

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1641-1*

Методика оценки помех в совмещенных каналах для определения территориального разнесения между системой, использующей стратосферные станции, и сотовой системой для предоставления услуг ИМТ-2000

(2003-2006)

Сфера применения

В данной Рекомендации содержится методика оценки помех в совмещенных каналах для определения территориального разнесения между системой, использующей стратосферные станции (HAPS) как основную станцию для ИМТ-2000, и наземной сотовой системы для предоставления услуг ИМТ-2000, расположенной на вышке.

В Приложении 1 описывается методика оценки помех в совмещенных каналах от базовой станции HAPS и сотовой базовой станции к сотовой подвижной станции для предоставления услуг ИМТ-2000. Отношение C/I (отношение мощности несущей к помехе) используется в качестве критерия для установления территориального разнесения между системой HAPS и сотовой системой. Для оценки помех в сотовой системе применяется упрощенная расширенная версия модели Nata. Пример вычисления территориального разнесения между системой и сотовой системой приведен в Приложении 2.

В Дополнениях 1 и 2 представлены уравнения для вычисления помех, использованных в Приложении 1, и диаграмма направленности антенны, соответственно.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что развивается новая технология использования станций HAPS в стратосфере;
- b) что ВРК-2000 предусмотрела использование HAPS, предоставляющих услуги ИМТ-2000 в полосах частот 1885–1980 МГц, 2010–2025 МГц и 2110–2170 МГц в Районах 1 и 3, 1885–1980 МГц и 2110–2160 МГц в Районе 2;
- c) что в Резолюции 221 (ВРК-03) выражен запрос о дальнейших исследованиях совместного использования частот HAPS и другими станциями в ИМТ-2000, а также рассмотрена совместимость HAPS в ИМТ-2000 с другими службами, имеющими распределение в смежных полосах частот;
- d) что согласно п. 5.388А Регламента радиосвязи HAPS могут быть использованы как базовые станции наземного компонента ИМТ-2000 в полосах частот 1885–1980 МГц, 2010–2025 МГц и 2110–2170 МГц в Районах 1 и 3, 1885–1980 МГц, 2110–2160 МГц в Районе 2; применение системой ИМТ-2000 приложений, использующих HAPS в качестве базовых станций, не исключает использование данных полос частот другими станциями в службах, для которых они распределены, и не устанавливает их преимущественного использования в Регламенте радиосвязи,

рекомендует,

1 чтобы использовалась методика, приведенная в Приложении 1, в качестве руководства для определения территориального разнесения между системами HAPS и сотовыми системами для предоставления услуг ИМТ-2000 в полосах частот, указанных в пункте b) раздела *учитывая*.

* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 9-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – К Рекомендации МСЭ-R М.1456 следует обращаться для получения типичных параметров, касающихся системы HAPS для исследования совместного использования частот HAPS ИМТ-2000 и сотовой службой в полосах частот в пункте b) раздела *учитывая*, выше.

Приложение 1

Методика оценки помех в совмещенных каналах для определения территориального разнеса между системой, использующей стратосферные станции, и сотовой системой для предоставления услуг ИМТ-2000

1 Введение

В Рекомендации МСЭ-R М.1456 представлены ограничения спектральной плотности потока мощности в совмещенных каналах (с.п.п.м.) на излучение HAPS и ограничения внеполосных с.п.п.м. на излучение HAPS на поверхности Земли, а также требования к рабочим характеристикам HAPS для защиты наземных подвижных станций и фиксированных станций, работающих в полосах частот, смежных с линиями передач HAPS.

Тем не менее, при создании сотовой системы должны учитываться многопользовательские помехи в системе так же, как и помехи других служб; эффективность использования спектра зависит от помех от одних и тех же или смежных сот.

В данной Рекомендации представлено руководство для оценки влияния помех в совмещенных каналах на наземную сотовую систему ИМТ-2000, расположенную на вышках, от системы HAPS ИМТ-2000 с учетом двух источников помех: помехи от одних и тех же или смежных сот в сотовой системе непосредственно и помехи HAPS ИМТ-2000. Поскольку помехи HAPS ИМТ-2000 основаны на диаграмме направленности антенны HAPS, описанной в Рекомендации МСЭ-R М.1456, то данная диаграмма используется для оценки соответствующей мощности помех сотовых систем, с тем чтобы вся мощность помех могла быть выведена. Помехи на сотовую подвижную станцию от сотовой базовой станции и от базовой станции HAPS оцениваются с помощью C/I с такими параметрами системы HAPS, как количество пользователей на соту, радиус соты и мощность передачи. Для каждого вычисления оптимальные величины определены по вышеуказанным параметрам в системах HAPS ИМТ-2000 таким образом, чтобы они были совместимы с сотовой системой. В данной Рекомендации содержится руководство для оценки территориального разнеса между системой HAPS ИМТ-2000 и сотовой системой для поставщиков услуг ИМТ-2000, использующих данные различные системы.

2 Модель системы

2.1 HAPS IMT-2000

HAPS разрабатываются в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R М.1457 для возможного предоставления услуг IMT-2000 в полосах частот 1885–1980 МГц, 2010–2025 МГц и 2110–2170 МГц в Районах 1 и 3, в полосах частот 1885–1980 МГц и 2110–2160 МГц в Районе 2. Кроме того, HAPS как базовая станция для предоставления услуг IMT-2000 будет иметь собственную диаграмму направленности антенны в соответствии со следующим:

$$G(\psi) = \begin{cases} G_m - 3(\psi/\psi_b)^2 & \text{дБи для } 0 \leq \psi \leq \psi_1 \\ G_m + L_N & \text{дБи для } \psi_1 < \psi \leq \psi_2 \\ X - 60 \log(\psi) & \text{дБи для } \psi_2 < \psi \leq \psi_3 \\ L_F & \text{дБи для } \psi_3 < \psi \leq 90^\circ \end{cases}, \quad (1)$$

где:

$G(\psi)$: коэффициент усиления при угле ψ от направления главного лепестка антенны (дБи)

G_m : максимальный коэффициент усиления в главном лепестке (дБи)

ψ_b : половина ширины диаграммы направленности антенны 3 дБ в нужной плоскости (3 дБ ниже G_m) (градусы)

L_N : уровень ближнего внутреннего лепестка (дБ) относительно максимального коэффициента усиления, обусловленного конструкцией системы, и имеет максимальную величину –25 дБ

$L_F = G_m - 73$ дБи уровень дальнего бокового лепестка (дБи)

$\psi_1 = \psi_b \sqrt{-L_N/3}$ градусы

$\psi_2 = 3,745\psi_b$ градусы

$X = G_m + L_N + 60 \log(\psi_2)$ дБ

$\psi_3 = 10^{\frac{X-L_F}{60}}$ градусы.

Ширина диаграммы направленности антенны 3 дБ ($2\psi_b$) определяется формулой:

$$\psi_b = \sqrt{\frac{7442}{10^{0,1G_m}}} \quad \text{градусы,}$$

где G_m – максимальное апертурное усиление (дБи).

2.2 Модель распространения сигнала

Для сотовой системы рассматривается упрощенная расширенная версия модели Nata, а для системы HAPS используется модель потери в свободном пространстве.

Модель потери в свободном пространстве подходит для большого угла возвышения, и она должна использоваться с осторожностью для небольших углов возвышения, до тех пор пока не будет разработана усовершенствованная модель для систем HAPS; тогда данная методика должна быть пересмотрена.

2.2.1 Упрощенная модель расширенной версии модели Hata

Расширенная версия модели Hata в уравнении (2) широко применяется для моделирования каналов радиосвязи сотовых систем в городских зонах с антенной базовой станции высотой 30 м и подвижной антенной высотой 1,5 м.

$$L = 25,87 + 33,9 \log_{10}(F) + 35,2 \log_{10}(R), \quad (2)$$

где:

- L : потери в тракте передачи (дБ)
- F : частота (МГц)
- R : диапазон (км).

Основное использование четвертого закона потери мощности в тракте передачи в наземных сотовых сетях, как и упрощенная расширенная версия модели Hata, применяются как показано в уравнении (3) для упрощения вывода формулы.

$$L = 25,87 + 33,9 \log_{10}(F) + 40 \log_{10}(R). \quad (3)$$

2.2.2 Модель потери в свободном пространстве

$$L = 32,4 + 20 \log_{10}(F) + 20 \log_{10}(R), \quad (4)$$

где:

- L : потери в тракте передачи (дБ)
- F : частота (МГц)
- R : диапазон (км).

3 Анализ C/I на сотовой подвижной станции и требуемое C/I для определения территориального разнеса между системой HAPS и сотовой системой

3.1 Анализ C/I на сотовой подвижной станции

На рис. 1 представлен образец помехи, идущей к сотовой подвижной станции от сотовых базовых станций и базовой станции HAPS. Предполагается, что сотовая подвижная станция, подвергаемая воздействию помех, находится в ближайшей точке зоны обслуживания HAPS, как показано на рис. 1. Мощность помех, получаемых сотовой подвижной станцией, можно вычислить с помощью уравнения (5), учитывая помехи от сотовых базовых станций и базовой станции HAPS (см. Дополнение 1). Поскольку сотовая подвижная станция расположена на границе зоны покрытия сотовой системы, предполагается, что помехи внутри сот незначительны.

$$I = I_{Cellular} + I_{HAPS} = \sum_{n=1}^N \left\{ K_c S_i 10^{\frac{G_i}{10}} \left[\sum_{m=1}^{c_{in}} d_{inm}^{-4} \right] + K_h S_{hm} d_h^{-2} \left[\sum_{m=1}^{c_{hm}} 10^{\frac{G_{hm}(\Phi_{hmm})}{10}} \right] \right\}, \quad (5)$$

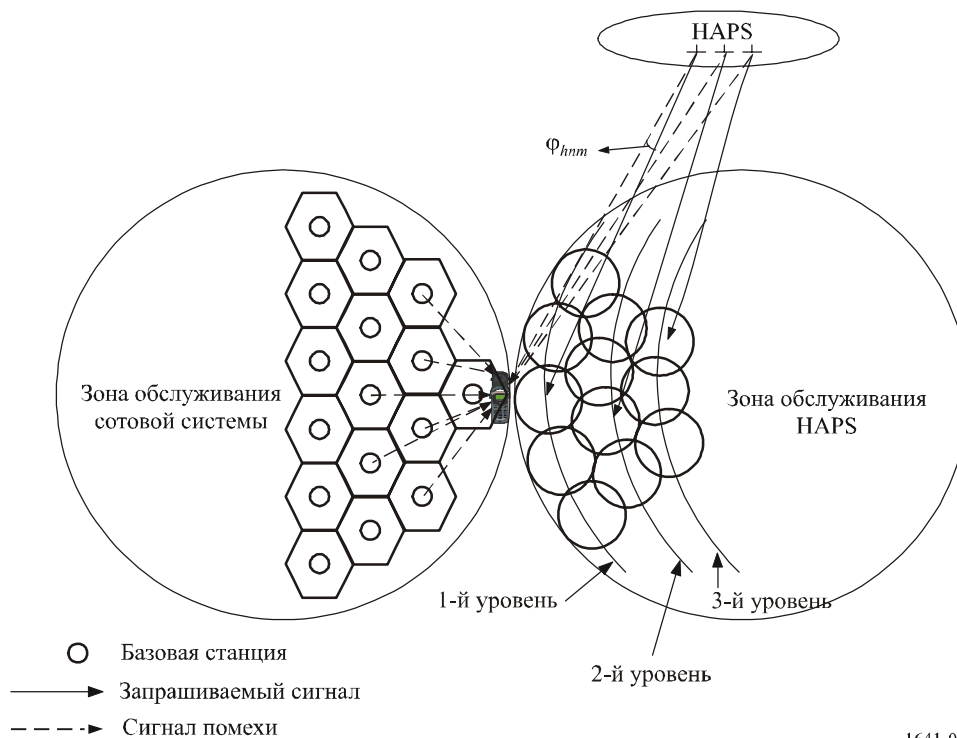
где:

- α_i : фактор голосовой активности в сотовой системе
- S_i : мощность следующего элемента сотовой связи от сотовой базовой станции к пользователю на границе каждой соты (мВт)
- M_i : количество пользователей на соту
- l_i : потери в тракте передачи сотовой системы на километр
- c_{in} : количество сот с помехами n -го уровня в сотовой системе ($= 2n + 1$, n : целое число)

- N : номер уровня
- c_{hm} : количество пучков помех HAPS на n -ом уровне на расстоянии $(2N-1) \times$ (радиус соты HAPS) вокруг границы рассматриваемой соты, которая будет подвержена воздействию помех
- d_{im} : расстояние между сотовой подвижной станцией и сотовой базовой станцией (км)
- d_h : расстояние между сотовой подвижной станцией и базовой станцией HAPS (км)
- Φ_{hnm} : угол между сотовой подвижной станцией и направлением главного лепестка антенны соты, обслуживаемой базовой станцией HAPS (градусы)
- S_{hm} : мощность следующего элемента связи HAPS от базовой станции HAPS к пользователю на границе соты HAPS, расположенной на n -ом уровне (мВт)
- G_i : коэффициент усиления антенны базовой станции в сотовой системе
- G_{hm} : коэффициент усиления антенны, как выражено в уравнении (1), согласно уровню
- $$K_c = \frac{\alpha_i M_i l_i}{3}$$
- $$K_h = \alpha_h M_h l_h$$
- α_h : фактор голосовой активности в системе HAPS
- M_h : количество пользователей HAPS на соту
- l_h : потери в тракте передачи HAPS на километр.

РИСУНОК 1

Модель помехи, поступающей в сотовую подвижную станцию



1641-01

Отношение C/I для сотовой подвижной станции может быть вычислено с помощью уравнения (6).

$$C/I = \frac{P_F(r_j) \times 10^{\frac{G_i}{10}} \times l_i \times R_i^{-4}}{I}, \quad (6)$$

где:

- $P_F(r_j)$: передаваемая мощность на одного пользователя связи на расстоянии r_j
 r_j : расстояние между сотовой базовой станцией для несущей и j -го сотового пользователя
 R_i : радиус соты (км).

3.2 Требуемое значение C/I для определения территориального разноса

В данной Рекомендации территориальный разнос определяется как расстояние от зоны уверенного приема HAPS до зоны уверенного приема ближайшей соты, обслуживающей сотовую подвижную станцию, подвергнутую воздействию помех. Чтобы разделить спектр между системой HAPS и сотовой системой для предоставления услуг IMT-2000 в смежной зоне, необходимо установить соответствующий территориальный разнос. Требуемое значение C/I в сотовом многостанционном доступе с кодовым разделением каналов (CDMA) выражено в уравнении (7):

$$(C/I)_{req} = \left(\frac{E_b}{I_0} \right) \left(\frac{R_b}{B_c} \right), \quad (7)$$

где:

- E_b : энергия/бит
 I_0 : мощность помех/Гц
 R_b : бит/с
 B_c : ширина полосы канала радиосвязи (Гц).

Приложение 2

Пример вычисления территориального разноса между системой HAPS и сотовой системой для предоставления услуг IMT-2000

1 Параметры для вычисления отношения C/I

В таблице 1 представлены параметры и значения, используемые для вычисления отношения C/I на сотовой подвижной станции от базовой станции HAPS и сотовых базовых станциях.

ТАБЛИЦА 1

Параметры для вычисления C/I

Параметр	Величина
Частота (МГц)	1 950
Количество пользователей на соту	50
Количество уровней с помехами	5
Радиус соты (км)	1
Мощность сотовой передачи на пользователя (мВт)	100
Высота HAPS (км)	20
Радиус покрытия соты HAPS (км)	55
Фактор голосовой активности в сотовой системе (α_i)	0,375
Фактор голосовой активности в HAPS (α_h)	0,375

Если $E_b/I_0, R_b$ и B_c составляют 4,5 дБ, 8 кбит/с, и 1,25 МГц, соответственно, то требуемое значение C/I , $(C/I)_{req}$ выводится равным $-17,438$ дБ из уравнения (7).

Отношение C/I , выведенное с помощью уравнения (7), используется в качестве критерия для определения территориального разнеса между системой HAPS и сотовой системой для предоставления услуг IMT-2000.

2 Вычисление территориального разнеса

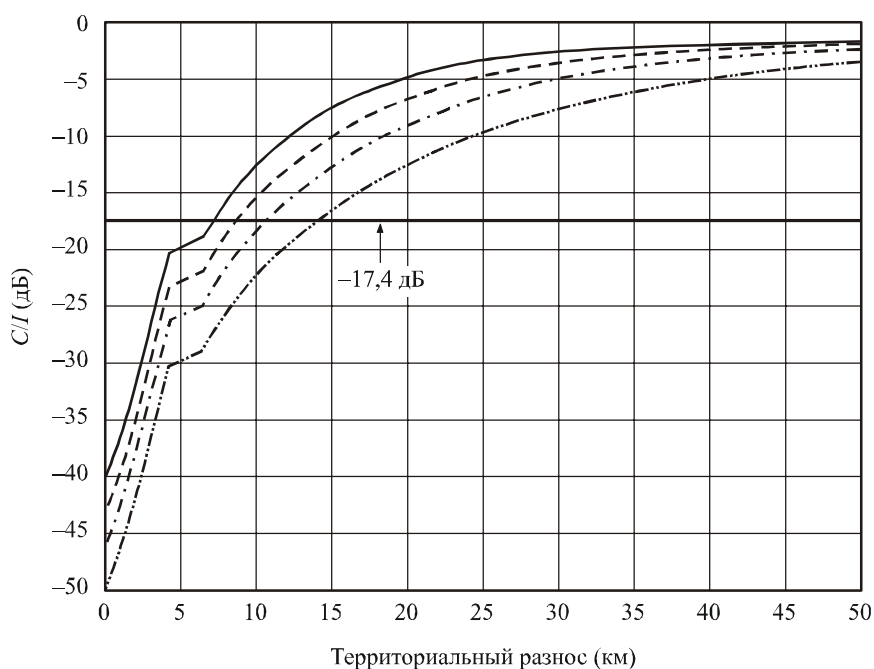
Для анализа помех сотовой системы в данном примере отношение C/I $-17,4$ дБ используется в качестве критерия для внутреннего проектирования C/I наземной сотовой системы и для определения территориального разнеса между системой HAPS и сотовой системой. Данный критерий должен считаться пределом для действия подвижной станции, обычно используемый критерий более строгий.

Предполагается, что количество уровней, подвергнутых воздействию помех, доходит до 5, так как дополнительные помехи незначительны для количества уровней более 5. Максимальный коэффициент усиления антенны базовой станции HAPS считается достаточным в соответствии с радиусом соты HAPS.

Из уравнения (5) и вышеуказанных соображений вычисленное отношение C/I представлено как функция территориального разнеса на рис. 2, 3 и 4 для упрощенной расширенной модели Nata с учетом количества пользователей на соту, мощности передачи и радиуса соты для HAPS, соответственно.

РИСУНОК 2

Зависимость C/I от территориального разнеса с разным количеством пользователей HAPS на соту



Мощность соты: 100 мВт

Радиус соты: 1 км

Сотовых пользователей на соту: 50

Мощность HAPS: 10 мВт

Радиус соты HAPS: 2 км

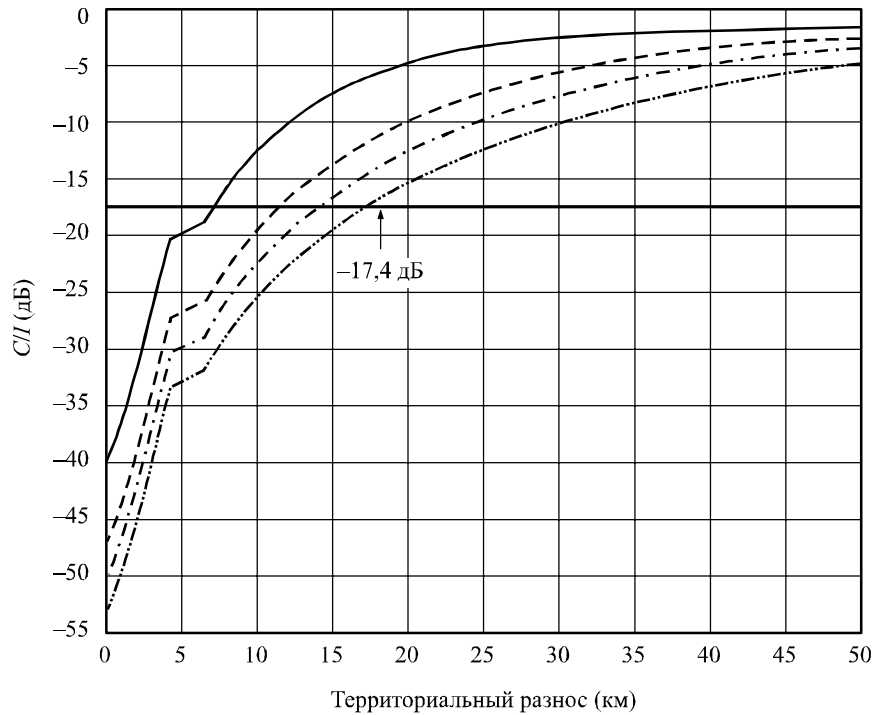
— Пользователей HAPS на соту: 50

- - - Пользователей HAPS на соту: 200

- - - - Пользователей HAPS на соту: 100

· · · · · Пользователей HAPS на соту: 500

РИСУНОК 3

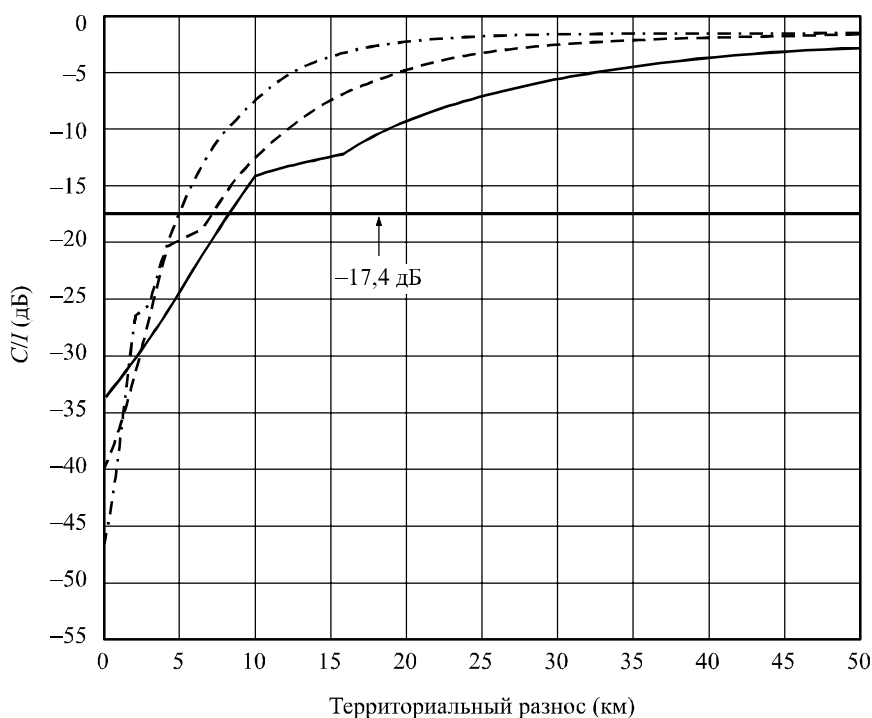
Зависимость C/I от территориального разнеса с разной мощностью передачи

Мощность соты: 100 мВт
 Радиус соты: 1 км
 Сотовых пользователей на соту: 50
 Радиус соты HAPS: 2 км
 Пользователей HAPS на соту: 50

— Мощность HAPS: 10 мВт - · - · - Мощность HAPS: 100 мВт
 - - - - - Мощность HAPS: 50 мВт - · · · - · - - - - Мощность HAPS: 200 мВт

1641-03

РИСУНОК 4

Зависимость C/I от территориального разнеса с разными радиусами действия HAPS

Мощность соты: 100 мВт

Радиус соты: 1 км

Сотовых пользователей на соту: 50

Мощность HAPS: 10 мВт

Пользователей HAPS на соту: 50

— Радиус действия HAPS: 4 км

- · - · - Радиус действия HAPS: 1 км

- - - Радиус действия HAPS: 2 км

1641-04

На рис. 2 отношение C/I представлено в виде функции территориального разнеса с учетом количества пользователей HAPS на соту. Величины C/I на сотовых подвижных станциях ниже пороговых величин $-17,4$ дБ на точке контакта двух систем. Когда мощность передачи HAPS на пользователя составляет 10 мВт и радиус соты HAPS составляет 2 км, необходимый территориальный разнос между двумя системами составляет: 7,2, 8,8, 10,8 и 14,1 км для 50, 100, 200 и 500 пользователей HAPS на соту, соответственно, как представлено в таблице 2.

На рис. 3 отношение C/I представлено в виде функции территориального разнеса с учетом мощности передачи HAPS на пользователя. Величины C/I на сотовой подвижной станции ниже пороговых величин на точке контакта двух систем. Когда количество пользователей HAPS на соту составляет 50 и радиус соты HAPS составляет 2 км, необходимый территориальный разнос между двумя системами составляет: 7,2, 11,5, 14,1 и 17,4 км для мощности передачи на пользователя 10, 50, 100 и 200 мВт, соответственно, как представлено в таблице 3.

На рис. 4 отношение C/I представлено в виде функции территориального разнеса с учетом радиуса соты HAPS. Величины C/I на сотовой подвижной станции зависят от радиуса соты HAPS. Когда количество пользователей HAPS на соту составляет 50 и мощность передачи на соту составляет 10 мВт, необходимый территориальный разнос между двумя системами составляет: 8,3, 7,2 и 5 км для радиусов соты HAPS 4, 2 и 1 км, соответственно, как представлено в таблице 4.

В примере вычисления с $C/I = -17,4$ дБ, отношение C/I , которое было бы выведено только с учетом размещения сот (т. е. без HAPS), составляет приблизительно -8 дБ, что значит, что для внешних помех допускается значительный запас. Во втором примере вычисления предполагается, что значение C/I ограничено значением $C/I -12$ дБ.

ТАБЛИЦА 2

Территориальный разнос с учетом количества пользователей HAPS на соту

Пользователи HAPS на соту	Территориальный разнос (км)	
	$C/I = -17,4$ дБ	$C/I = -12$ дБ
50	7,2	10,6
100	8,8	12,9
200	10,8	15,9
500	14,1	20,9

ТАБЛИЦА 3

Территориальный разнос с учетом мощности передачи

Мощность HAPS (мВт)	Территориальный разнос (км)	
	$C/I = -17,4$ дБ	$C/I = -12$ дБ
10	7,2	10,6
50	11,5	17
100	14,1	20,9
200	17,4	25,7

ТАБЛИЦА 4

Территориальный разнос с учетом радиуса соты HAPS

Радиус соты HAPS (км)	Территориальный разнос (км)	
	$C/I = -17,4$ дБ	$C/I = -12$ дБ
1	5	7,1
2	7,2	10,6
4	8,3	16,1

Дополнение 1 к Приложению 1

Теоретический вывод помех между системой NAPS и сотовой системой

1 Помехи, поступающие в сотовую подвижную станцию

1.1 Помехи, исходящие от сотовой базовой станции

Мощность передачи сотовой базовой станции с учетом упрощенных законов регулирования мощности представлена уравнением:

$$P_F(r_j) = \begin{cases} \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^4 S_i & \text{для } 0 < r_j \leq r_{i0} \\ \left(\frac{r_j}{R_i}\right)^4 S_i & \text{для } r_{i0} < r_j \leq R_i \end{cases}, \quad (8)$$

где:

R_i : радиус соты

r_j : расстояние до j -ой подвижной станции в одной соте

$P_F(r_j)$: мощность, передаваемая от узла сотовой связи к j -ому пользователю соты.

Обозначим среднюю мощность, передаваемую от сотовой базовой станции, P_c . Следуя закону регулирования мощности в уравнении (8), P_c выражается:

$$\begin{aligned} P_c &= \alpha_i \rho_i \int_0^{R_i} P_F(r_j) \times 2\pi r_j dr_j \\ &= 2\pi \alpha_i \rho_i \left[\int_0^{r_{i0}} \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^4 S_i r_j dr_j + \int_{r_{i0}}^{R_i} \left(\frac{r_j}{R_i}\right)^4 S_i r_j dr_j \right], \\ &= \frac{\pi \alpha_i \rho_i S_i R_i^2}{3} \left[1 + \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^6 \right] \end{aligned} \quad (9)$$

где:

ρ_i : плотность пользователей.

Если $\rho_i = \frac{M_i}{\pi R_i^2}$, то P_c заменяется на:

$$P_c = \frac{\alpha_i S_i M_i}{3} \left[1 + \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^6 \right]. \quad (10)$$

Если диапазон разрыва $r_{i0} = 0,55 R_i$, то $\left[1 + \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^6\right] \approx 1,027 \approx 1$.

Тогда уравнение (10) заменяется на:

$$P_c = \frac{\alpha_i S_i M_i}{3}. \quad (11)$$

Сумма помех, поступающих от базовых станций на сотовые подвижные станции, представлена уравнением:

$$I_{Cellular} = \sum_{n=1}^N \left[\sum_{m=1}^{c_m} l_i P_c 10^{\frac{G_i}{10}} d_{imm}^{-4} \right] = \frac{\alpha_i S_i M_i l_i}{3} 10^{\frac{G_i}{10}} \sum_{n=1}^N \left[\sum_{m=1}^{c_m} d_{imm}^{-4} \right]. \quad (12)$$

1.2 Помехи, поступающие от базовой станции HAPS

Мощность на соту на n -ом уровне P_{hm} , передаваемая от базовой станции HAPS, выражена уравнением (14). Для определения того же полученного уровня мощности на границе соты в каждом регионе обслуживания мощность передачи на одного пользователя HAPS в зоне обслуживания предполагается равной представленному в уравнении:

$$P_{hm} = \alpha_h S_{hm} M_h \quad (13)$$

$$S_{hm} = \begin{cases} \frac{l_i}{l_h} \frac{10^{(G_i/10)}}{10^{(G_{hm}/10)}} \frac{d_h^2}{r_i^4} S_i, & n=1 \\ \frac{10^{(G_{h(n-1)}/10)}}{10^{(G_{hm}/10)}} \frac{d_{hm}^2}{d_{h(n-1)}^2} S_{h(n-1)}, & n \geq 2 \end{cases},$$

где:

S_{hm} : мощность следующего элемента в сотовой связи для пользователя на границе соты HAPS, которая расположена на n -ом уровне

d_{hm} : расстояние от базовой станции HAPS до подвижной станции HAPS n -го уровня, расположенного в ближайшей точке зоны сотового покрытия.

Сумма помех, поступающих от базовых станций на сотовые подвижные станции, представлена уравнением:

$$I_{HAPS} = \sum_{n=1}^N \left[\sum_{m=1}^{c_{hm}} l_h P_h 10^{\frac{G_{hm}(\Phi_{hmm})}{10}} d_h^{-2} \right] = \alpha_h M_h l_h d_h^{-2} \left[\sum_{n=1}^N S_{hm} \sum_{m=1}^{c_{hm}} 10^{\frac{G_{hm}(\Phi_{hmm})}{10}} \right], \quad (14)$$

где:

$$d_h = \sqrt{r_h^2 + h_s^2}$$

r_h : расстояние от надира HAPS до сотовой подвижной станции

h_s : высота HAPS.

Дополнение 2 к Приложению 1

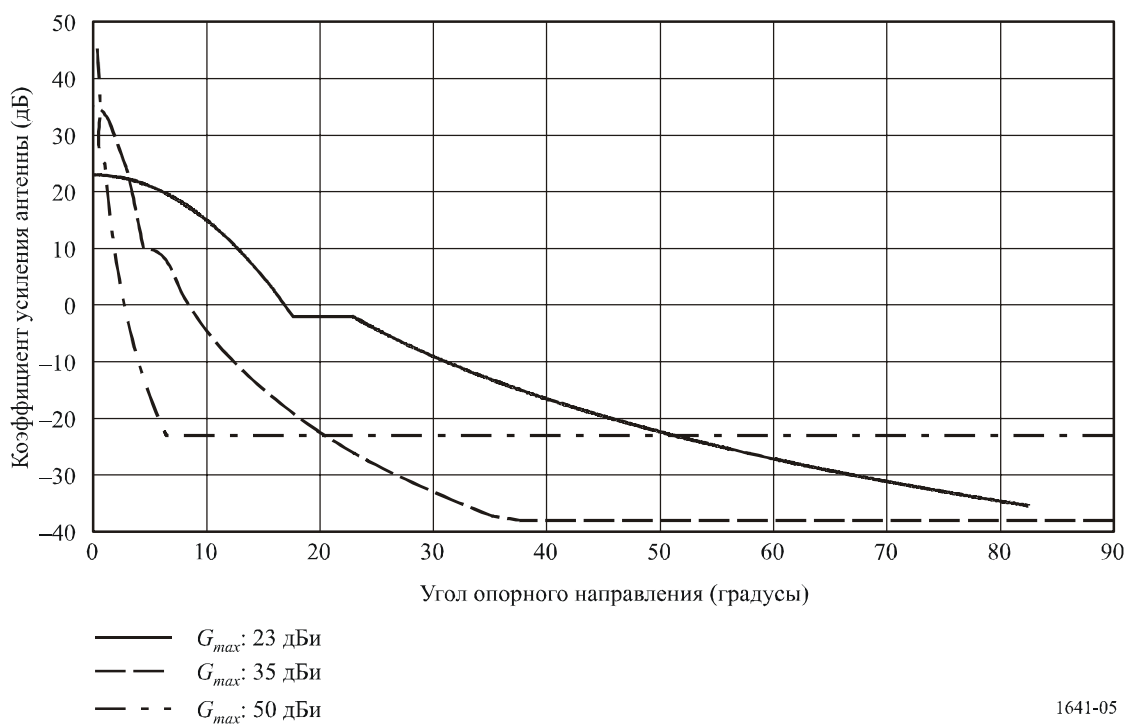
Диаграммы направленности антенны

1 Используемая эталонная диаграмма направленности (Рекомендация МСЭ-R М.1456)

Предполагаемые характеристики эталонной диаграммы направленности представлены на рис. 5, с учетом максимальных коэффициентов усиления антенны 23 дБи, 35 дБи и 50 дБи, соответственно.

РИСУНОК 5

Диаграмма направленности антенны



1641-05