлением главного луча антенны станции фиксированной беспроводной связи и направлением на наземную станцию HAPS, создающую помехи (дБи);
- $L_{fr}$ : потери в фидере станции фиксированной беспроводной связи (дБ).

РИСУНОК 2

Среда помех, создаваемых наземными станциями HAPS станциям фиксированной беспроводной связи



F.1764-02

Мощность помех, создаваемых несколькими сигналами наземных станций HAPS станции фиксированной беспроводной связи, может быть получена с помощью уравнения (4), принимая во внимание механизм, показанный на рисунке 3.

В уравнении (4) предполагается, что для тракта распространения радиоволн в пределах видимости можно пренебречь поглощением в атмосфере на частотах ниже 10 ГГц. Используемая модель распространения радиоволн основана на Рекомендации МСЭ-R P.452 для процента времени  $p$ , равного 50%:

$$I_{G-T} = P_{HG} - L_{fb} - 92,5 - 20 \log f + 10 \log \left\{ \sum_i \sum_j \left( \sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2} \right)^{-2} 10^{\frac{G(\theta_{R-H})}{10}} 10^{\frac{G(\theta_{H-R})}{10}} \right\} - L_{fr}, \quad (4)$$

где:

$f$ : частота (ГГц);

$$x_{ij} = \begin{cases} r + id & (j = \text{четное}) \\ r + \frac{(2i-1)}{2}d & (j = \text{нечетное}) \end{cases} : \text{координата } x \text{ наземной станции HAPS};$$

$y_{ij} = jd \sin 60^\circ$ : координата  $y$  наземной станции HAPS;

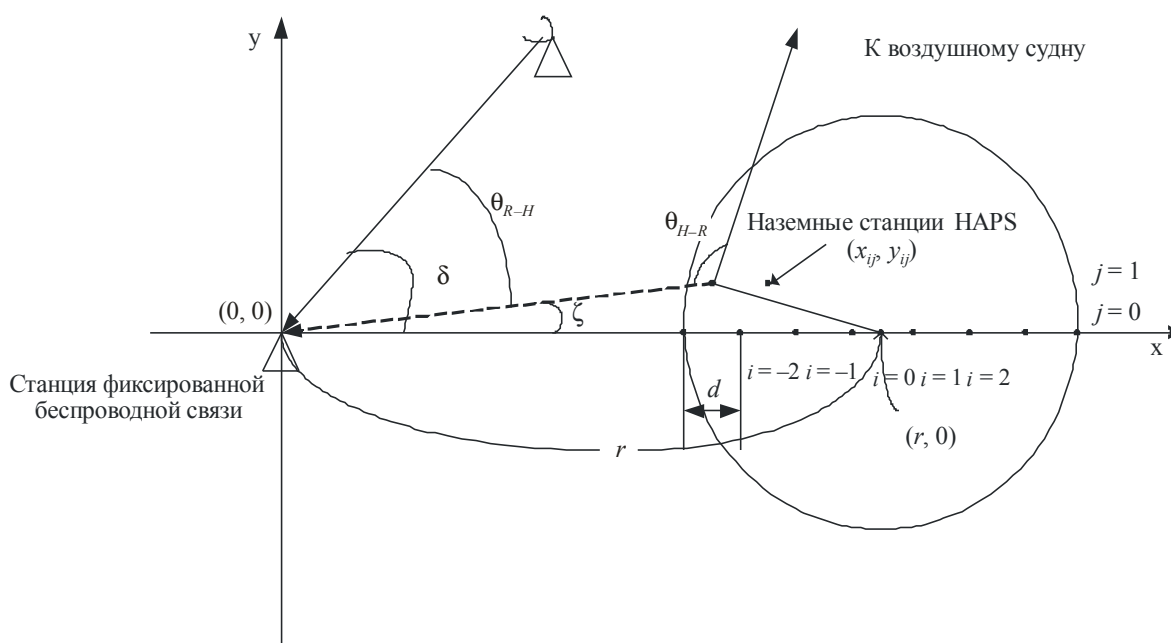
$r$ : расстояние между станцией фиксированной беспроводной связи и надиром воздушного судна HAPS;

$d$ : расстояние между наземными станциями HAPS;

$i, j$ : координаты местоположения соты по осям  $x$  и  $y$ , соответственно.

РИСУНОК 3

**Механизм расчета помех, создаваемых наземными станциями HAPS станции фиксированной беспроводной связи**



F.1764-03

После проведения оценки уровня помех станции фиксированной беспроводной связи можно оценить отношение  $I/N$  следующим образом:

$$I/N = I_{G-T} - \{ 10 \log(k T B) + NF \} \quad \text{дБ}, \quad (5)$$

где:

$k$ : постоянная Больцмана =  $1,38 \times 10^{-23}$  (Дж/К);

$T$ : температура (К);

$B$ : ширина полосы (Гц);

$NF$ : коэффициент шума станции фиксированной беспроводной связи (дБ).

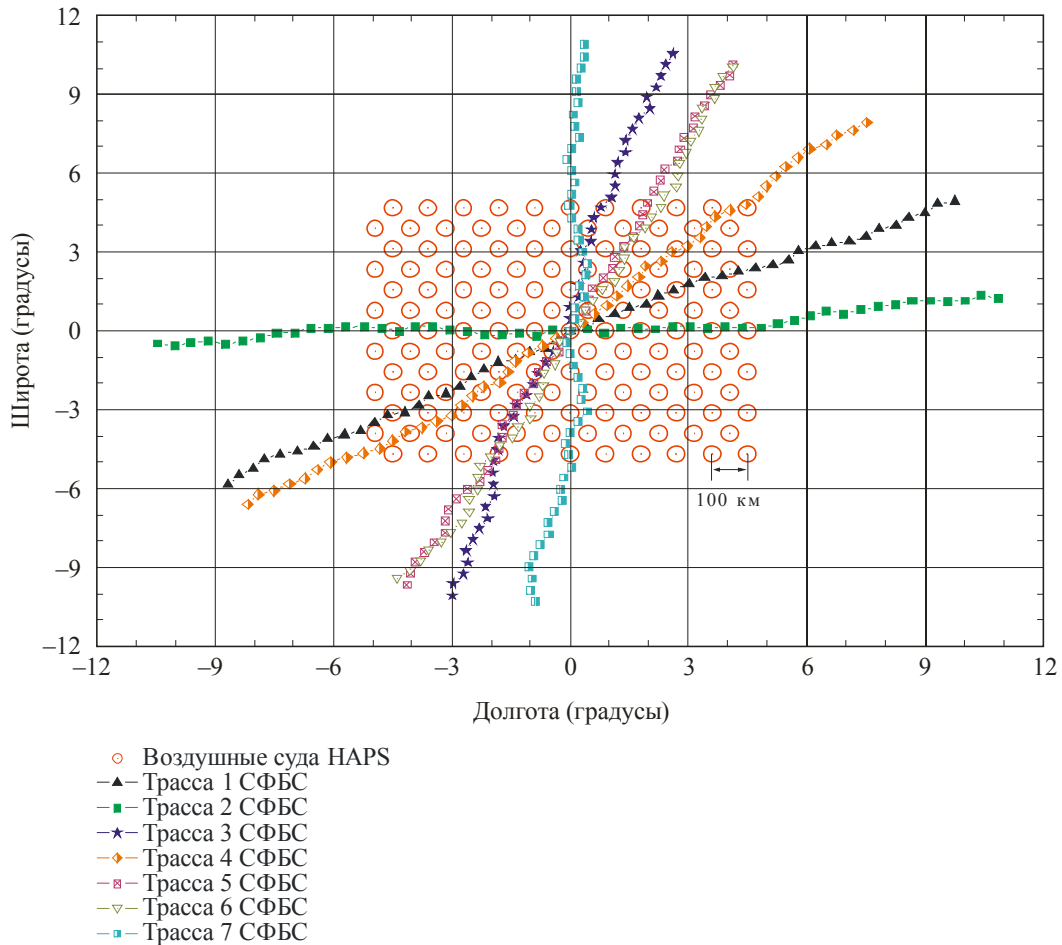
### 3 Пример оценки помех, создаваемых системами HAPS системам фиксированной беспроводной связи

#### 3.1 Помехи, создаваемые воздушными судами HAPS станциям фиксированной беспроводной связи

На рисунке 4 представлена предполагаемая модель распределения воздушных судов HAPS и станций фиксированной беспроводной связи для оценки помех.

РИСУНОК 4

Модель распределения станций фиксированной беспроводной связи и воздушных судов HAPS



1764-04

Воздушные суда HAPS, находящиеся в фиксированной точке на высоте 20 км, могут обеспечить на земле зону обслуживания диаметром 110 км (угол места: 20°), так что местоположение надира воздушного судна HAPS может быть равномерно распределено с интервалом 100 км, учитывая перекрытие между зонами обслуживания, как показано на рисунке 4. Предполагается, что воздушные суда HAPS равномерно распределены в зоне размером 1000 × 1000 км<sup>2</sup>.

Предполагается, что состоящие из 50 пролетов трассы систем фиксированной беспроводной связи, подверженные помехам, распределены так, что центры трасс совпадают с центром распределения воздушных судов.

В таблице 1 приведены системные параметры системы фиксированной беспроводной связи и воздушного судна HAPS, которые используются в расчетах. Частота 6 ГГц выбрана только для того, чтобы привести пример оценки уровня помех. В данном Приложении при оценке уровня помех все координаты учитывают кривизну Земли.



ТАБЛИЦА 1

**Общие параметры системы фиксированной беспроводной связи и воздушного судна HAPS**

Параметры		Значения
Частота		6 ГГц
Система фиксированной беспроводной связи	Количество пролетов на трассе	50
	Расстояние между пролетами	50 км
	Количество трасс	600
Воздушное судно HAPS	Количество воздушных судов	126
	Высота	20 км

В таблице 2 приведены системные параметры цифровой системы фиксированной беспроводной связи и воздушного судна HAPS, используемые при расчете. Системные параметры систем фиксированной беспроводной связи для совместного использования частот также основаны на Рекомендации МСЭ-R F.758.

Для диапазонов частот, где замирание контролируется многолучевым распространением радиоволн, в Рекомендации МСЭ-R F.758 указано, что в основном отношение уровня помех к уровню теплового шума приемника не должно превышать  $-10$  дБ (или  $-6$  дБ). Для цифровых систем ФС данные значения соответствуют FDP 10% (или 25%), соответственно. Однако, поскольку при таком использовании будут перекрываться уже существующие линии, которые скоординированы с другими системами, допуск в 10% может уже быть использован. С тем чтобы не увеличивать такую помеху, может потребоваться ограничить помеху значениями ниже 1–2%. Тем не менее, чтобы проиллюстрировать эту методику, на рисунках 5 и 6 представлены оцениваемые распределения помех, создаваемых воздушными судами HAPS цифровым станциям фиксированной беспроводной связи при различных значениях переменных  $n.p.m._{low}$  и  $n.p.m._{high}$  при предположении, что требуемый уровень защиты составляет 10%.

ТАБЛИЦА 2

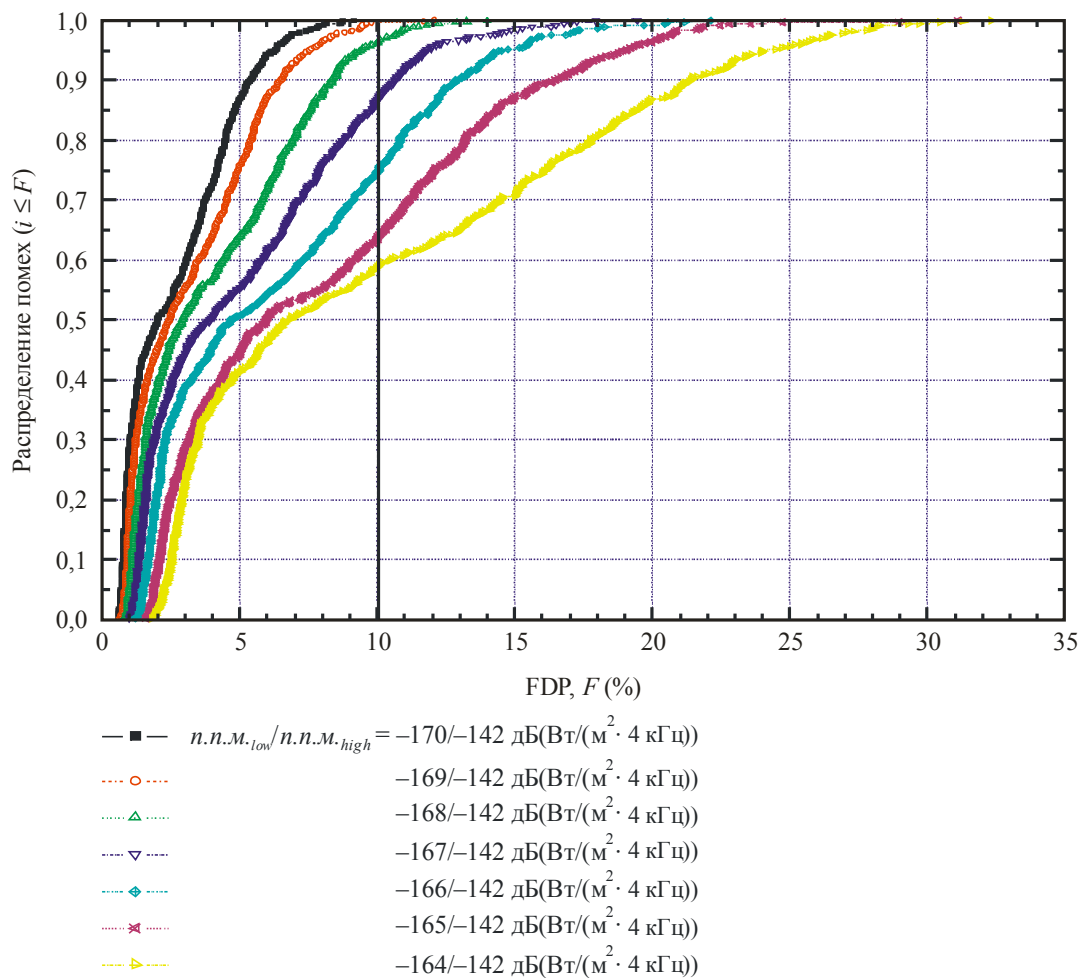
**Системные параметры цифровой системы фиксированной беспроводной связи и воздушного судна HAPS**

Параметры		Требования
Система фиксированной беспроводной связи	Диаграмма направленности антенны	Рекомендация МСЭ-R F.1245
	Максимальное усиление антенны	45 дБи
	Потери в фидере	5,5 дБ
	Коэффициент шума приемника	4 дБ
	Угол места станции фиксированной беспроводной связи	Гауссово распределение
Воздушное судно HAPS	$n.p.m._{low}$	$-146 \approx -140$ (дБ(Вт/(м <sup>2</sup> · МГц)))
	$n.p.m._{high}$	$-127 \approx -118$ (дБ(Вт/(м <sup>2</sup> · МГц)))

Из рисунка 5 видно, что при предполагаемом уровне п.п.м. воздушного судна HAPS, равном  $-140/-118$  (дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц))) значение FDP станций фиксированной беспроводной связи составит менее 10% для, примерно, 58% трасс. При уменьшении значения  $n.p.m._{low}$  также снижается и получаемый уровень помех. Например, при уменьшении значения  $n.p.m._{low}$  на 6 дБ, т. е. при значении  $n.p.m._{low}$  равном  $-146$  (дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц))), значение FDP станций фиксированной беспроводной связи для 100% трасс будет меньше допустимого критерия помех, равного 10%.

РИСУНОК 5

Распределение FDP при различных значениях  $n.p.m._{low}$ , создаваемых воздушными судами HAPS



F.1764-05

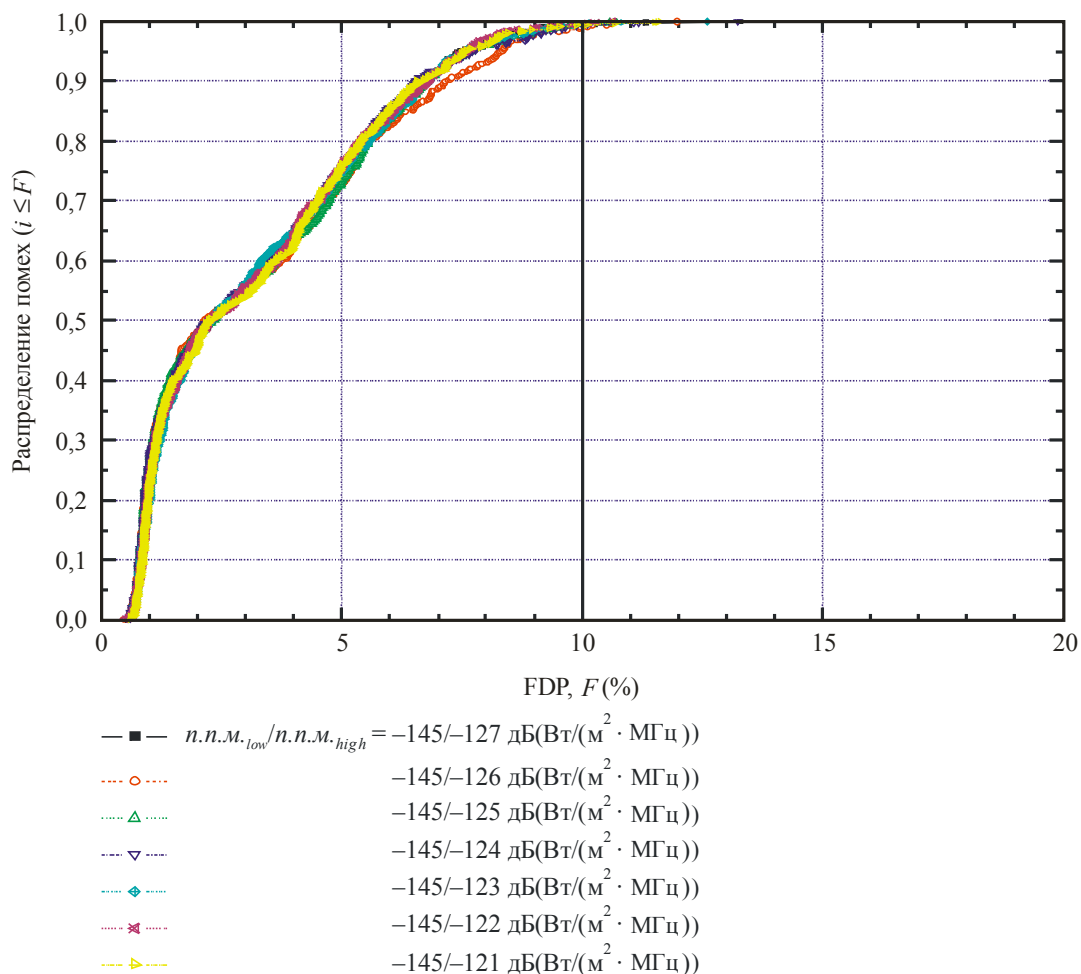
На рисунке 6 представлено распределение помех при различных значениях  $n.p.m._{high}$ , когда значение  $n.p.m._{low}$  равно  $-145$  (дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц))). Даже если значение  $n.p.m._{high}$  уменьшается на 6 дБ относительно значения  $-121$  (дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц))), максимальная разница при распределении помех менее 10% составляет только около 5%.

### 3.2 Помехи, создаваемые наземными станциями HAPS станции фиксированной беспроводной связи

В таблице 3 приведены системные параметры системы фиксированной беспроводной связи и системы HAPS, используемые при расчете.

РИСУНОК 6

Распределение FDP при различных значениях  $n.n.m._{high}$ , создаваемых воздушными судами HAPS



F.1764-06

ТАБЛИЦА 3

Системные параметры системы фиксированной беспроводной связи и системы HAPS

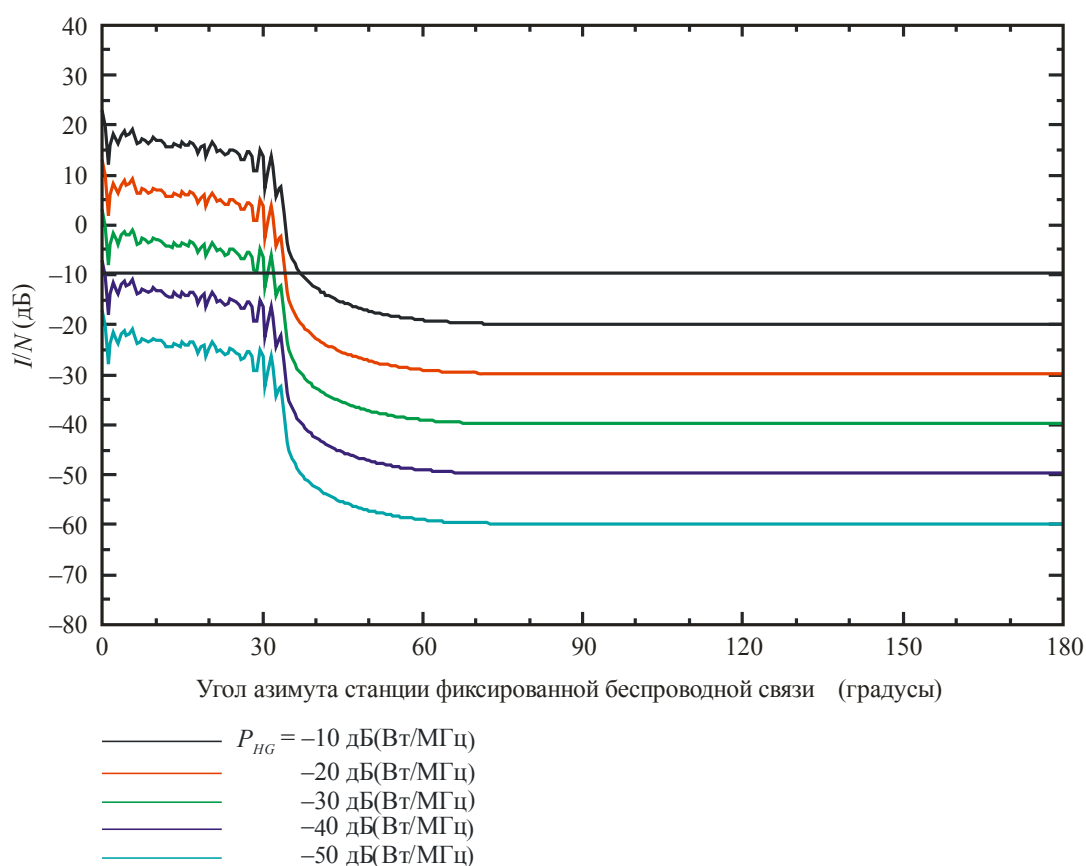
Параметры		Значения
Частота		6 ГГц
Система фиксированной беспроводной связи	Диаграмма направленности антенны	Рекомендация МСЭ-R F.1245
	Максимальное усиление антенны	45 дБи
	Коэффициент шума	4 дБ
	Потери в фидере	5,5 дБ
Система HAPS	Диаметр зоны обслуживания	110 км
	Высота нахождения воздушного судна	20 км
	Диаграмма направленности антенны земной станции	Рекомендация МСЭ-R F.1245
	Максимальное усиление антенны наземной станции	45 дБи
	Количество наземных станций	367 (равномерное распределение)
	Расстояние между наземными станциями	5,5 км

Предполагая, что  $T$  равно 293 К,  $B$  равно 1 МГц, а  $NF$  – 6 дБ, имеем мощность шума  $N$  равную  $-137,93$  (дБ(Вт/МГц)). Если предположить в качестве критерия показатель  $I/N = 10\%$ , то допустимая мощность помех,  $I_{G-T}$ , не должна превышать значения  $-147,93$  (дБ(Вт/МГц)).

Поскольку значение  $I_{G-T}$  зависит от мощности передачи наземной станции HAPS, угла между трактами сигналов и расстояния между станцией фиксированной подвижной связи и надиром HAPS, то значение  $I/N$  при данных параметрах можно вычислить с помощью уравнения (5).

На рисунке 7 показаны значения  $I/N$  при мощности передачи  $P_{HG}$  для каждого угла азимута,  $\delta$ , при расстоянии  $r$ , равном 100 км. Из этого рисунка можно сделать вывод, что мощность помех непосредственно зависит от мощности передачи наземной станции HAPS, и при уровне  $P_{HG}$  равном  $-50$  (дБ(Вт/МГц)) значение  $I/N$  не превышает  $-10$  дБ для всех углов азимута.

РИСУНОК 7

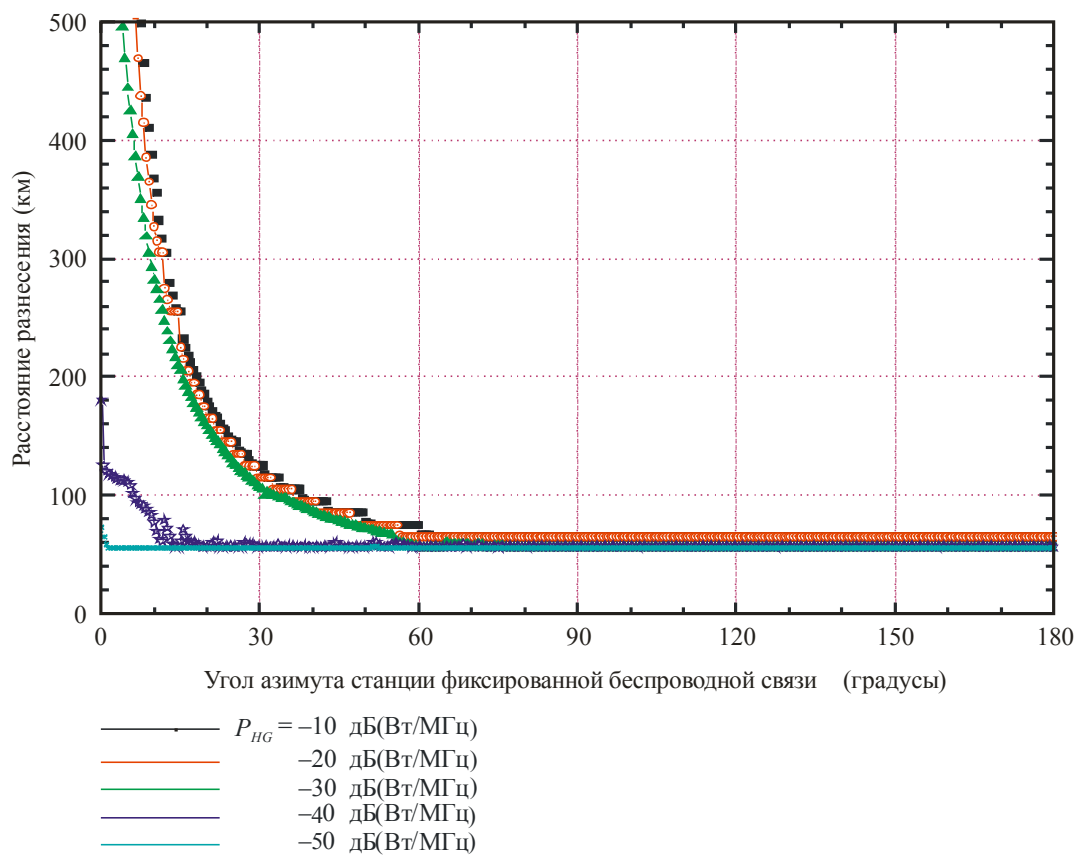
Значения  $I/N$  при различной мощности передачи,  $P_{HG}$ 

F.1764-07

На рисунках 8 и 9 показано расстояние разнесения между станцией фиксированной беспроводной связи и надиром воздушного судна HAPS. Максимальное расстояние разнесения требуется при угле азимута  $\delta$ , равном  $0^\circ$ . При радиусе зоны покрытия HAPS, равном 55 км, и мощности передачи каждой наземной станции HAPS,  $P_{HG}$ , равной  $-50$  (дБ(Вт/МГц)), расстояние разнесения, требуемое для совместного использования частот станциями фиксированной беспроводной связи и наземными станциями HAPS, составляет от 56 до 73 км.

РИСУНОК 8

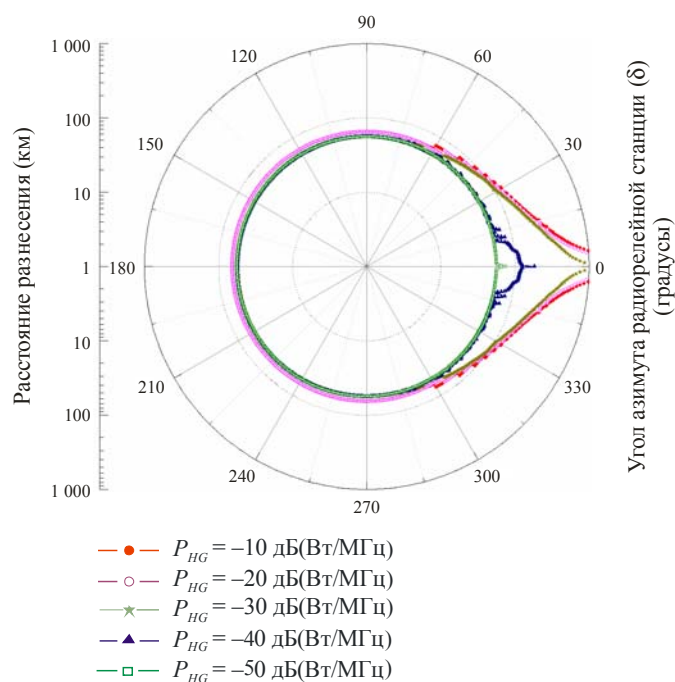
Расстояние разнесения между станцией фиксированной беспроводной связи и надиром воздушного судна HAPS при различной мощности передачи наземных станций HAPS



F.1764-08

РИСУНОК 9

Расстояние разнесения между станцией фиксированной беспроводной связи и надиром воздушного судна HAPS (полярная диаграмма)



F.1764-09

#### 4 Выводы

В данном Приложении приведен метод оценки помех, создаваемых пользовательскими линиями систем HAPS системам фиксированной беспроводной связи, и пример оценки помех на частоте 6 ГГц. Данная частота выбрана только для демонстрации примера оценки помех.

Помехи, создаваемые воздушными судами HAPS станциям фиксированной беспроводной связи, оцениваются при различных уровнях п.п.м. воздушного судна HAPS на поверхности Земли. В этой модели используется сквозное частичное ухудшение показателей качества на уровне 10%, рассчитанное по 50 пролетам. Однако, поскольку каждый пролет необходимо защищать по отдельности, критерий защиты должен быть основан на защите  $I/N$  каждого испытывающего помехи приемника. Кроме того, необходимо принять соответствующий критерий, с учетом того что служба HAPS будет перекрываться в уже перегруженном диапазоне.

Помехи, создаваемые наземными станциями HAPS станциям фиксированной беспроводной связи, следует оценивать с точки зрения показателя  $I/N$ , и вычислять расстояние разнесения, требуемое для совместного использования частот, в зависимости от угла азимута.

---