

# МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R F.2011**  
(01/2012)

**Оценка помех от линий станций  
сопряжения для станций на высотной  
платформе (HAPS) (в направлении  
HAPS-земля) фиксированной службы  
на обычные системы фиксированной  
беспроводной связи  
в полосе 5850–7075 МГц**

**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, 2012 г.

© ITU 2012

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.2011\*

**Оценка помех от линий станций сопряжения для станций на высотной платформе (HAPS) (в направлении HAPS-земля) фиксированной службы на обычные системы фиксированной беспроводной связи в полосе 5850–7075 МГц**

(2012)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации представлен метод оценки помех между системами фиксированной службы (ФС), использующими линии станций сопряжения для станций на высотной платформе (HAPS) (в направлении HAPS-земля), и обычными системами фиксированной беспроводной связи в полосе 5850–7075 МГц, разработанный по результатам технических исследований, проведение которых было предложено в Резолюции 734 (Пересм. ВКР-07). Этот метод используется для определения зон, в которых конкретные значения  $I/N$  будут превышены в приемном оборудовании ФС. Результаты включают графики и расчеты зон для различных конкретных значений  $I/N$ .

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a)* что новая технология, использующая станции на высотной платформе (HAPS) в стратосфере, была разработана, чтобы обеспечить услуги с высокой пропускной способностью;
- b)* что некоторые администрации намерены задействовать системы на основе HAPS в полосах, распределенных для такого применения согласно Таблице распределения радиочастот или согласно примечаниям к фиксированной службе;
- c)* что в дополнение к подобным абонентским линиям требуются линии станций сопряжения, которые могут соединить абонентские линии с коммутируемой телефонной сетью общего пользования (ТСОП), широкополосными сетями передачи данных, системами сотовой радиотелефонной связи и поставщиками звукового и телевизионного вещания;
- d)* что на ВКР-07 была принята Резолюция 734 (Пересм. ВКР-07), требующая от МСЭ-R проведения исследований по совместному использованию частот с целью определения двух каналов по 80 МГц каждый для линий станций сопряжения HAPS в диапазоне 5850–7075 МГц в полосах, которые уже распределены фиксированной службе, обеспечивая в то же время защиту существующих служб;
- e)* что значительные участки этой полосы активно используются существующими службами,

*рекомендует,*

чтобы в ответ на технические исследования, указанные в пункте *d)* раздела *учитывая*, по оценке помех от линий станций сопряжения HAPS (в направлении HAPS-земля) фиксированной службы на обычные системы фиксированной беспроводной связи в полосе 5850–7075 МГц использовалась методология, описанная в Приложении 1.

---

\* Настоящая Рекомендация была подготовлена в поддержку пункта 1.20 повестки дня Всемирной конференции радиосвязи 2012 года (ВКР-12). В случае если ВКР-12 не определит спектр для линий станций сопряжения, связанных со станциями на высотной платформе в этой полосе частот, данная Рекомендация будет исключена.

## Приложение 1

### Оценка помех от линий станций сопряжения для станций на высотной платформе (в направлении HAPS-земля) фиксированной службы на обычные системы фиксированной беспроводной связи в полосе 5850–7075 МГц

#### 1 Введение

В данном Приложении представлена методика определения отношений мощности помех к мощности шума на входе приемника линии связи "точка-точка" фиксированной службы, обусловленных эксплуатацией линий "вниз" для станций сопряжения HAPS. Данный случай будет рассмотрен в пункте 1.20 повестки дня ВКР-12. Параметры и модели, используемые для анализа, описываются в разделе 2; возможные критерии  $I/N$ , которые можно применять, указаны в разделе 3. В разделе 4 описывается и применяется методика, а также представлены полученные с ее помощью результаты для случая, когда платформа HAPS ведет передачу только на одну станцию сопряжения. В разделе 5 рассматривается суммарная помеха, когда платформа HAPS ведет передачу на множественные наземные станции сопряжения в симметричной конфигурации. В разделе 6 рассматривается влияние других параметров на полученные результаты. Основное внимание при проведении исследований в данном документе обращено на полосу 5925–6875 МГц, поскольку она активно используется ФС.

#### 2 Описание системы и параметры

Система HAPS, рассматриваемая в данном исследовании, обеспечивает связью пять станций сопряжения. На рисунке 1, взятом из Рекомендации МСЭ-R F.1891, показана геометрическая конфигурация системы. Характеристики сигналов, посылаемых передатчиком платформы HAPS, представлены в Рекомендации МСЭ-R F.1891. Они приведены в таблице 1.

РИСУНОК 1

Пример конфигурации станций сопряжения HAPS и внутренних помех в сети HAPS

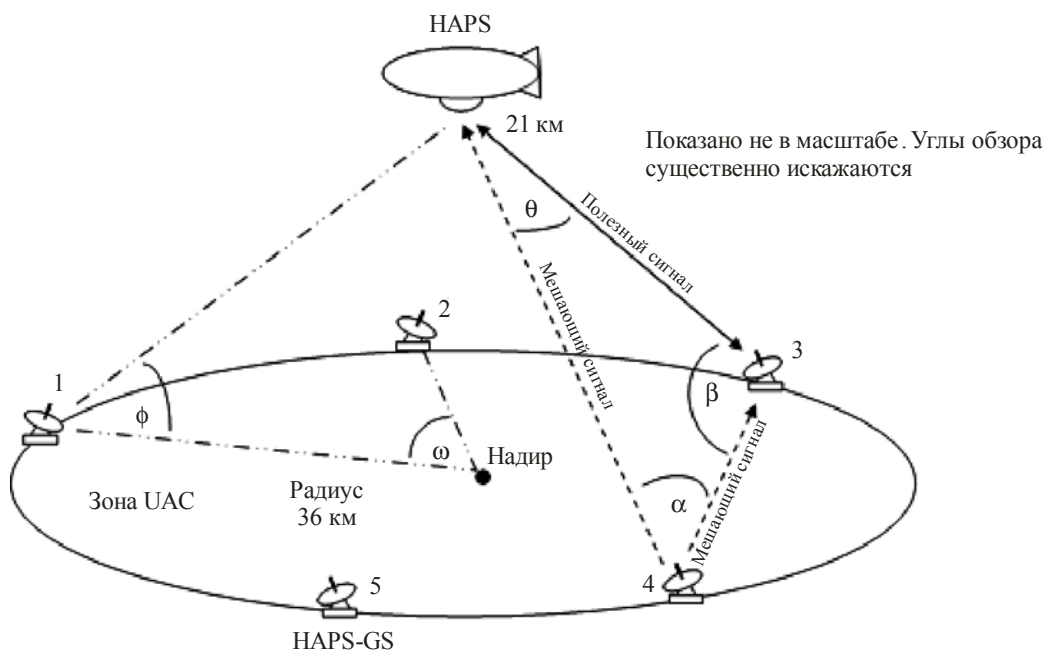


ТАБЛИЦА 1

## Характеристики передатчика платформы HAPS

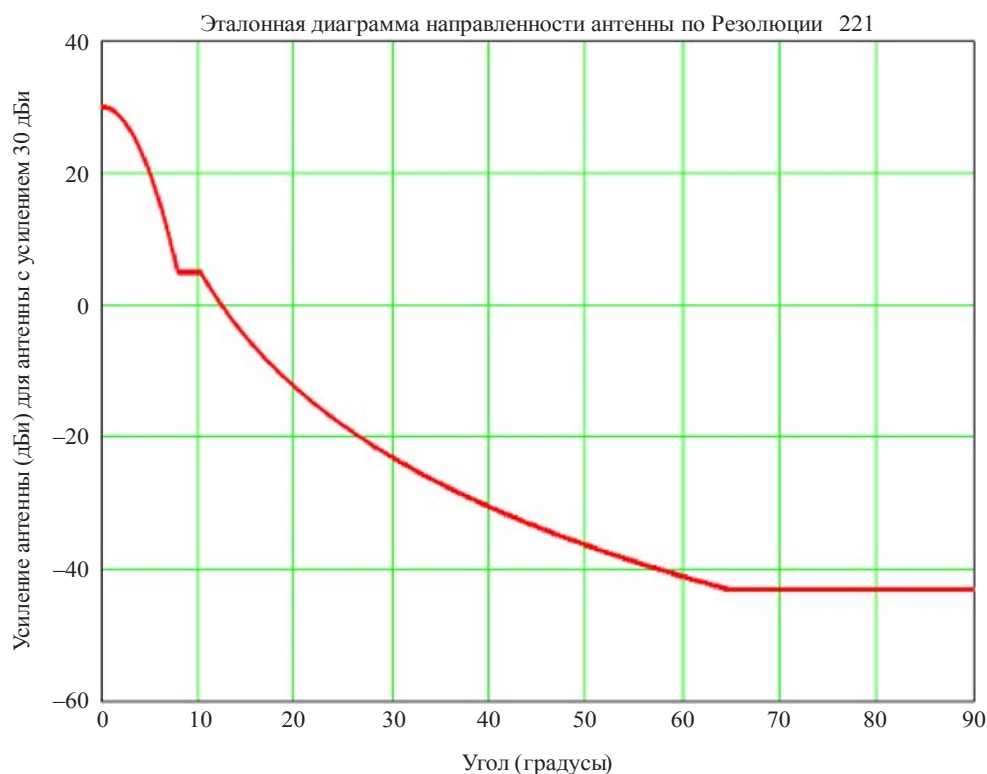
Параметр	Обозначение	Значение
Частота (ГГц)	$f_{GHz}$	6,5
Мощность передатчика (дБВт)		-22
Ширина полосы (МГц)		11
Плотность передаваемой мощности (дБВт/МГц)	$P_t$	-32,4
Потери в фидере передатчика (дБ)		4,1
Максимальное усиление антенны (дБи)	$G_{max}$	30
Ширина главного лепестка по уровню 3 дБ (градусы)		5,2
Эталонная диаграмма направленности антенны при отклонении на $\beta_h$ градусов от максимума (дБи)	$G_h(\beta_h)$	Резолюция 221 (Пересм. ВКР-07)
Высота платформы HAPS (км)	$A_h$	21,0

В данном исследовании рассматривается следующая антенна HAPS.

Антенная решетка по Резолюции 221 (Пересм. ВКР-07): это диаграмма направленности антенны, которая указывается в Резолюции 221 (Пересм. ВКР-07). Уровень боковых лепестков здесь примерно на 25 дБ ниже, чем усиление главного лепестка в 30 дБи. Усиление для углов, повернутых более чем на  $63^\circ$  от оси главного лепестка, составляет -43 дБи, как показано на рисунке 2. Рабочая модель антенны, соответствующая данной диаграмме, не выпускалась и не демонстрировалась.

РИСУНОК 2

## Диаграмма направленности антенны по Резолюции 221 с максимальным усилением 30 дБи



Характеристики, допустимые для приемника ФС, приведены в таблице 2. Данные значения соответствуют значениям, указанным в Рекомендации МСЭ-R F.758.

ТАБЛИЦА 2  
Параметры ФС

Параметр	Обозначение	Значение
Частота (ГГц)	$f_{GHz}$	6,5
Максимальное усиление антенны (дБи)	$G_{rmax}$	45,0
Усиление по эталонной диаграмме направленности антенны при отклонении на $\beta_r$ градусов от максимума (дБи)	$G_r(\beta_r)$	Рекомендация МСЭ-R F.699
Высота антенны (км)	$A_f$	0,060
Угол возвышения антенны (градусы)	$\alpha$	0,0
Потери в фидере (дБ)	$L_f$	3,0
Шумовая температура приемника (Кельвин)	$T_{eff}$	725
Эталонная ширина полосы (МГц)	$B$	1,0
Минимальный уровень шума приемника (дБВт/МГц)	$N_T$	-140,0

Мощность сигнала помехи в приемнике фиксированной службы определяется из следующего выражения:

$$I_r = P_t + G_h(\beta_h) + G_r(\beta_r) - L_b - L_f, \quad (1)$$

где все члены определены в таблицах 1 и 2, кроме  $L_b$ , потерь при распространении. Потери при распространении определяются как

$$L_b = 92,4 + 20 \log(f_{GHz}) + 20 \log(d_{km}), \quad (2)$$

где  $d_{km}$  – длина трассы распространения в километрах от передатчика платформы HAPS до приемной антенны ФС.

Предполагается, что мощность помехи распространяется по прямолинейной траектории в пределах плоскости большого круга, определяемой расположением передатчика HAPS, приемника ФС и центром Земли, причем считается, что радиус Земли (8504 км) больше фактического значения (6378 км) в 4/3 раза. Это позволяет учесть влияние атмосферной рефракции. В данном исследовании коэффициент  $I/N$  представляет собой разницу между значением мощности помехи  $I_r$  из выражения (1) и мощности шума  $N_T$ , данной в таблице 2. Оба значения указываются в дБВт/МГц.

### 3 Критерии помех

Прежде чем обсуждать методы моделирования, необходимо определить соответствующие критерии помех, которые будут применяться в ситуации совместного использования частот. Считается, что каждая администрация сама выбирает критерии помех, используемые фиксированной службой. В Регламенте радиосвязи HAPS рассматривается как приложение в рамках фиксированной службы, однако неясно, как администрации должны выбирать станцию HAPS для ее изучения. В целях обсуждения передающая станция HAPS будет рассматриваться здесь, как любая другая передающая станция ФС.

В настоящее время не существует договоренности о допустимом уровне помех от HAPS. Исходя из того, что система HAPS входит в среду, активно задействованную ФС и уже совместно используемую с ФСС, любой новой системе HAPS, если это разрешено согласно п. 4.15А Регламента радиосвязи, будет позволено увеличить помехи лишь на определенный шаг. Предполагая допуск в 20% для общего вклада помех от всех источников в уровень суммарного шума, 10% этого допуска можно отнести на помехи от HAPS. Это приведет к тому, что критерий  $I/N$  составит около  $-17$  дБ для систем HAPS.

Администрации могут выбирать другие допуски и распределения, но диапазон значений  $I/N$  между  $-10$  и  $-20$  дБ будет, по-видимому, представлять наибольший интерес. Этому диапазону будет уделено наибольшее внимание в следующих разработках. Чтобы учесть все возможные случаи, результаты были рассчитаны для всех коэффициентов  $I/N$  от 0 до  $-20$  дБ.

#### 4 Описание и применение методики $I/N$

Отношение  $I/N$  в приемнике ФС при использовании параметров, определенных в таблицах 1 и 2, будет зависеть от его расположения в схеме на рисунке 1 и от азимута оси главного лепестка его антенны. В данном разделе рассматривается случай, когда платформа HAPS ведет передачу только на одну станцию сопряжения на земной поверхности. Все географические места расположения определяются их расстоянием по дуге большого круга от точки на поверхности Земли, которая находится непосредственно под платформой HAPS. В терминологии HAPS точка на земной поверхности непосредственно под платформой HAPS часто описывается как надир HAPS. В данном Приложении эта точка будет обозначаться как точка под платформой HAPS (SPP). Другая координата, необходимая для определения географического местоположения, – это азимутальный угол трассы по дуге большого круга от SPP до конкретной точки. Этот угол измеряется в точке SPP HAPS в направлении против часовой стрелки от азимута до станции сопряжения.

Метод, описываемый в этом разделе, предназначен для определения местоположений, в которых заданный уровень  $I/N$  будет превышен для азимутов двух крайних направлений антенны ФС в каждом месте. В одном случае азимут приемной антенны ФС ориентирован вдоль большого круга по направлению к точке SPP HAPS. В другом – азимут приемной антенны ФС развернут на  $180^\circ$  от направления к точке SPP HAPS. Зоны, где заданное отношение  $I/N$  будет превышено для случая, когда антенна ФС направлена к точке SPP, будут называться зоной координации, поскольку потребуется процедура координации частот, для того чтобы определить, превышено ли отношение  $I/N$  для конкретного приемника. Географический район, если таковой имеется, где отношение  $I/N$  будет превышено для случая, когда антенна ФС направлена от точки SPP, будет называться запретной зоной; в этой зоне отсутствует угол наведения, для которого не было бы превышено отношение  $I/N$ . В данном Приложении запретная зона является характерной для параметров модели и для значения  $I/N$ , выбранного в качестве критерия помех.

Радиальная протяженность зоны координации или запретной зоны определяется пошаговым движением по дуге большого круга от точки SPP HAPS и проверкой для каждого шага, не достигнут ли край географического района для конкретного отношения  $I/N$ . Этот расчет выявляет следующие друг за другом зоны для каждого азимута, где превышает пороговое значение отношения  $I/N$ . Все элементарные зоны с одинаковым показателем рассматриваются как часть одного составного географического района.

На рисунке 3 показаны результаты подобных расчетов для порога  $I/N$  в  $-20$  дБ при применении антенной решетки HAPS, передающей сигнал на станцию сопряжения, расположенную в 36 км от точки SPP, и при использовании параметров из таблиц 1 и 2. (Характеристические значения из таблиц 1 и 2 используются для всех последующих расчетов, если не указано иное). Порог  $I/N$  в  $-20$  дБ выбран для рисунка 3 и следующих рисунков, чтобы проиллюстрировать случаи, в которых существуют запретные зоны. Для этого случая зона координации указывается пунктирной линией, а запретная зона – сплошной. Эти зоны окружают место расположения станции сопряжения и следовательно должны возникать из-за влияния усиления главного лепестка антенной решетки HAPS на боковые лепестки антенны ФС. Так как диаграмма направленности антенной решетки HAPS быстро спадает при изменении угла относительно оси главного лепестка, для данного случая

отсутствует зона, обусловленная влиянием энергии боковых лепестков HAPS на главный лепесток приемной антенны ФС.

Вместо графиков для других отношений  $I/N$  в таблице 3 отображены результаты для различных порогов  $I/N$  путем сведения в таблицу зон координации и запретных зон для каждого отношения  $I/N$ . Для данного примера все записки в колонке зоны 2 равны нулю. Это означает, что здесь имеется только одна зона координации. Записи в колонке для зоны 2 равны нулю, а записи для зоны координации такие же, как для зоны 1.

Стоит отметить, что в случаях когда зона 2 равна нулю, зона 1 является смежным географическим районом. Когда зона 2 не равняется нулю, различные компоненты зоны 1 могут быть несмежными. Этот результат обсуждается далее в разделе 6 данного Приложения.

Когда вблизи станции сопряжения находится географический район, где главный лепесток антенны HAPS вносит достаточное количество энергии в боковые лепестки антенны ФС, чтобы превысить порог  $I/N$ , может образоваться запретная зона. Запретная зона всегда окружена зоной координации. Для каждого значения  $I/N$  не может существовать более одной запретной зоны на станцию сопряжения. Таким образом, для всех случаев, рассматриваемых в данном разделе, существует лишь одна запретная зона.

Согласно таблице 3, зона координации и запретная зона постепенно уменьшаются с увеличением  $I/N$ . Запретная зона исчезает при пороге  $I/N$   $-19$  дБ или больше, а зона координации исчезает при значении  $I/N$ , равном  $-14$  дБ или больше.

РИСУНОК 3

**Районы координации и запретные районы при использовании антенной решетки**  
Станция сопряжения находится на расстоянии 36 км от точки под платформой HAPS,  $I/N = -20$  дБ

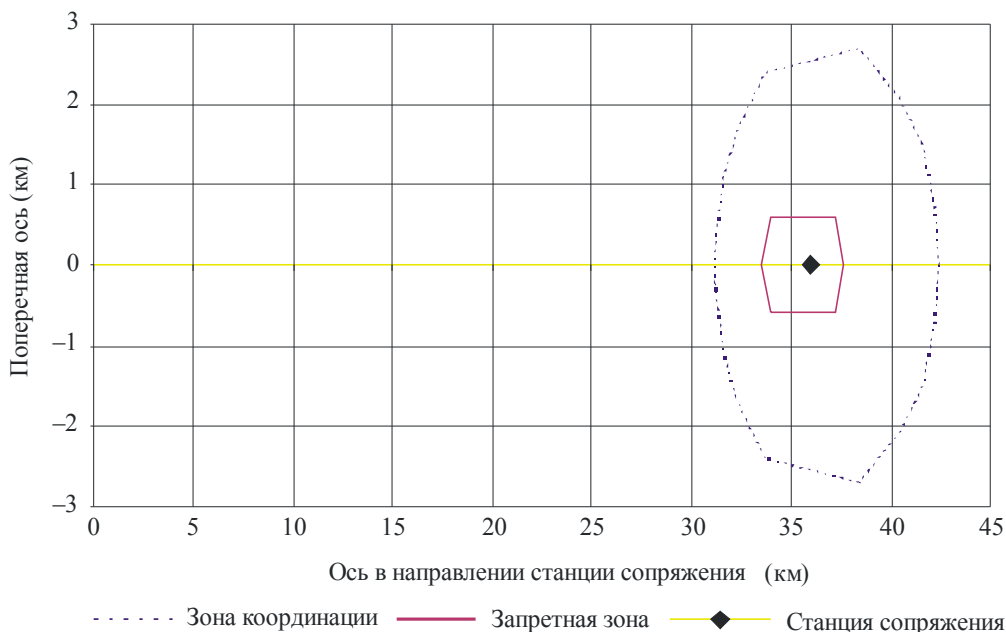




ТАБЛИЦА 3

**Зоны координации и запретные зоны при использовании антенной решетки, когда станция сопряжения находится на расстоянии 36 км от точки SPP**

<i>I/N</i>	Зона 1 (км <sup>2</sup> )	Зона 2 (км <sup>2</sup> )	Общая зона координации (км <sup>2</sup> )	Запретная зона (км <sup>2</sup> )
-20	50,4	0	50,4	6,6
-19	40,2	0	40,2	0
-18	32,9	0	32,9	0
-17	24,3	0	24,3	0
-16	16	0	16	0
-15	6,9	0	6,9	0
-14	0	0	0	0

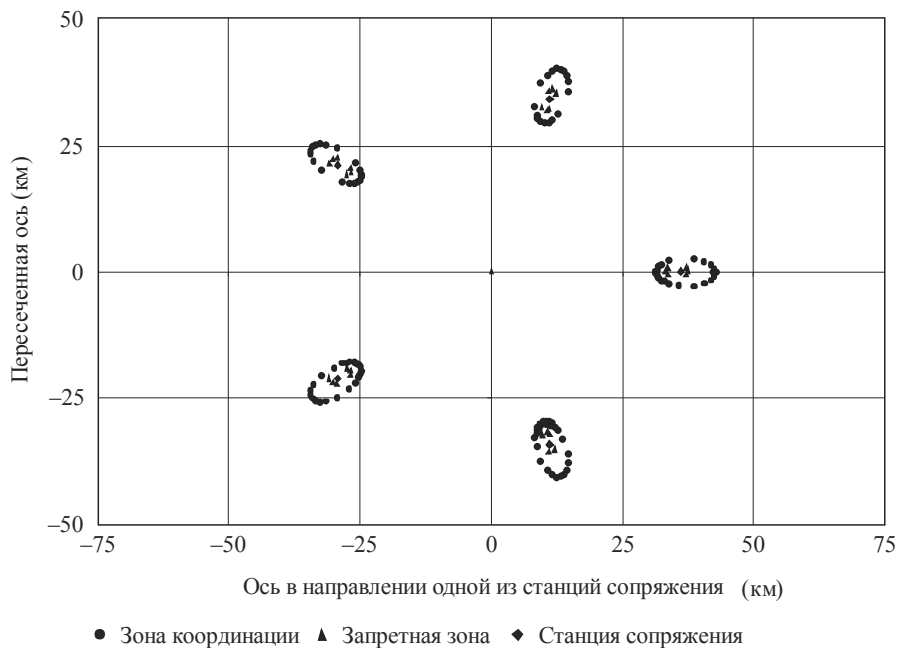
## 5 Суммарная помеха от платформ HAPS на приемники линии связи "точка-точка" ФС

В данном разделе рассматривается влияние передатчиков платформы HAPS, работающих со множеством станций сопряжения. Рисунок 4 показывает зоны координации и запретные зоны для *I/N*, равного -20 дБ, в случае когда пять станций сопряжения расположены на равном расстоянии в 36 км от точки надира HAPS. В таблице 4 показаны зоны координации и запретные зоны для этого случая. Понятно, что из-за слабого усиления этой антенны в секторах дальних боковых лепестков не появятся новые зоны, вызванные агрегацией мощности, передаваемой пяти наземным станциям сопряжения. Очевидно это соответствует случаю для *I/N*, равного -20 дБ, и, вследствие этого, – случаю для более положительных значений *I/N*. Данный результат обусловлен быстрым спадом усиления антенны при увеличении внеосевого угла, что является характерной особенностью антенной решетки по Резолюции 221 (Пересм. ВКР-07).

Каждая из отдельных зон координации и запретных зон на рисунке 4 практически идентична такой же зоне на рисунке 3. Данные зоны в таблице 4 – это просто значения из таблицы 3, умноженные на 5.

РИСУНОК 4

Районы координации и запретные зоны при использовании антенных решеток для связи с пятью станциями сопряжения,  $I/N = -20$  дБ



F.5-1006-04

ТАБЛИЦА 4

Зоны координации и запретные зоны при использовании антенной решетки для связи с пятью станциями сопряжения на расстоянии 36 км от точки SPP

$I/N$	Зона 1 (км <sup>2</sup> )	Зона 2 (км <sup>2</sup> )	Общая зона координации (км <sup>2</sup> )	Запретная зона (км <sup>2</sup> )
-20	251,8	0	251,8	33,2
-19	201,1	0	201,1	0
-18	163,8	0	163,8	0
-17	120,8	0	120,8	0
-16	80,1	0	80,1	0
-15	34,7	0	34,7	0
-14	0	0	0	0

## 6 Рассмотрение угла места ФС и расстояния станций сопряжения от точки SPP

Во всех предыдущих примерах угол места антенны ФС считался равным нулю. Углы места до 5 градусов не оказывают влияния на зоны координации и запретные зоны при применении антенной решетки по Резолюции 221. Они остаются такими же, как на рисунках 3 и 4 и в таблицах 3 и 4. Случаи, когда использование данной антенны могло создать дополнительные районы, в которых помехи в приемнике ФС превысили бы пороговое значение, включают либо работу при больших углах места ФС, либо увеличенные расстояния для станция сопряжения в дополнение к ненулевым углам места ФС. На рисунке 5 показаны зоны координации и запретные зоны, которые получились бы при угле места в 3 градуса, если отдельная станция сопряжения находилась бы на расстоянии 76 км от точки SPP HAPS. Подобный вариант работы потребовал бы увеличения передаваемой мощности, чтобы поддерживать энергетический запас на линии связи.

Чтобы облегчить обсуждение, будет полезно обозначить зоны, в которых  $I/N$  превышает пороговое значение из-за взаимодействия между главным лепестком (ML) антенны HAPS и боковыми лепестками (SL) антенны ФС, как ML–SL зоны; а зоны, в которых  $I/N$  превышает пороговое значение из-за взаимодействия между боковыми лепестками антенны HAPS и главным лепестком антенны ФС, как зоны SL–ML. Географический район ML–SL идентифицируется только как зона 1 под углом азимута относительно точки SPP, где зона 2 не существует (нет зоны).

Зоны SL–ML обладают несколькими важными характеристиками. Одна из них заключается в том, что они склонны быть очень большими, когда они действительно существуют, как это можно видеть из данных по общей зоне координации в таблице 5. Другая характеристика заключается в том, что зоны SL–ML появляются на расстояниях от точки SPP HAPS, которые выходят за пределы расстояния до станции сопряжения и, возможно, за пределы линии прямой видимости. На азимутах от точки SPP HAPS, которые проходят вблизи станции сопряжения, будут отношения  $I/N$ , которые определяют как зону 1, так и зону 2. Таким образом, только часть крупного географического района на рисунке 5, которая перекрывается географическим районом ML–SL, появится в зоне 2. Оставшаяся часть зоны крупного географического района будет объединена с зоной географического района ML–SL в зоне 1.

Входные параметры, используемые при построении рисунка 5 и таблицы 5, не создают очень большую зону координации SL–ML. Однако зона координации, которую они создают, не исчезнет, пока порог  $I/N$  не станет равным  $-2$  дБ и больше.

РИСУНОК 5

**Районы координации и запретные районы при использовании антенных решеток для связи со станцией сопряжения на расстоянии 76 км от точки надира,  $P_t = -26,4$  дБВт/МГц,  $G_{max} = 30$  дБи, угол места антенны ФС = 3 градуса,  $I/N = -20$  дБ**

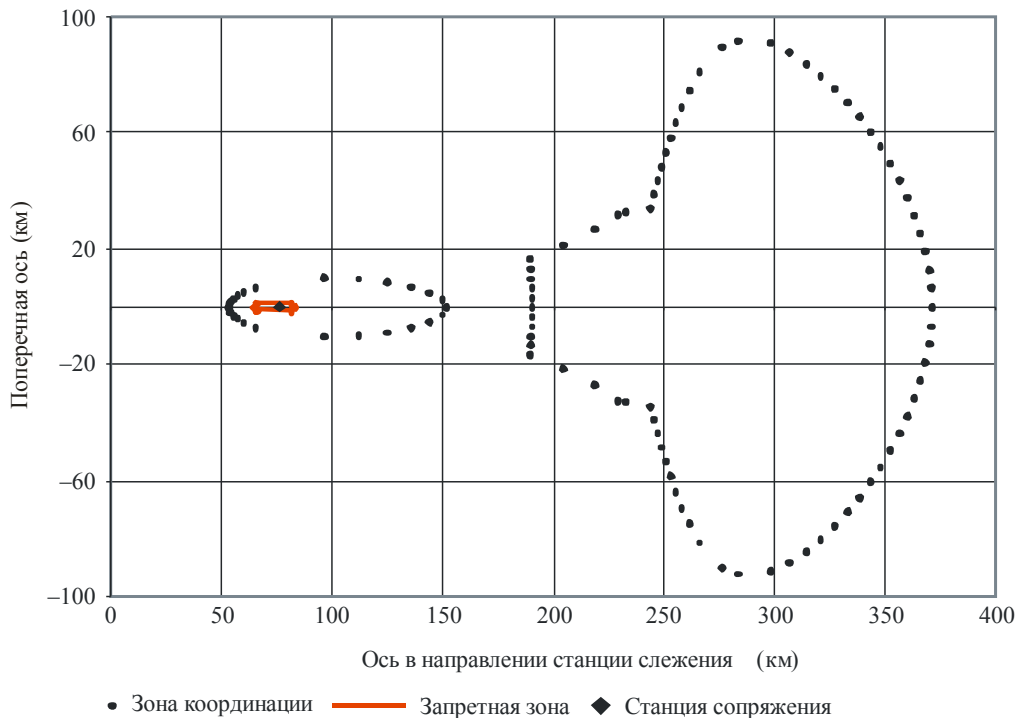


ТАБЛИЦА 5

Зоны координации и запретные зоны при использовании антенных решеток для связи с единственной станцией сопряжения на расстоянии 76 км от точки SPP,  $P_t = -24,4$  дБВт/МГц,  $G_{max} = 34$  дБи и угол места антенны  $\Phi_C = 3$  градуса

<i>I/N</i>	Зона 1 (км <sup>2</sup> )	Зона 2 (км <sup>2</sup> )	Общая зона совместимости (км <sup>2</sup> )	Запретная зона (км <sup>2</sup> )
-20	9 931,6	12 256	22 187,7	63,1
-19	8 593,9	11 572,6	20 166,6	23,6
-18	8 539,7	8 527,3	18 226,3	0
-17	8 544,9	6 685,9	16 387,3	0
-16	7 475,1	6 038,6	14 661,8	0
-15	6 454,2	2 532,3	13 027,4	0
-14	5 475,5	5 879,1	11 354,6	0
-13	5 445,1	4 640,2	10 085,3	0
-12	4 614,8	4 376,5	8 991,3	0
-11	3 804	4 100,1	7 904,1	0
-10	3 007	3 809,5	6 816,5	0
-9	2 963,3	2 791,6	5 754,8	0
-8	2 203,8	2 535	4 738,8	0
-7	2 074,4	1 655,8	3 730,2	0
-6	1 367,8	1 437,1	2 804,9	0
-5	1 169,2	733,4	1 902,6	0
-4	881,3	187,9	1 069,2	0
-3	255,7	0	255,7	0
-2	0	0	0	0