

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R F.1764

Методика оценки помех, создаваемых системами фиксированной службы, использующими станции на высотных платформах, фиксированным беспроводным системам*, действующим в диапазонах частот выше 3 ГГц

(Вопрос МСЭ-R 212-2/9)

(2006)

Сфера применения

В данной Рекомендации представлена методика оценки помех, которая может быть использована при исследованиях совместной работы систем фиксированной службы (ФС), использующих станции на высотных платформах (HAPS), и обычных систем фиксированного беспроводного доступа, действующих в диапазонах частот выше 3 ГГц; методика разработана в соответствии с Резолюцией 734 (Пересм. ВКР-03), в которой предложено провести соответствующее техническое исследование. Рассматриваются ситуации создания помех воздушными судами и наземными станциями HAPS радиорелейным станциям.

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 в таблице распределения радиочастот непосредственно или в примечаниях для наземных служб радиосвязи, таких как фиксированные службы,

признавая,

- a) что ВКР-97 определила положения для работы HAPS в составе фиксированной службы (ФС) в полосах частот 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц (см. Резолюцию 122 (Пересм. ВКР-03));
- b) что на ВКР-2000 некоторые страны Региона 3 и одна страна Региона 1 указали на необходимость использования для HAPS более низких частот в связи с тем, что диапазон частот 47 ГГц более чувствителен к затуханию в дождях, и были приняты пп. 5.537А и 5.543А Регламента радиосвязи (РР);
- c) что ВКР-03 внесла изменения в РР пп. 5.537А и 5.543А, добавив несколько стран, а также приняла Резолюцию 145 (ВКР-03), в которой разрешила использование станций HAPS в фиксированной службе в пределах спектра шириной 300 МГц в полосе частот 27,5–28,35 ГГц и полосе частот 31–31,3 ГГц в странах Региона 2 при условии, чтобы такое использование не создавало вредные помехи другим станциям служб, работающим в соответствии с таблицей распределения частот, содержащейся в Статье 5 РР, и не требовало защиты от них;
- d) что в Резолюции 734 (Пересм. ВКР-03) МСЭ-R предложено провести регламентарные и технические исследования с целью определения возможности содействия реализации HAPS и администрациям рекомендовано принять активное участие в исследованиях совместного использования частот в диапазонах выше 3 ГГц, распределенных исключительно наземной радиосвязи,

* Термин "фиксированная беспроводная система", используемая в данной Рекомендации, означает радиорелейные системы связи пункта с пунктом. Поэтому также используется термин "радиорелейная станция".

рекомендует,

1 чтобы методика, приведенная в Приложении 1, могла быть использована для оценки помех, создаваемых системами HAPS фиксированным беспроводным системам, действующим в диапазонах частот выше 3 ГГц, как ответ на техническое исследование, указанное в п. d) раздела *признавая*.

Приложение 1

Методика оценки помех, создаваемых системами ФС, использующими HAPS, фиксированным беспроводным системам в диапазонах частот выше 3 ГГц

1 Введение

В данном Приложении представлена методика оценки помех для применения при исследованиях совместного использования частот системами ФС, использующими HAPS, и фиксированными беспроводными системами в диапазонах частот выше 3 ГГц. Рассмотрены ситуации создания помех воздушными судами и наземными станциями HAPS станциям радиорелейной связи.

Также приведен пример оценки помех на частоте 6 ГГц¹. Данная частота рассматривается только в качестве примера при оценке помех.

2 Методика расчета помех, создаваемых системами ФС, использующими HAPS, фиксированным беспроводным системам

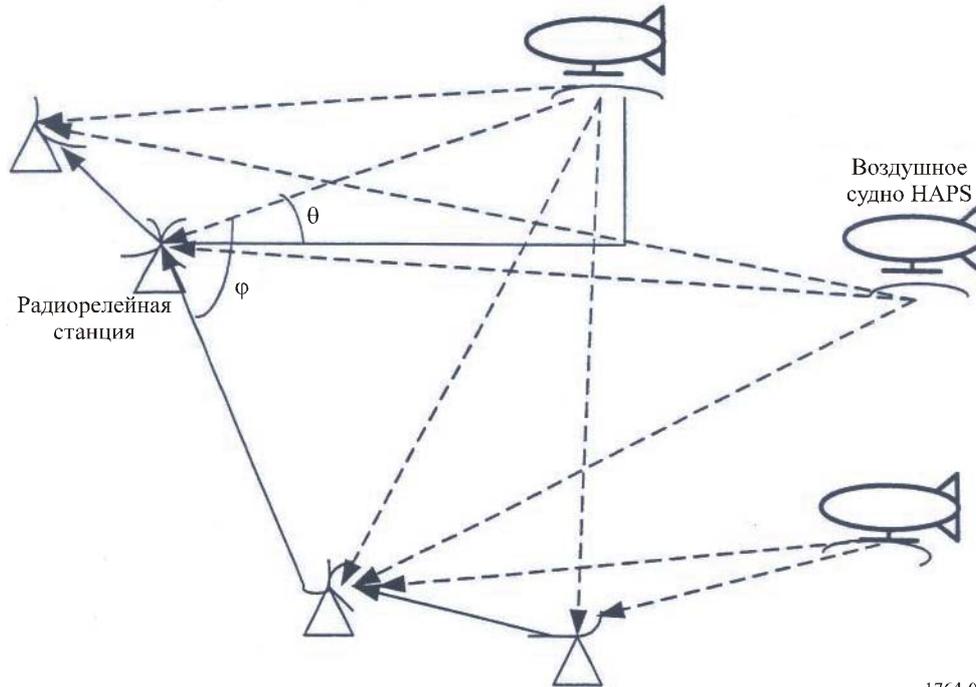
2.1 Помехи радиорелейным станциям, создаваемые воздушными судами HAPS

На рисунке 1 представлена ситуация создания помех воздушными судами HAPS радиорелейным станциям.

¹ Учитывается, что частота 6 ГГц не входит в полосу частот, распределенную исключительно наземной радиосвязи. Данная частота была выбрана для облегчения разработки данной методики ввиду преобладания доступной технической информации по наземным системам.

РИСУНОК 1

Помеховая обстановка, создаваемая воздушными судами HAPS радиорелейным станциям



1764-01

2.1.1 Для аналоговых радиорелейных станций

Помехи, создаваемые воздушным судном HAPS аналоговой радиорелейной станции в основной полосе частот, могут быть вычислены согласно выражению 1:

$$I_A = F(\theta) + G(\varphi) + N_{br} + 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - L_{fr}, \quad (1)$$

где:

$F(\theta)$: плотность потока мощности (п.п.м.), создаваемая воздушным судном HAPS в соответствии с углом прихода сигнала над горизонтальной плоскостью, θ (дБ(Вт/(м² · 4 кГц)));

$G(\varphi)$: усиление антенны радиорелейной станции в направлении воздушного судна HAPS, φ (дБи);

N_{br} : отношение теплового шума в основной полосе частот к тепловому шуму приемника (дБ(пВт0п · 4 кГц));

λ : длина волны сигнала несущей частоты (м);

L_{fr} : потери в фидере радиорелейной станции (дБ).

Обычно уровень п.п.м. на поверхности Земли, $F(\theta)$, может быть определен в следующем виде:

$$F(\theta) = \begin{cases} n.p.m._{low} & \text{для } 0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ \\ n.p.m._{low} + 0,05(n.p.m._{high} - n.p.m._{low})(\theta - 5) & \text{для } 5^\circ \leq \theta \leq 25^\circ \\ n.p.m._{high} & \text{для } 25^\circ \leq \theta \leq 90^\circ, \end{cases} \quad (2)$$

где:

$n.p.m._{low}$: допустимый уровень для малого угла прихода сигнала (дБ(Вт/(м² · 4 кГц)));

$n.p.m._{high}$: допустимый уровень для большого угла прихода сигнала (дБ(Вт/(м² · 4 кГц))).

Поэтому уровень помех в основной полосе частот аналоговой радиорелейной станции, создаваемый несколькими сигналами от воздушных судов, находящихся в зоне видимости, можно вычислить согласно выражению 3:

$$I_{A-T} = 10 \log \left\{ \sum_i \left(10^{\frac{F(\theta_i)}{10}} 10^{\frac{G(\varphi_i)}{10}} \right) \right\} + N_{br} + 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - L_{fr}, \quad (3)$$

где i – вклад i -го воздушного судна HAPS, находящегося в зоне видимости радиорелейной станции.

2.1.2 Для цифровых радиорелейных станций

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

Для цифровых систем П-П ФС 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, имеем, таким образом:

$$FDP_{route} = 100 \frac{\sum_{k=1}^n (I_k)}{n \times N_T} \quad \%, \quad (4)$$

где:

N_T : тепловой шум приемника;

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

Совокупный уровень помех, полученных цифровой радиорелейной станцией, может быть определен путем суммирования вкладов от каждого видимого воздушного судна HAPS. Каждый такой вклад может быть определен следующим образом:

$$I_D = F(\theta) + G(\varphi) + 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - L_{fr}, \quad (5)$$

где:

$F(\theta)$: п.п.м. воздушного судна HAPS при угле прихода сигнала над горизонтальной плоскостью, θ (дБ(Вт/(м² · 4 кГц)));

$G(\varphi)$: усиление антенны радиорелейной станции в направлении на воздушное судно HAPS, φ (дБи);

λ : длина волны сигнала несущей частоты (м);

L_{fr} : потери в фидере радиорелейной станции (дБ).

2.2 Помехи радиорелейным станциям, создаваемые земными станциями HAPS

На рисунке 2 показана помеховая ситуация, создаваемая земными станциями HAPS для радиорелейных станций.

Мощность помех, создаваемых земной станцией HAPS радиорелейной станции, определяется следующим выражением 6:

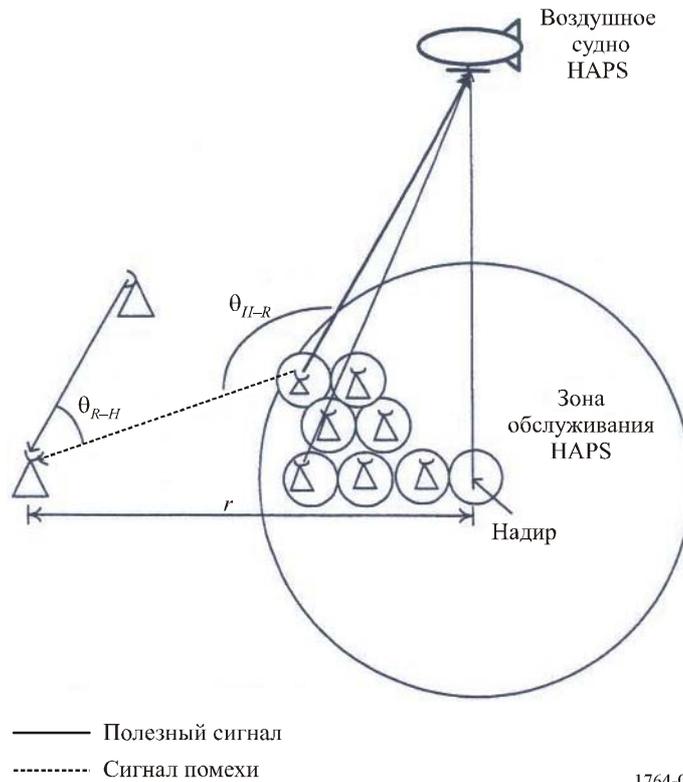
$$I_G = P_{HG} - L_{fh} + G(\theta_{H-R}) - L_b(p) + G(\theta_{R-H}) - L_{fr}, \quad (6)$$

где:

- P_{HG} : плотность мощности передачи земной станции HAPS (дБ(Вт/МГц));
- L_{fh} : потери в фидере земной станции HAPS (дБ);
- $G(\theta_{H-R})$: усиление передающей антенны земной станции HAPS под углом θ_{H-R} между направлением основного луча антенны земной станции HAPS и направлением на радиорелейную станцию, 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 радиорелейной станции под углом θ_{R-H} между направлением главного луча антенны радиорелейной станции и направлением на земную станцию HAPS, создающую помехи (дБи);
- L_{fr} : потери в фидере радиорелейной станции (дБ).

РИСУНОК 2

Помеховая обстановка, создаваемая земными станциями HAPS радиорелейным станциям



Мощность помех, создаваемых несколькими сигналами от земных станций HAPS радиорелейной станции, может быть получена посредством следующего выражения 7, принимая во внимание механизм, показанный на рисунке 3.

В выражении 7 предполагается, что для тракта распространения радиоволн в пределах видимости можно пренебречь атмосферным поглощением на частотах ниже 10 ГГц. Используемая модель распространения радиоволн основана на Рекомендации МСЭ-R P.452 для процента времени p , равного 50%:

$$I_{G-T} = P_{HG} - L_{fh} - 92,5 - 20 \log f + 10 \log \left\{ \sum_i \sum_j \left(\sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2} \right)^{-2} 10^{\frac{G(\theta_{R-H})}{10}} 10^{\frac{G(\theta_{H-R})}{10}} \right\} - L_{fr}, \quad (7)$$

где:

f : частота (ГГц);

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

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

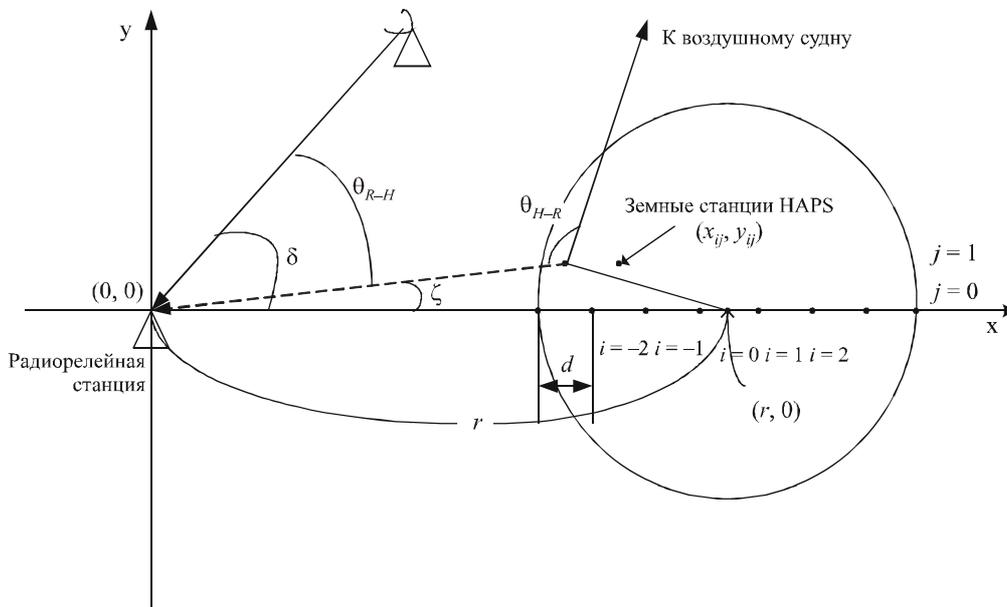
r : расстояние между радиорелейной станцией и надиром воздушного судна HAPS;

d : расстояние между земными станциями HAPS;

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

РИСУНОК 3

Механизм расчета помех, создаваемых земными станциями HAPS радиорелейной станции



1764-03

После проведения оценки уровня помех радиорелейной станции можно оценить отношение I/N следующим образом:

$$I/N = I_{G-T} - \{ 10 \log(k T B) + NF \} \quad \text{дБ,} \quad (8)$$

где:

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

T : температура (К);

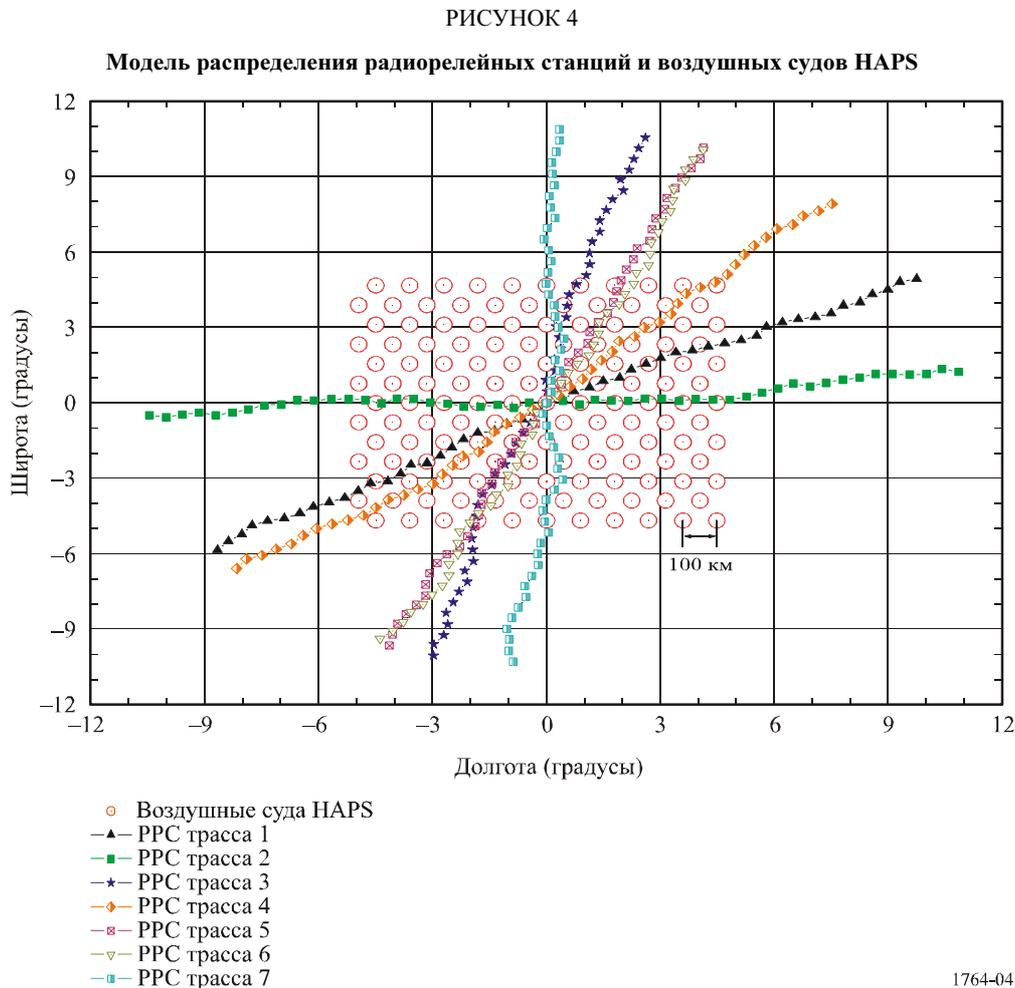
B : ширина полосы частот (Гц);

NF : коэффициент шума радиорелейной станции (дБ).

3 Пример оценки помех, создаваемых системами HAPS фиксированным беспроводным системам

3.1 Помехи, создаваемые воздушными судами HAPS радиорелейным станциям

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



1764-04

Воздушное судно HAPS, находящееся в фиксированной точке на высоте 20 км, может 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 $1000 \times 1000 \text{ км}^2$.

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

В таблице 1 приведены системные параметры фиксированной беспроводной системы 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 фиксированной беспроводной системы и воздушного судна HAPS

Параметры		Значения
Частота		6 ГГц
Фиксированная беспроводная система	Количество пролетов на трассе	50
	Расстояние между пролетами	50 км
	Количество трасс	600
Воздушное судно HAPS	Количество воздушных судов	126
	Высота	20 км

3.1.1 Для аналоговых радиорелейных станций

В таблице 2 приведены параметры аналоговой радиорелейной системы и воздушного судна HAPS, которые используются в расчетах. Системные параметры фиксированных беспроводных систем для совместного использования частот основаны на Рекомендации МСЭ-R F.758.

ТАБЛИЦА 2

Системные параметры аналоговой фиксированной беспроводной системы и воздушного судна HAPS

Параметры		Требования
Фиксированная беспроводная система	Диаграмма направленности антенны	Рекомендация МСЭ-R F.699
	Максимальное усиление антенны	45 дБ
	Потери в фидере	4 дБ
	Коэффициент шума приемника	8 дБ
	Угол места радиорелейной станции	Гауссово распределение
Воздушное судно HAPS	<i>n.p.m. low</i>	-156 ~ -152 (дБ(Вт/(м ² · 4 кГц)))
	<i>n.p.m. high</i>	-148 ~ -142 (дБ(Вт/(м ² · 4 кГц)))

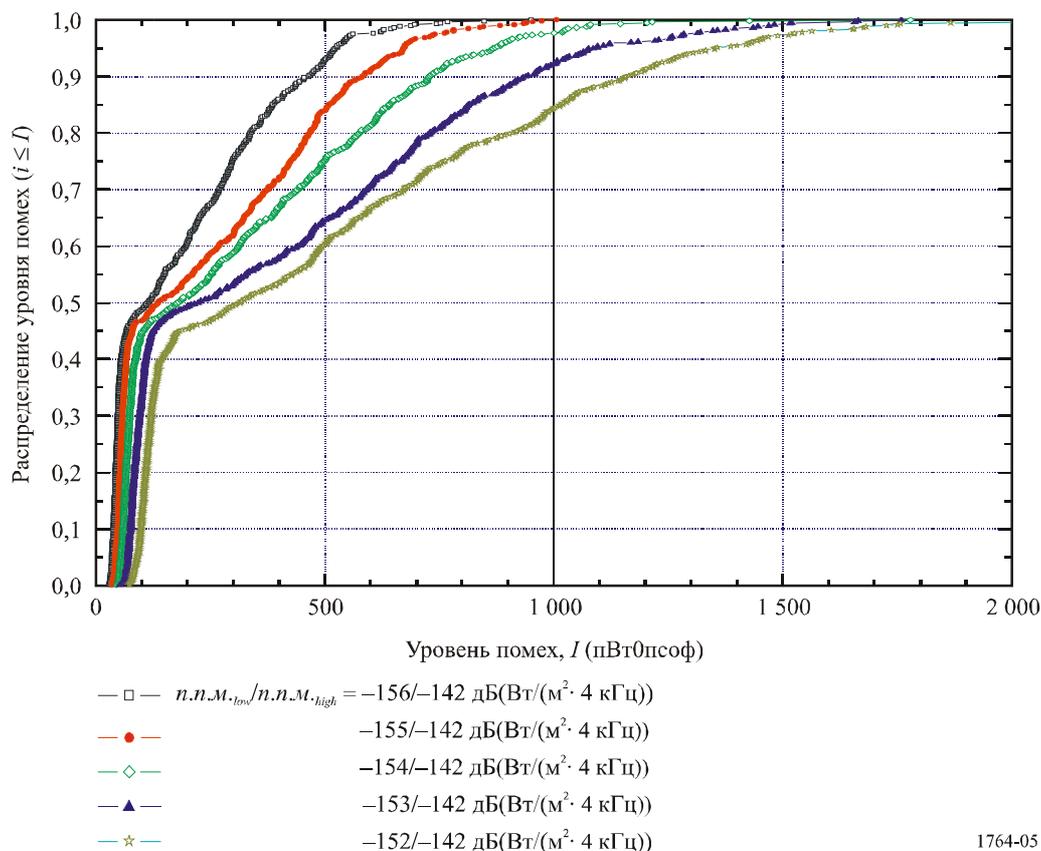
Предполагается, что максимально допустимый уровень помех для аналоговых фиксированных беспроводных систем равен 1000 пВт0псф, психофотметрически взвешенная среднeminутная мощность для более чем 20% времени любого месяца, как указано в Рекомендации МСЭ-R SF.357.

Оцениваемые распределения помех, создаваемых воздушным судном HAPS аналоговыми радиорелейными станциями, представлены на рисунках 5 и 6 при различных значениях *n.p.m. low* и *n.p.m. high*.

Из рисунка 5 видно, что при предполагаемом уровне п.п.м. воздушного судна HAPS равном -152/-142 (дБ(Вт/(м² · 4 кГц))), радиорелейные станции будут испытывать помехи на уровне менее 1000 пВт0псф, примерно, на 84% трасс. При уменьшении значения *n.p.m. low* снижается и получаемый уровень помех. Например, при уменьшении значения *n.p.m. low* на 4 дБ, т.е. при значении *n.p.m. low* равном -156 (дБ(Вт/(м² · 4 кГц))), радиорелейные станции на 100% трасс будут испытывать помехи на уровне ниже допустимого критерия помех равного 1000 пВт0псф.

РИСУНОК 5

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



На рисунке 6 представлено распределение уровня помех при различных значениях $n.p.m._{high}$ и значении $n.p.m._{low}$ равном -152 (дБ(Вт/(м² · 4 кГц))). Даже при уменьшении значения $n.p.m._{high}$ на 6 дБ относительно значения равного -142 (дБ(Вт/(м² · 4 кГц))) максимальная разница в распределении уровня помех менее 1000 пВт0псф составляет только около 5%.

3.1.2 Для цифровых радиорелейных станций

В таблице 3 приведены системные параметры цифровой фиксированной беспроводной системы и воздушного судна HAPS, используемые при расчете. Системные параметры фиксированных беспроводных систем для совместного использования частот также основаны на Рекомендации МСЭ-R F.758.

Для диапазонов частот, где замирания определяются 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. На рисунках 7 и 8 представлены оцениваемые распределения помех, создаваемых воздушными судами HAPS цифровым радиорелейным станциям при различных значениях $n.p.m._{low}$ и $n.p.m._{high}$ при предположении, что требуемый уровень защиты составляет 10%.

РИСУНОК 6

Распределение помех, создаваемых воздушным судном HAPS
при различных значениях $n.p.m.high$

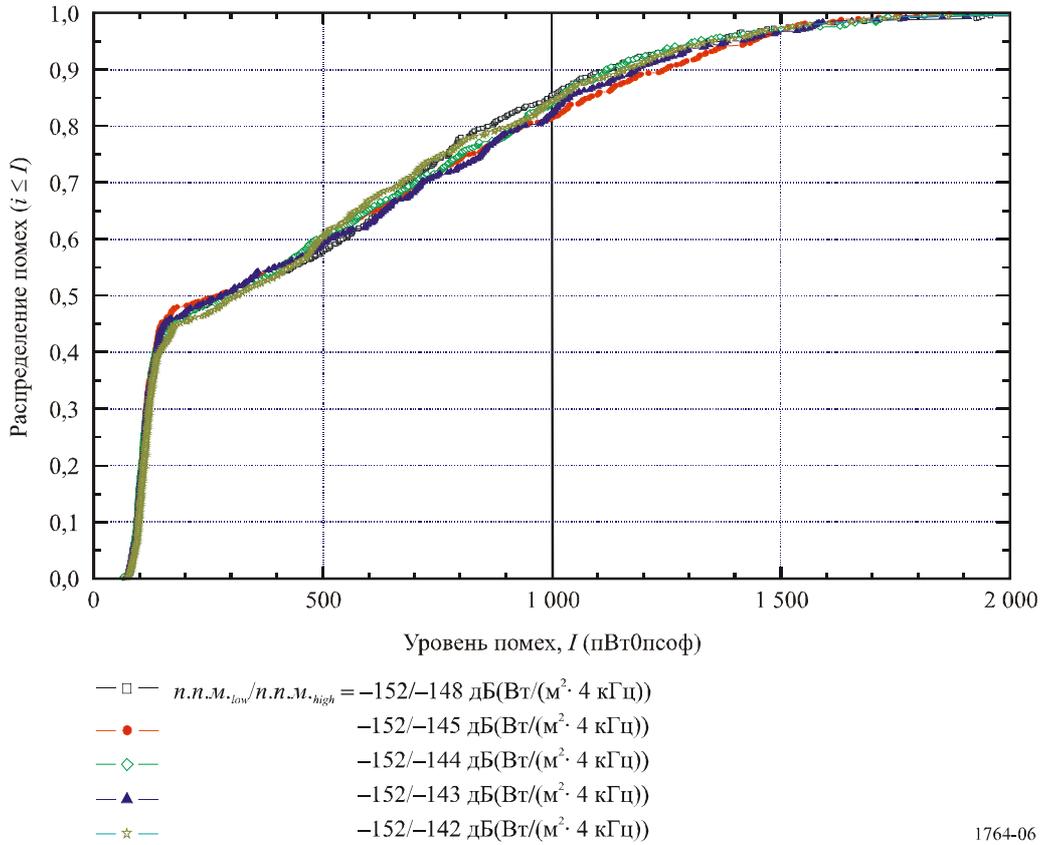


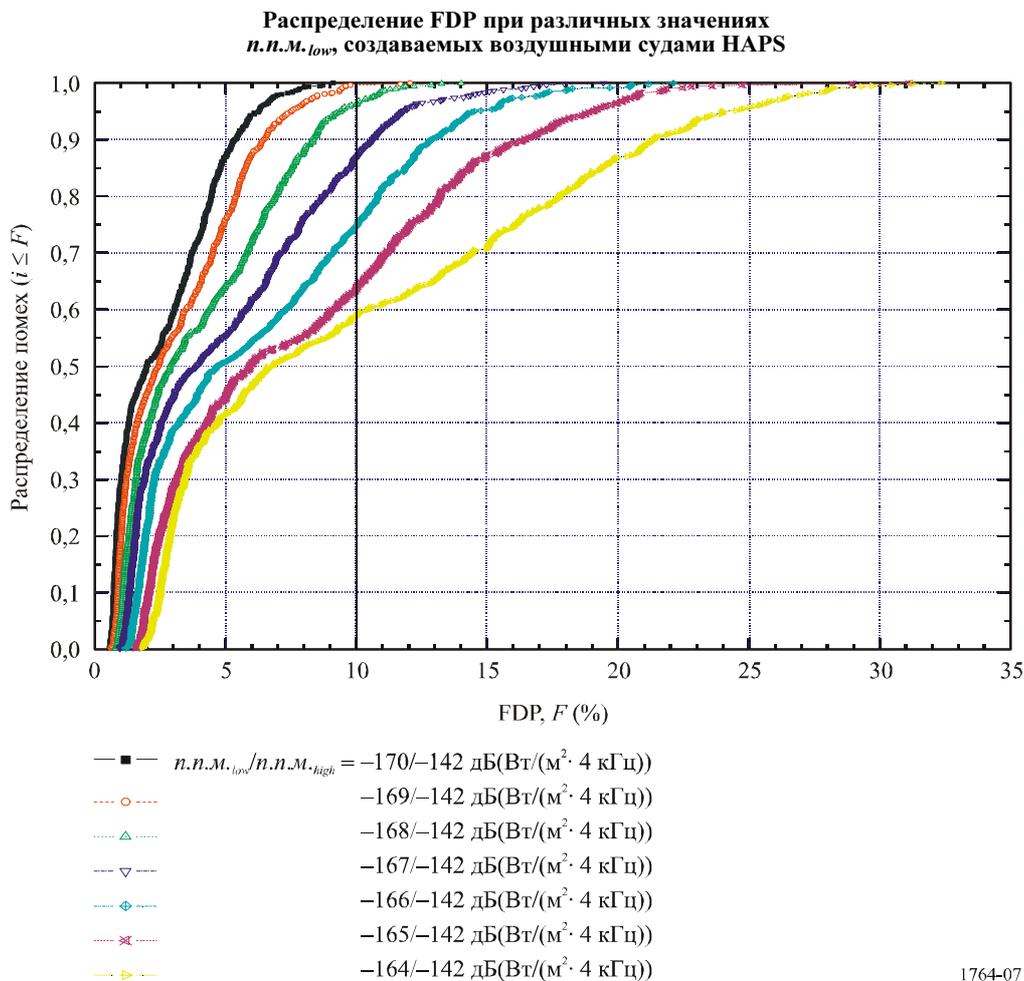
ТАБЛИЦА 3

Системные параметры цифровой фиксированной беспроводной системы
и воздушного судна HAPS

Параметры		Требования
Фиксированная беспроводная система	Диаграмма направленности антенны	Рекомендация МСЭ-R F.1245
	Максимальное усиление антенны	45 дБ
	Потери в фидере	5,5 дБ
	Коэффициент шума приемника	4 дБ
	Угол места радиорелейной станции	Гауссово распределение
Воздушное судно HAPS	$n.p.m.low$	-146 ~ -140 (дБ(Вт/(м ² · МГц)))
	$n.p.m.high$	-127 ~ -118 (дБ(Вт/(м ² · МГц)))

Из рисунка 7 видно, что при предполагаемом уровне п.п.м. воздушного судна HAPS равном $-140/-118$ (дБ(Вт/(м² · МГц))) значение FDP радиорелейных станций составит менее 10% для, примерно, 58% трасс. При уменьшении значения $n.n.m.low$ также снижается и получаемый уровень помех. Например, при уменьшении значения $n.n.m.low$ на 6 дБ, т.е. при значении $n.n.m.low$ равном -146 (дБ(Вт/(м² · МГц))), значение FDP радиорелейных станций для 100% трасс будет меньше допустимого критерия помех равного 10%.

РИСУНОК 7



На рисунке 8 представлено распределение помех при различных значениях $n.n.m.high$ и значении $n.n.m.low$ равном -145 (дБ(Вт/(м² · 4 кГц))). Хотя значение $n.n.m.high$ уменьшается на 6 дБ относительно значения равного -121 (дБ(Вт/(м² · 4 кГц))), максимальная разница при распределении помех менее 10% составляет только около 5%.

3.2 Помехи, создаваемые земными станциями HAPS радиорелейной станции

В таблице 4 приведены системные параметры фиксированной беспроводной системы и системы HAPS, используемые при расчете.

РИСУНОК 8

Распределение FDP при различных значениях
н.п.м._{high} создаваемых воздушными судами HAPS

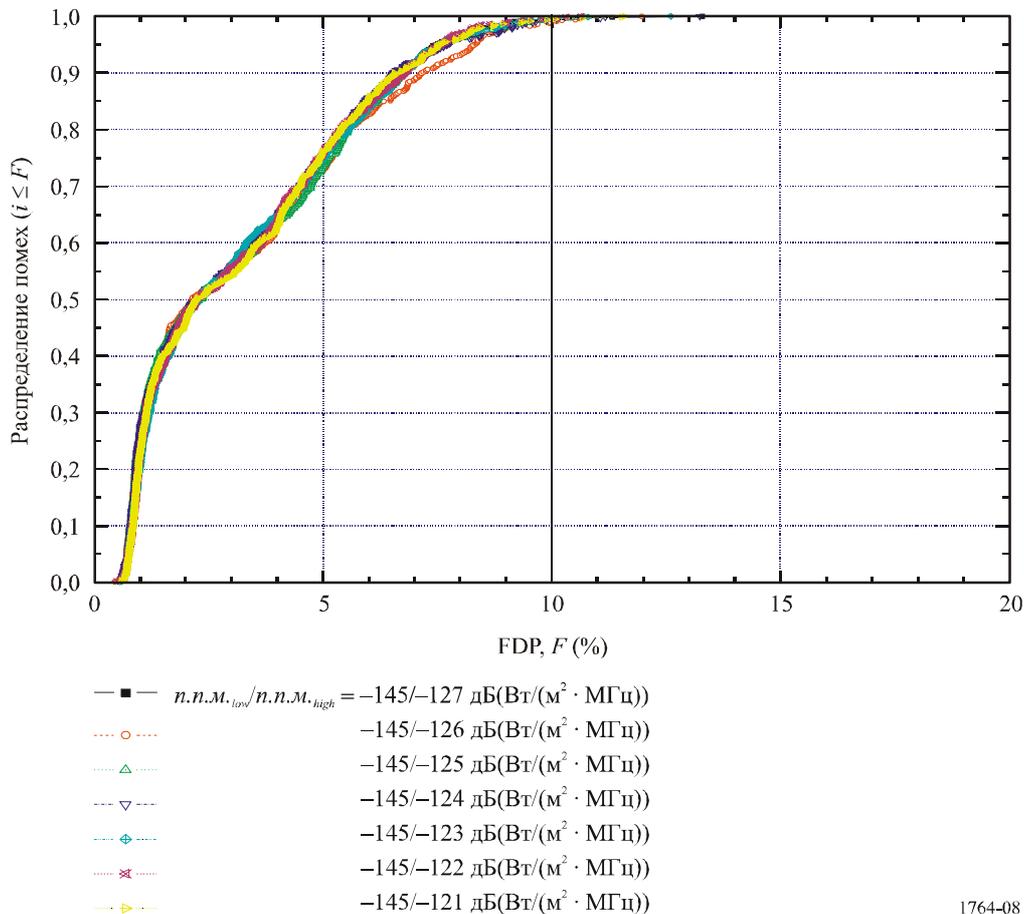


ТАБЛИЦА 4

Системные параметры фиксированной беспроводной системы и системы HAPS

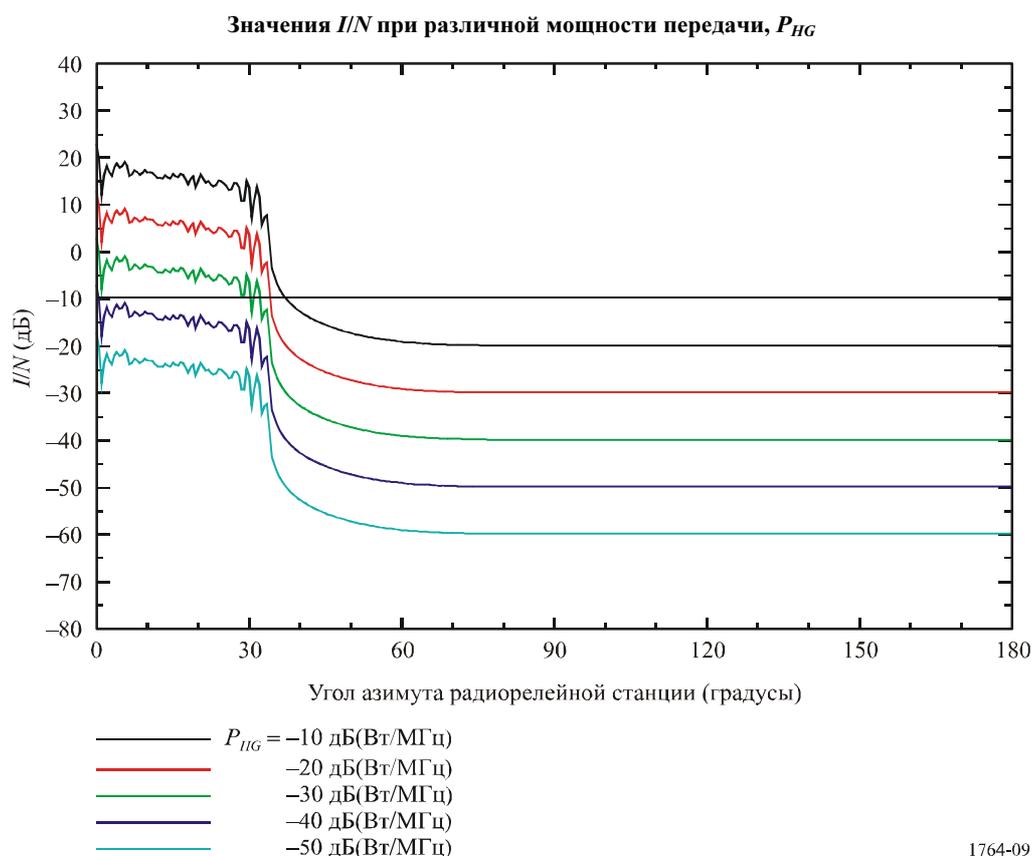
Параметры		Значения
Частота		6 ГГц
Фиксированная беспроводная система	Диаграмма направленности антенны	Рекомендация МСЭ-R F.1245
	Максимальное усиление антенны	45 дБи
	Коэффициент шума	4 дБ
	Потери в фидере	5,5 дБ
Система HAPS	Диаметр зоны обслуживания	110 км
	Высота нахождения воздушного судна	20 км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

Так как значение I_{G-T} зависит от мощности передачи земной станции HAPS, угла между трактами сигналов и расстояния между радиорелейной станцией и надиром HAPS, то значение I/N при данных параметрах можно вычислить по формуле 8.

На рисунке 9 показаны значения I/N при мощности передачи P_{HG} для каждого угла азимута, δ , при расстоянии r равном 100 км. Из этого рисунка можно сделать вывод, что мощность помех непосредственно зависит от мощности передачи земной станции HAPS, и при уровне P_{HG} равном -50 (дБ(Вт/МГц)) значение I/N не превышает -10 дБ для всех углов азимута.

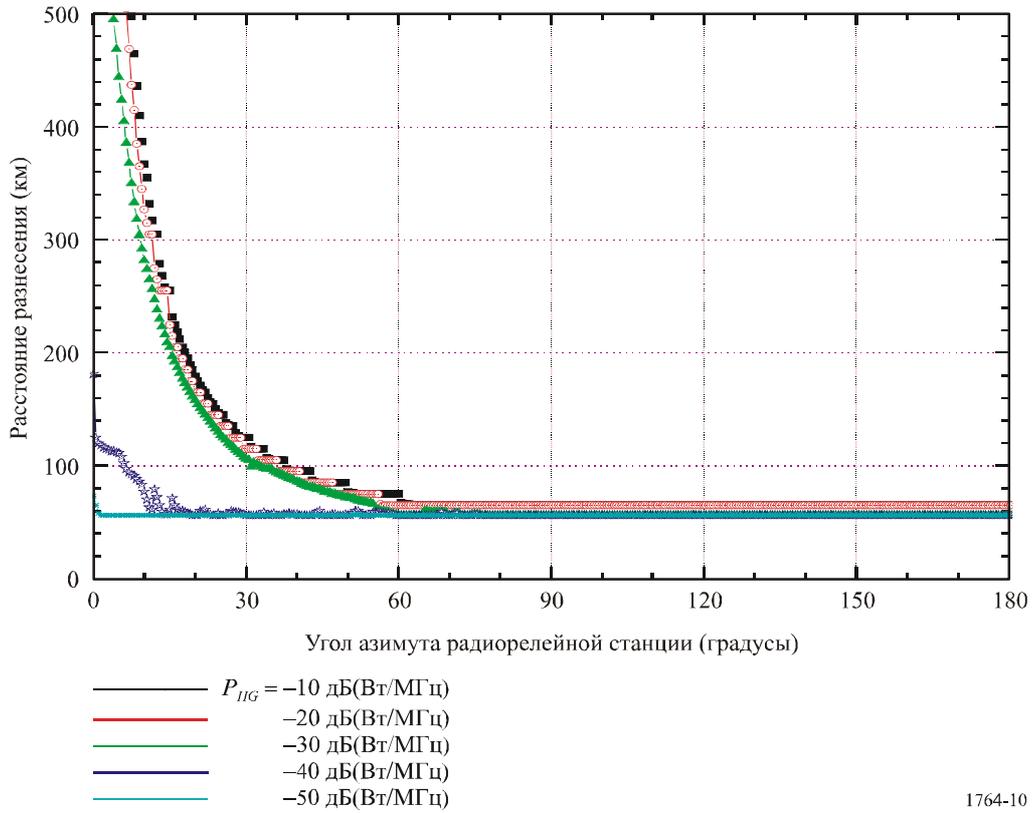
РИСУНОК 9



На рисунках 10 и 11 показано расстояние разнесения между радиорелейной станцией и надиром воздушного судна HAPS. Максимальное расстояние разнесения требуется при угле азимута δ равном 0° . При радиусе зоны покрытия HAPS равном 55 км и мощности передачи каждой земной станции HAPS, P_{HG} , равной -50 (дБ(Вт/МГц)), расстояние разнесения, требуемое для совместного использования частот радиорелейными станциями и земными станциями HAPS, составляет от 56 до 73 км.

РИСУНОК 10

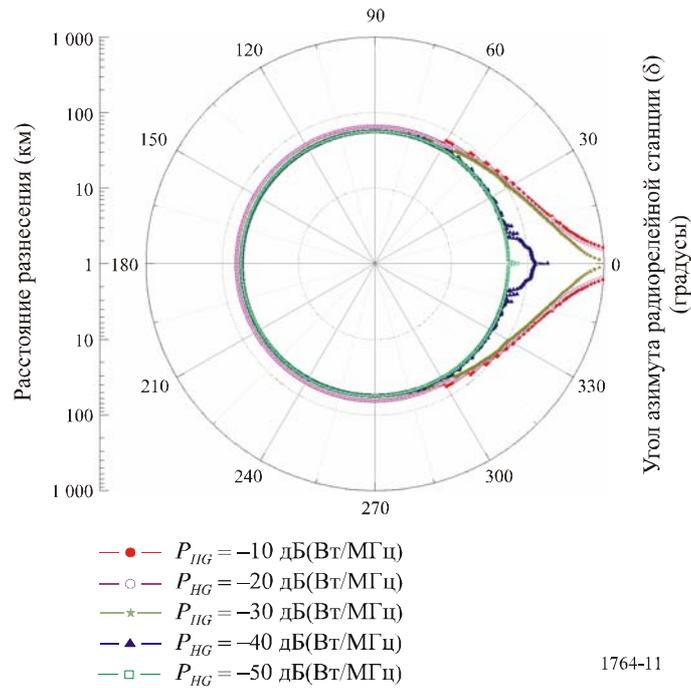
Расстояние разнесения между радиорелейной станцией и надиром воздушного судна HAPS при различной мощности передачи земных станций HAPS



1764-10

РИСУНОК 11

Расстояние разнесения между радиорелейной станцией и надиром воздушного судна HAPS (полярная диаграмма)



1764-11

4 Выводы

В данном Приложении приведен метод оценки помех, создаваемых системами HAPS фиксированным беспроводным системам, и пример оценки помех на частоте 6 ГГц. Данная частота выбрана только для демонстрации примера оценки помех.

Помехи, создаваемые воздушными судами HAPS радиорелейным станциям, оцениваются при различных уровнях п.п.м. воздушного судна HAPS на поверхности Земли.

Также на основе показателя I/N оцениваются помехи, создаваемые земными станциями HAPS радиорелейным станциям, и вычисляется расстояние разнесения, требуемое для совместного использования частот, в зависимости от угла азимута.
