

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SF.1719

**Совместное использование частот фиксированной службой для связи пункта с пунктом и пункта со множеством пунктов и передающими земными станциями систем ГСО и НГСО ФСС в полосе 27,5–29,5 ГГц**

(Вопросы МСЭ-R 237-2/4 и МСЭ-R 206-2/9)

(2005)

**Сфера применения**

Как описано в заголовке, в этой рекомендации рассматривается вопрос совместного использования частот. В приложении предоставляются различные методологии анализа помех для поддержки части *рекомендует*, чтобы администрации избегали развертывания в одной и той же географической области приемных станций ФС и большого числа передающих земных станций ФСС с перекрывающимися частотами в полосе 27,5–29,5 ГГц.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что полоса 27,5–29,5 ГГц распределена как фиксированной службе, так и ФСС (Земля–космос), а также подвижной службе на первичной основе согласно Регламенту радиосвязи (РР);
- b) что использование полосы 28,6–29,1 ГГц системами ФСС определяется положениями п. 5.523А РР;
- c) что работу отдельных земных станций ФСС можно координировать в пределах всей полосы 27,5–29,5 ГГц;
- d) что некоторые системы ФСС предназначены для развертывания небольшого числа земных станций с большими антеннами на основе координации;
- e) что в применениях ФСС высокой плотности (HDFSS) используется большое число повсеместно развертываемых терминалов пользователей с малой апертурой;
- f) что обычные методы координации такого большого числа повсеместно развертываемых земных станций могут создавать большую нагрузку на администрации;
- g) что администрации, стремящиеся избежать возможных помех между земными станциями ФСС, указанными в пункте f) раздела *учитывая*, и станциями фиксированной службы могут использовать некоторый вид сегментации полосы на всей своей территории или на географической основе,

*признавая,*

что независимо от сегментации полосы в пределах администрации все же требуется координация на основе РР с другими администрациями,

*рекомендует,*

что с учетом результатов исследований, приведенных в Приложении 1, следует избегать развертывания в одной и той же географической зоне приемных станций фиксированной службы и большого числа передающих земных станций ФСС с перекрывающимися частотами в пределах полосы 27,5–29,5 ГГц.

## Приложение 1

### Совместное использование частот фиксированной службой для связи пункта с пунктом (P-P) и пункта со множеством пунктов (P-MP) и передающими земными станциями сетей ГСО и НГСО ФСС в полосе 27,5–29,5 ГГц

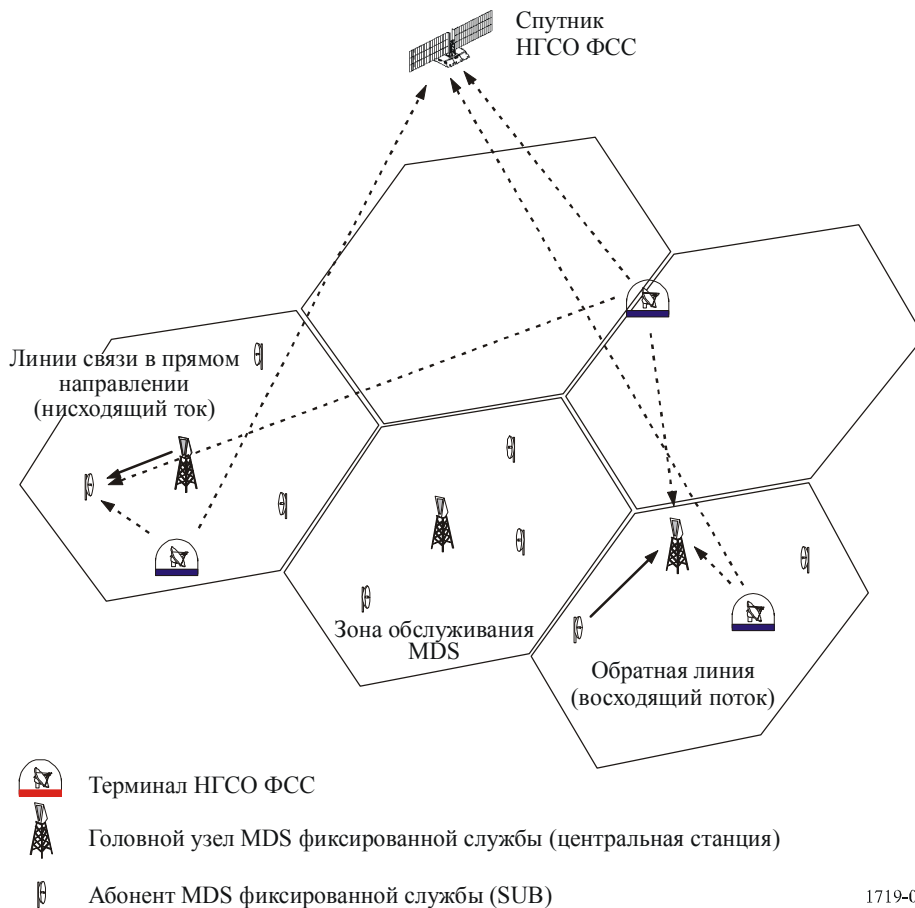
#### 1 Введение

Полосы частот для применения системами ГСО и НГСО ФСС были распределены и установлены в диапазоне 28 ГГц для совместного использования на первичной основе с фиксированной службой. ВКР-95 и ВКР-97 облегчили использование полос 18,8–19,3 ГГц и 28,6–29,1 ГГц для систем НГСО ФСС в рамках распределений для ФСС. В этом Приложении рассмотрены помехи приемникам фиксированной службы от ГСО и НГСО земных станций ФСС, ведущих передачи в полосе 27,5–29,5 ГГц.

Работа на совпадающих частотах многопунктовых распределительных систем (MDS) (например, локальных систем многопунктовой связи (P-MP)/распределительных систем (LMCS/LMDS)) или систем связи P-P фиксированной службы и земных станций ФСС (Земля–космос) в одной и той же географической зоне приводит к трудностям и резко ограничивает развитие службы обоих типов. Любые приемники системы фиксированной службы могут испытывать долговременные и существенные кратковременные помехи от линий вверх ФСС, как показано на рисунке 1. Серьезность таких помех зависит от разнесения терминалов, препятствий на местности и искусственных препятствий, избирательности антенн, выходной мощности земных станций ФСС и допустимых помех для систем фиксированной службы.

РИСУНОК 1

Условия совместного использования полос частот ФСС/фиксированной службой



В этом Приложении приведено описание и результаты двух анализов. Один из них основан на детерминированном подходе, а второй – на статистическом подходе.

## 2 Описание системы MDS

Общее описание системы MDS было разработано с использованием параметров, отвечающих Рекомендации МСЭ-R F.758. Применимость этих параметров для полосы 27,5–29,5 ГГц была подтверждена существующими изготовителями и операторами оборудования MDS. Характеристики типового РЧ приемника согласно Рекомендации МСЭ-R F.758, которые были использованы в детерминированном анализе, приведены в таблице 1 для пяти центральных станций и четырех станций абонентов.

Сеть MDS состоит из одной или нескольких центральных станций, обслуживающих множество станций абонентов. Абоненты подключаются к одной из центральных станций, исходя из близости к этой станции. На центральных станциях используется всенаправленная или секторная антенна, а станции абонентов обычно используют зеркальную антенну с намного большим усилением. Длина линий обслуживания обычно составляет около 5 км. В зависимости от методов модуляции и доступа центральная станция потенциально может обслуживать большое число пользователей.

Характеристики линий фиксированной службы также приведены в Рекомендации МСЭ-R F.758, и изготовители подтвердили их применимость для полосы 27,5–29,5 ГГц. Усиление антенны для линий связи Р-Р в фиксированной службе обычно выше, чем для MDS, и может достигать 46 дБи.

ТАБЛИЦА 1

Общее описание приемника системы MDS

| Параметр                            | Системы центральных станций (hub) |                   |                   |                  |                  |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|
|                                     | HUB 1                             | HUB 2             | HUB 3             | HUB 4            | HUB 5            |
| <i>Приемник центральной станции</i> |                                   |                   |                   |                  |                  |
| Усиление приема (дБи)               | 20<br>(90° сектор)                | 15<br>(90° × 15°) | 15<br>(90° × 15°) | 24<br>(45° × 3°) | 24<br>(45° × 3°) |
| Ширина полосы по ПЧ (МГц)           | 16,4                              | 1,36              | 2,50              | 1,36             | 2,50             |
| Коэффициент шума приемника (дБ)     | 10                                | 7,5               | 7,5               | 7,5              | 7,5              |
| Мощность шума (дБВт)                | -121,8                            | -135,1            | -132,5            | -135,1           | -132,5           |
| Долговременные помехи (дБВт)        | -131,8                            | -144,3            | -141,6            | -144,3           | -141,6           |
|                                     | Системы абонентов                 |                   |                   |                  |                  |
| <i>Приемник абонента</i>            | SUB A                             | SUB B             | SUB C             | SUB D            |                  |
| Усиление приема (дБи)               | 47                                | 36                | 36                | 36               |                  |
| Ширина полосы по ПЧ (МГц)           | 16,4                              | 40                | 1,36              | 50               |                  |
| Коэффициент шума приемника (дБ)     | 8                                 | 7                 | 7                 | 7                |                  |
| Мощность шума (дБВт)                | -123,8                            | -121,0            | -135,6            | -120,0           |                  |
| Долговременные помехи (дБВт)        | -133,8                            | -130,1            | -144,8            | -129,1           |                  |

## 3 Описание линии вверх ФСС

Прежние исследования координационных расстояний и требуемых расстояний разнесения между станциями фиксированной службы и земными станциями ФСС показали, что получаются близкие результаты независимо от того, осуществляет ли земная станция ФСС связь с ГСО или НГСО спутниками. В данных анализах изучались как земные станции НГСО ФСС, так и земные станции ГСО ФСС.

### 3.1 Общие системы НГСО ФСС

Был предложен ряд различных систем НГСО ФСС с разнообразием характеристик линии вверх. В таблице 2 приведена краткая сводка нескольких параметров линии вверх НГСО, которые полезны для оценки возможных помех приемникам MDS. Для системы LEOSAT-1 задана мощность передачи в условиях ясного неба в  $-0,7$  дБВт на  $3,1$  МГц. Дальний боковой лепесток для малой антенны диаметром  $0,3$  м будет иметь уровень излучения  $-3,8$  дБи. Если использовать антенны ФСС с улучшенными характеристиками уровней излучения боковых лепестков, то расстояние сокращается. Для одной линии вверх системы USAMEO-1 мощность при ясном небе составляет около  $11,3$  дБВт на  $2,8$  МГц для антенны диаметром  $90$  см. Согласно Рекомендации МСЭ-R S.465, уровень дальнего бокового лепестка составит  $-9,6$  дБи.

ТАБЛИЦА 2

#### Примеры параметров линии вверх для системы НГСО ФСС

| Система          | Усиление<br>(дБи) | Ширина полосы<br>(МГц) | Плотность э.и.м.<br>(дБ(Вт/Гц)) |
|------------------|-------------------|------------------------|---------------------------------|
| USAMEO-4         | 41,9              | 1,445                  | -21,4                           |
| USAMEO-1 (65 см) | 44,16             | 0,562                  | -6,06                           |
| USAMEO-1 (90 см) | 46,98             | 2,812                  | -6,25                           |
| USAMEO-3 (32 см) | 38,8              | 2,628                  | -26,90                          |
| USAMEO-3 (52 см) | 44,0              | 13,142                 | -26,89                          |
| USAMEO-2 KSL     | 55,2              | 250,0                  | -17,27                          |
| LEOSAT-2 DTH     | 35,6              | 4,244                  | -33,08                          |
| LEOSAT-2 LB      | 48,4              | 97,421                 | -31,39                          |
| LEOSAT-2 SB      | 45,9              | 20,31                  | -33,28                          |
| USAKA-L1 FWD     | 56,0              | 22,6                   | -21,31                          |
| USAKA-L1 RTN     | 39,8              | 2,93                   | -26,15                          |
| LEOSAT-1 TST     | 35,2              | 3,1                    | -30,41                          |

### 4 Анализ для систем НГСО ФСС и систем связи Р-МР фиксированной службы

Любая передающая земная станция ФСС может вносить свой вклад в уровень кратковременных и долговременных помех центральной станции и станциям абонентов MDS.

#### 4.1 Детерминированный анализ

Расстояния разнесения, требуемые для предотвращения вредных помех между передатчиком земной станции ФСС и приемником фиксированной службы, можно рассчитать с использованием упрощенной процедуры уравнивания линии, описанной в Дополнении 1 к этому Приложению. Расчет проводится в предположении механизма распространения по линии прямой видимости в условиях ясного неба и дополнительных потерь при передаче за счет дифракции на сферической Земле для загоризонтных трасс. Ослабление за счет дождей не учитывалось. Преимущества при затенении рельефом местности и дополнительной избирательности антенны терминалов фиксированной службы (в связи с разными углами места) не включены в анализ, поскольку влияние этих факторов нельзя гарантировать при любом сценарии. Хотя такое влияние может приводить к снижению помех, будет проявляться тенденция к их компенсации тремя другими факторами, которые при подробном анализе приводят к увеличению помех:

- в данном анализе сделано консервативное допущение, что передающая антенна земной станции ФСС создает помехи только за счет задних лепестков, хотя при фактической реализации иногда антенна земной станции направлена ближе к главному лепестку антенны приемника фиксированной службы, но в течение короткого периода времени в связи с характером работы системы ФСС;
- в данном анализе предполагается, что активен только один канал передачи ФСС, хотя на практике может быть несколько каналов ФСС, передающих в полосе пропускания приемника фиксированной службы; и
- в одном и том же месте может размещаться несколько земных станций, которые работают на совпадающей частоте одновременно с разными спутниками ФСС одной и той же сети и/или нескольких сетей.

С помощью повторения расчета расстояния разнесения для азимутальных углов приемников фиксированной службы от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  получается двумерный контур, известный как "зона разнесения". Эти зоны разнесения соответствуют районам вокруг приемника фиксированной службы, в которых работу земных станций ФСС следует исключить для обеспечения должной работы приемников фиксированной службы.

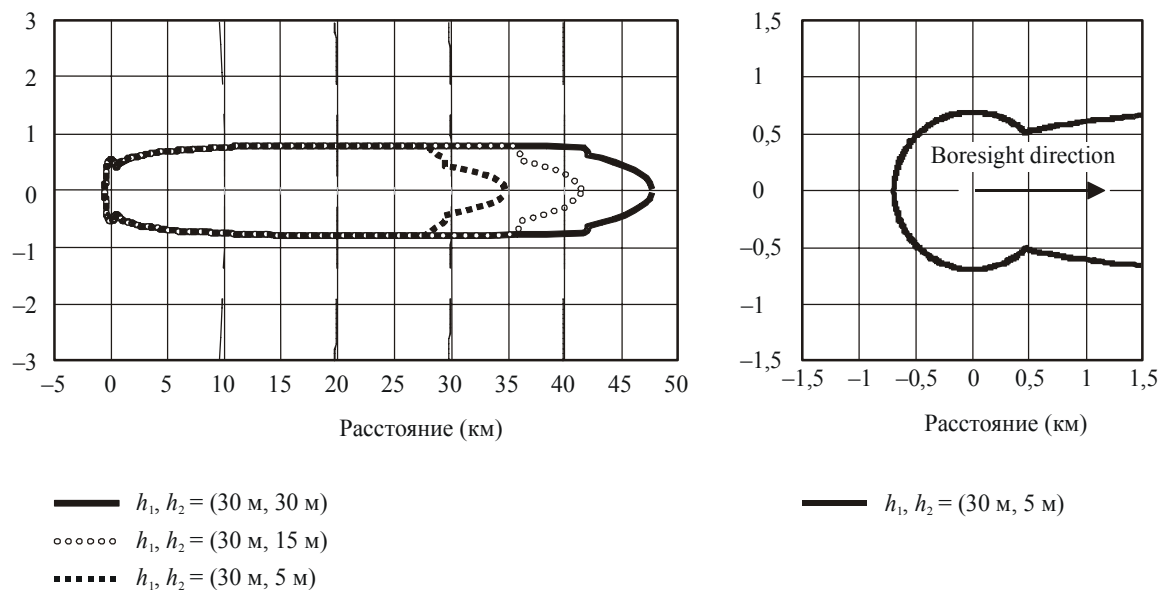
#### 4.1.1 Возможные помехи от систем НГСО ФСС

Для начальной оценки возможных помех от земных станций НГСО ФСС используют уровни излучения дальних боковых лепестков (задних лепестков). Это дает самый нижний уровень помех при отсутствии препятствий в зависимости от относительной ориентации. Хотя уровни помех могут периодически повышаться в зависимости от положения обслуживающего спутника, можно ожидать, что чаще всего возникают помехи от дальних боковых лепестков.

На рисунке 2 приведен пример зоны разнесения для земной станции НГСО ФСС вокруг станции абонента MDS (SUB A) на основе характеристик линии вверх системы LEOSAT-1. Максимальное требуемое расстояние разнесения (для главного лепестка приема) меняется от 35 до 50 км, причем большее значение соответствует высотам антенн и станции абонента, и земной станции в 30 м без учета затенения рельефом местности и зданиями. Это, очевидно, отвечает сценарию наихудшего случая, но в ситуациях затенения мешающего сигнала рельефом и зданиями эти расстояния намного сокращаются; разнесение дальнего бокового лепестка от дальнего бокового лепестка составляет 700 м. Эта зона основывается на мощности помех с перекрытием 19% полосы пропускания приемника SUB A (= 3,1/16,4 МГц). Расстояния разнесения, рассчитанные для четырех различных станций абонента, привели в результате к установлению границы главного лепестка между 29 и 47 км с максимумом для SUB A (самое высокое усиление приема). Расстояния разнесения для заднего лепестка меняются от 0,7 до 2,0 км с максимумом для SUB C (самая малая полоса пропускания). В таблице 3 приведена сводка рассчитанных расстояний разнесения для LEOSAT-1 и различных станций абонента.

РИСУНОК 2

Пример зоны разнесения для LEOSAT-1 вокруг станции абонента (SUB 1)



Условия: ясное небо  
 Критерий:  $-10 \text{ дБ } I/N$   
 Мощность земной станции НГСО:  $-0,7 \text{ дБВт}$   
 Усиление земной станции НГСО:  $35,2 \text{ дБи}$

1719-02

ТАБЛИЦА 3

Расстояния разнесения терминала пользователя LEOSAT-1/станции абонента MDS

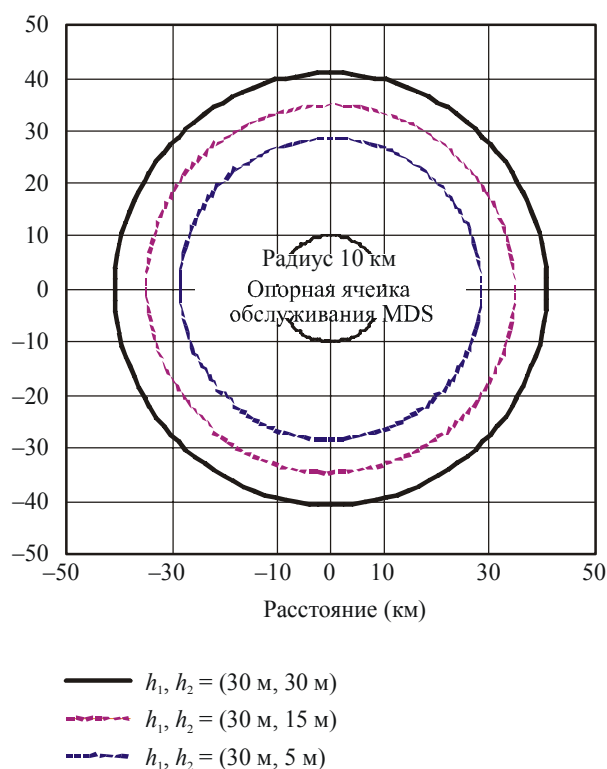
| Система MDS | Разнесение для главного лепестка <sup>(1)</sup><br>(км) | Разнесение для заднего лепестка<br>(км) |
|-------------|---|---|
| SUB A       | 34,01–46,39   | 0,71                                    |
| SUB B       | 29,21–41,52   | 0,87                                    |
| SUB C       | 31,67–44,00   | 2,04                                    |
| SUB D       | 28,90–41,20   | 0,78                                    |

<sup>(1)</sup> Интервал разнесения основан на сочетании высот станций (30 м, 5 м) и (30 м, 30 м).

Расстояния разнесения, рассчитанные для пяти различных центральных станций, показывают, что граница меняется в зависимости от типа центральной станции (HUB) между 15 км (HUB 1) до расстояния в интервале от 35 до 50 км (HUB 5), где большее значение соответствует высотам антенн центральной станции и земной станции в 30 м без учета какого-либо затенения рельефом и зданиями (наибольшее усиление приема, одинаковая ширина полосы с мешающим сигналом). Это большее значение расстояния в 50 км отвечает сценарию наихудшего случая. В таблице 4 приведена сводка рассчитанных расстояний разнесения между LEOSAT-1 и различными центральными станциями. На рисунке 3 приведен пример зоны разнесения LEOSAT-1 в отношении центральной станции (HUB 5). Разнесение между дальним лепестком терминала ФСС и главным лепестком центральной станции существенно больше, чем для самой типичной ячейки обслуживания MDS.

РИСУНОК 3

Пример зоны разнесения для LEOSAT-1 вокруг центральной станции (HUB 5)



Условия: ясное небо  
 Критерий:  $-9,1 \text{ дБ } I/N$   
 Мощность земной станции НГСО:  $-0,7 \text{ дБВт}$   
 Усиление земной станции НГСО:  $35,2 \text{ дБи}$

1719-03

ТАБЛИЦА 4

Расстояние разнесения терминала пользователя LEOSAT-1/центральной станции MDS

| Система MDS | Разнесение для главного лепестка <sup>(1)</sup><br>(км) |
|-------------|---|
| HUB 1       | 14,68   |
| HUB 2       | 15,11   |
| HUB 3       | 19,51   |
| HUB 4       | 27,60–34,42   |
| HUB 5       | 28,46–40,76   |

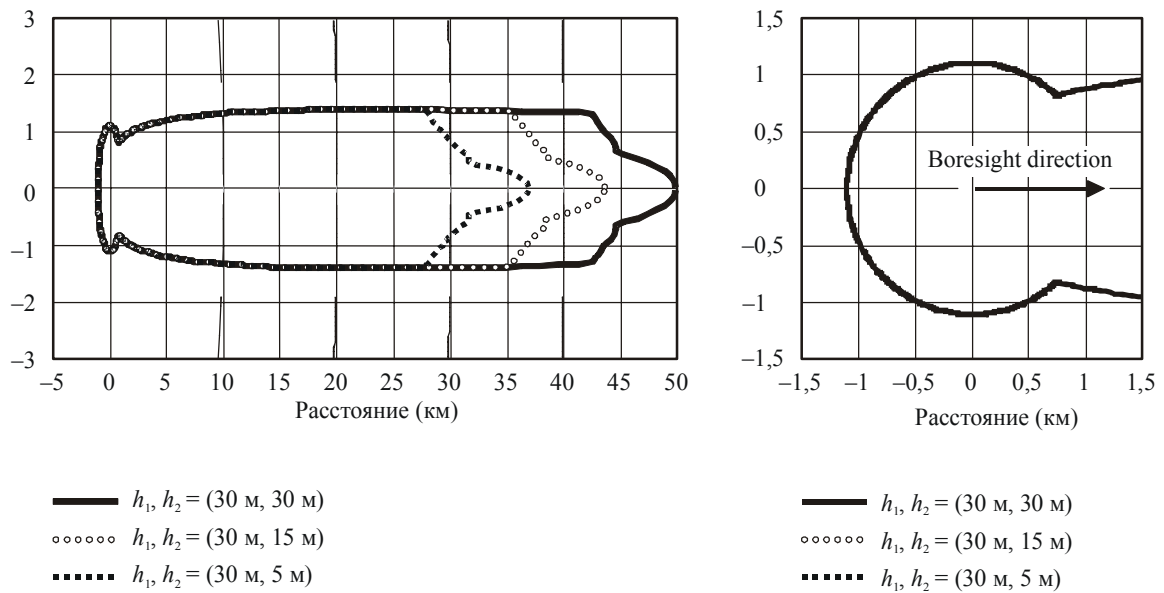
<sup>(1)</sup> Интервал разнесения основан на сочетании высот станций (30 м, 5 м) и (30 м, 30 м).

На рисунке 4 (SUB A) и на рисунке 5 (HUB 5) приведены соответственно примеры зон разнесения станций абонента и центральной станции для земной станции USAMEO-1 с диаметром антенны 90 см. Расстояния разнесения, рассчитанные для характеристик четырех станций абонентов, показали, что границы главного лепестка лежат в пределах от 31 до 49 км, где большее значение соответствует расстоянию для главного лепестка SUB A (наибольшее усиление приема) при высотах обеих антенн станции абонента и земной станции в 30 м без учета затенения рельефом местности и

зданиями. И опять же это, очевидно, соответствует сценарию наихудшего случая, но в ситуациях, когда рельеф и здания затеняют мешающий сигнал, данные расстояния существенно уменьшаются. Расстояния разнесения для заднего лепестка меняются в пределах от 1,4 до 4,4 км с максимумом для SUB C (наименьшая полоса пропускания). Расстояния, рассчитанные для пяти характеристик центральной станции, показали границу, изменяемую в пределах от 26 до 43 км с максимумом для HUB 5 (наибольшее усиление приема, одинаковая ширина полосы с мешающим сигналом) при высотах антенн центральной станции и земной станции в 30 м без учета затенения рельефом и зданиями. В таблицах 5 и 6 приведена сводка рассчитанных расстояний разнесения между USAMEO-1 и, соответственно, различными станциями абонентов и центральной станцией.

РИСУНОК 4

## Пример зоны разнесения USAMEO-1 (90 см) вокруг станции абонента (SUB A)

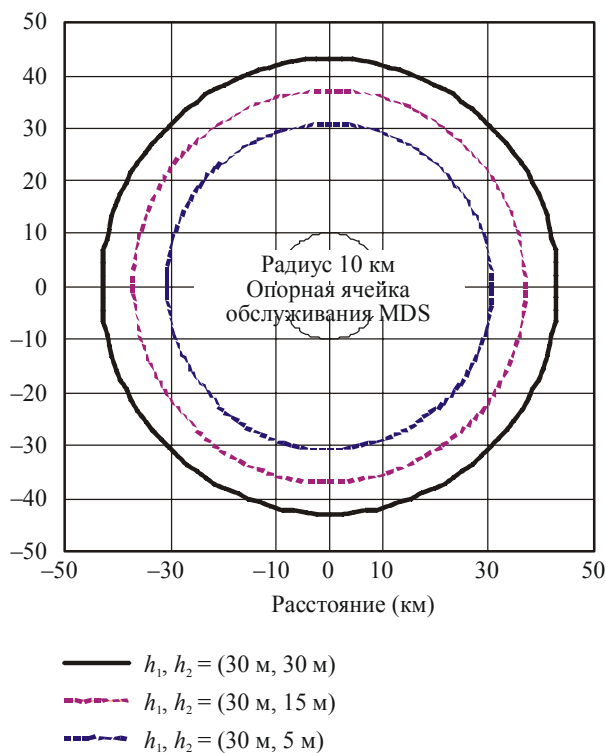


Условия: ясное небо  
 Критерий:  $-10 \text{ дБ I/N}$   
 Мощность земной станции НГСО:  $+11,26 \text{ дБВт}$   
 Усиление земной станции НГСО:  $46,98 \text{ дБи}$



РИСУНОК 5

Пример зоны разнесения для LEOSAT-1 вокруг центральной станции (HUB 5)



Условия: ясное небо  
 Критерий:  $-9,1$  дБ  $I/N$   
 Мощность земной станции НГСО:  $+11,26$  дБВт  
 Усиление земной станции НГСО:  $46,98$  дБи

1719-05

Предполагаемое число земных станций неизвестно, но как показано выше, даже одна земная станция способна исключить значительную зону из обслуживания MDS, даже если не учитывать расширение зоны за пределы линии прямой видимости.

ТАБЛИЦА 5

Расстояния разнесения терминала пользователя USAMEO-1/станции абонента MDS

| Система MDS | Разнесение для главного лепестка <sup>(1)</sup><br>(км) | Разнесение для заднего лепестка<br>(км) |
|-------------|---|---|
| SUB A       | 36,00–48,40   | 1,42                                    |
| SUB B       | 31,19–43,52   | 1,73                                    |
| SUB C       | 33,92–46,29   | 4,41                                    |
| SUB D       | 30,87–43,21   | 1,55                                    |

<sup>(1)</sup> Интервал разнесения основан на сочетании высот станций (30 м, 5 м) и (30 м, 30 м).

ТАБЛИЦА 6

**Расстояния разнесения терминала пользователя USAMEO-1/центральной станции MDS**

| Система MDS | Разнесение для главного лепестка <sup>(1)</sup><br>(км) |
|-------------|---|
| HUB 1       | 26,05   |
| HUB 2       | 26,93–28,81   |
| HUB 3       | 27,78–36,06   |
| HUB 4       | 29,84–42,16   |
| HUB 5       | 30,70–43,04   |

<sup>(1)</sup> Интервал разнесения основан на сочетании высот станций (30 м, 5 м) и (30 м, 30 м).

**4.1.2 Замечания**

Следует отметить, что рассчитанные выше расстояния, вероятно, нетипичны для сценариев в городе или пригороде, для которых должен учитываться определенный эффект затенения при совместном использовании частот как внутри службы (между ячейками), так и между службами.

Было показано, что результаты, представленные в п. 4.1.1, могут также применяться и к земным станциям ГСО ФСС, если они работают с характеристиками, подобными приведенным в таблице 2.

**4.2 Статистический анализ**

Приведенные ниже результаты были получены с использованием способа, в котором реализуется статистическая методика на основе метода Монте-Карло. Этот способ позволяет определить суммарное воздействие на каждого абонента или базовую станцию системы связи Р-МР фиксированной службы от всех терминалов ФСС, одновременно ведущих передачу на одно созвездие НГСО. В анализе предполагается, что каждый частотный канал ФСС используется только один раз на каждом шаге моделирования.

Рассмотрена одна ячейка связи Р-МР размером 3,5 км, и поскольку предполагается, что терминалы ФСС, которые могут потенциально создавать помехи на приемниках фиксированной службы в этой ячейке, находятся на достаточно малом расстоянии от нее, исследуемая географическая зона была ограничена квадратом 14 x 14 км с центром в крупном городе с населением в несколько миллионов человек.

Рассматриваемая ячейка включает 74 абонента и одну базовую станцию, ведущую передачи на четыре сектора по 90° каждый, и для каждого сектора используется полоса пропускания в 28 МГц с отличающейся от других секторов центральной частотой.

**4.2.1 Характеристики систем связи Р-МР фиксированной службы**

В таблице 7 приведены параметры для базовой станции. Для этого анализа использовалась диаграмма направленности центральной станции (см. Рекомендацию МСЭ-R F.1336) и абонента (см. Рекомендацию МСЭ-R F.1245).

ТАБЛИЦА 7

**Параметры базовой станции связи Р-МР фиксированной службы**

|                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| Битовая скорость передачи (Мбит/с) | 33             |
| Полоса пропускания приема (МГц)    | 7              |
| Тепловой шум (дБм)                 | -98            |
| Усиление антенны (дБи)             | 15             |
| Высота антенны                     | 4 м над крышей |

Параметры терминалов абонентов, для которых предполагается коэффициент активности 1, приведены в таблице 8:

ТАБЛИЦА 8

**Параметры станции абонента фиксированной службы**

|                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| Битовая скорость передачи (Мбит/с) | 2              |
| Полоса пропускания приема (МГц)    | 28             |
| Тепловой шум (дБм)                 | -91            |
| Усиление антенны (дБи)             | 35             |
| Высота антенны                     | 1 м над крышей |

Моделирование проводили с помощью расчета  $I/N$  при приведенных ниже критериях защиты фиксированной службы от предполагаемых помех (предполагается типичный запас на замирания для ясного неба порядка 10 дБ):

- $I/N = -10$  дБ не должно превышать в течение более чем 20% времени,
- $I/N = 9$  дБ не должно превышать в течение более чем 0,001% времени.

**4.2.2 Характеристики терминалов пользователя НГСО ФСС**

Рассмотренные характеристики терминалов пользователя ФСС относились к системе НГСО ФСС, работающей в полосе 28,6–29,1 ГГц. Однако эти характеристики намного больше зависят от системы, чем от точной полосы частот в диапазоне 28 ГГц. Поэтому характеристики терминалов пользователя ФСС, приведенные в таблице 9, для использованной в рассматриваемой системе технологии считали пригодными для всей полосы 27,5–29,5 ГГц, но они могут оказаться непригодными для других систем.

ТАБЛИЦА 9

### Параметры терминала пользователя НГСО ФСС

|  |                |
|--|----------------|
| Битовая скорость (Мбит/с)  | 2              |
| Ширина полосы (МГц)  | 3,1            |
| Мощность передачи (ясное небо) (дБВт)  | 0,4            |
| Диапазон адаптивного регулирования мощности передатчика (АТРС) <sup>(1)</sup> (дБ) | 10,7           |
| Усиление антенны (дБи)   | 35             |
| Высота антенны   | 1 м над крышей |

<sup>(1)</sup> На каждом шаге моделирования использовался эффект АТРС в соответствии с распределением дождей по Рекомендации МСЭ-R P.618.

#### 4.2.3 Методика

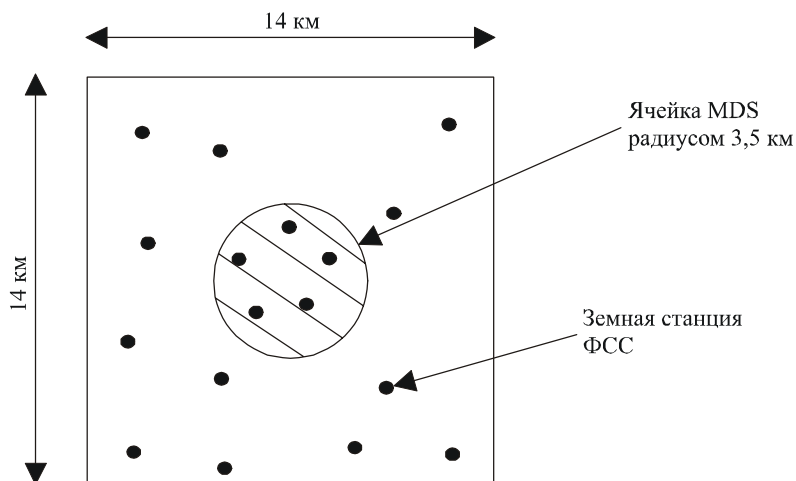
Около 1900 терминалов пользователей были произвольным образом размещены на рассматриваемой площади  $14 \times 14 \text{ км}^2$ , что давало коэффициент проникновения до 20 терминалов/ $\text{км}^2$  для заселенного участка, который характерен для плотно застроенной городской зоны.

Коэффициент активности этих терминалов выбирался случайным образом на каждом шаге моделирования в пределах между 5 и 10%, что соответствует максимуму, поскольку для всей ячейки LEOSAT-1 ( $118 \times 118 \text{ км}$ ) этот приводит к использованию всей ширины полосы (500 МГц) приблизительно на 90%. Следует отметить, что коэффициент активности будет возрастать с числом использующих одну и ту же частоту систем НГСО ФСС, работающих в этой полосе, число которых невелико.

На рисунке 6 показан анализируемый сценарий.

РИСУНОК 6

#### Иллюстрация к сценарию помех



1719-06

На каждом шаге моделирования случайным образом выбирали частоту, используемую каждым активным терминалом пользователя, в пределах всей рассматриваемой ширины полосы.

Наконец, на каждом шаге моделирования углы места и азимута терминала пользователя определялись в соответствии с фактическими геометрическими характеристиками созвездия спутников, предполагая, что каждый терминал пользователя наводится на ближайший спутник.

На этом основании определили две приведенных ниже последовательности, которые представляли в каждом варианте моделирования около 4000 выборок:

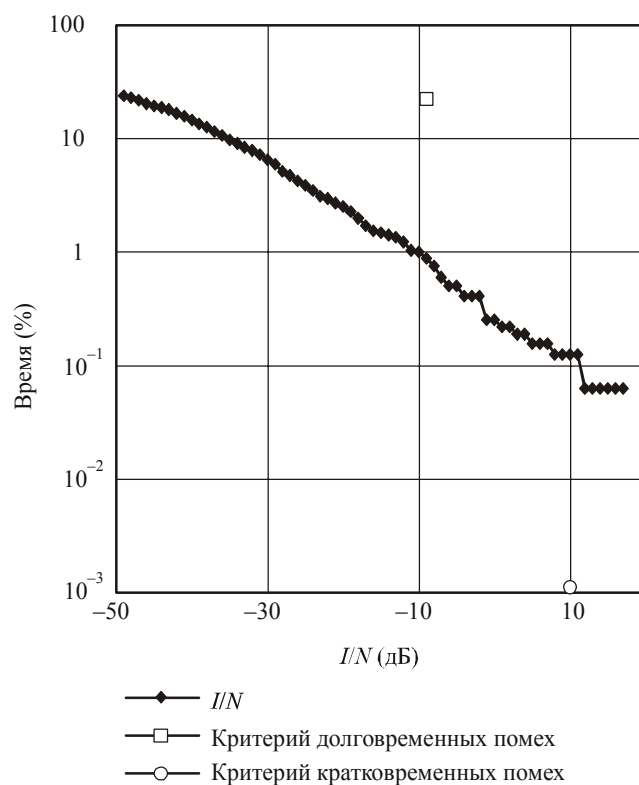
- для моделирований с абонентами: 58 с, сосредоточенные вокруг угла места для наихудшего случая (то есть  $40^\circ$ );
- для моделирований с базовой станцией: 1000 с.

#### 4.2.4 Результаты моделирования

На рисунке 7 представлены результаты моделирования помех для всех рассмотренных абонентов, которые показывают, что в соответствии с принятыми критериями кратковременных помех совместное использование частот в одной и той же зоне невозможно. Следует отметить, что эти результаты дают еще более высокий уровень помех, если учесть несколько созвездий спутников НГСО, однако их число невелико.

РИСУНОК 7

Статистические данные помех от терминалов НГСО ФСС терминалам связи Р-МР фиксированной службы

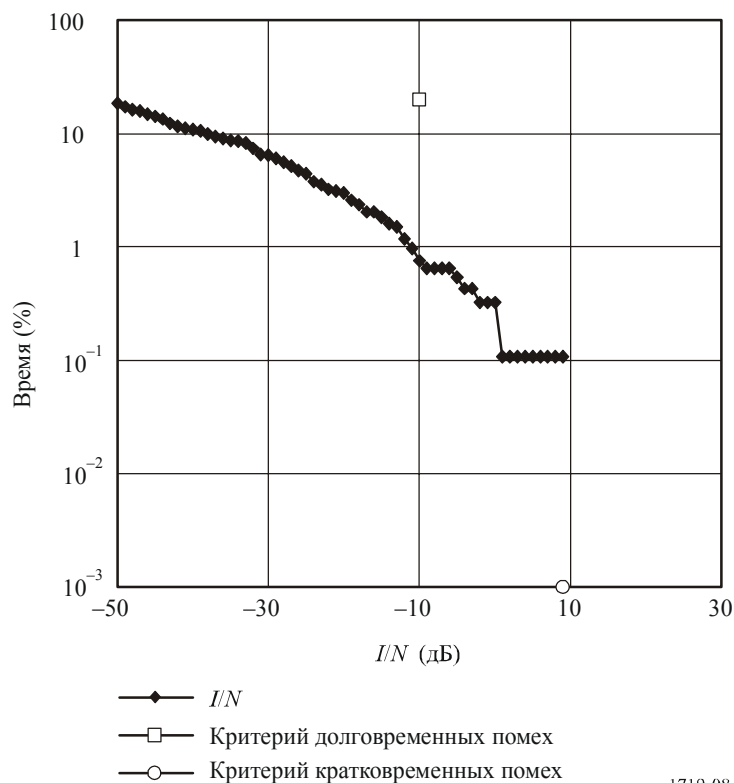


1719-07

Ниже на рисунке 8 приведены результаты моделирования помех для базовой станции. Они показывают, что распределение может удовлетворять принятому критерию кратковременных помех  $-9$  дБ  $I/N$ , но при более высоком процентном отношении (0,1%). Поэтому нельзя сделать четкого заключения о возможности совместного использования частот. Отличие от результатов для терминалов абонентов связи Р-МР фиксированной службы обусловлено другим максимальным усилением антенны (35 дБи для терминалов абонентов в сравнении с 15 дБи для базовой станции). Следует отметить, что эти результаты дают еще более высокий уровень помех, если учесть несколько созвездий спутников НГСО, однако их число невелико.

РИСУНОК 8

Статистические данные помех от терминалов НГСО ФСС базовой станции связи Р-МР



## 5 Анализ систем НГСО ФСС и систем связи Р-МР фиксированной службы

Как было отмечено выше, результаты моделирования аналогичны независимо от того, осуществляет ли земная станция ФСС связь с ГСО или НГСО спутниками. Это обсуждалось в п. 4.1.2.

### 5.1 Методика и характеристики

Методика (с учетом того, что наведение антенн системы ГСО ФСС является фиксированным), а система связи Р-МР фиксированной службы, рассматриваемая для статистического анализа сценария помех между терминалами пользователей НГСО ФСС и системами связи Р-МР фиксированной службы, совпадает с приведенной в п. 4.2.

Характеристики системы ГСО ФСС приведены в таблице 10, ниже.

ТАБЛИЦА 10

#### Характеристики системы ГСО ФСС

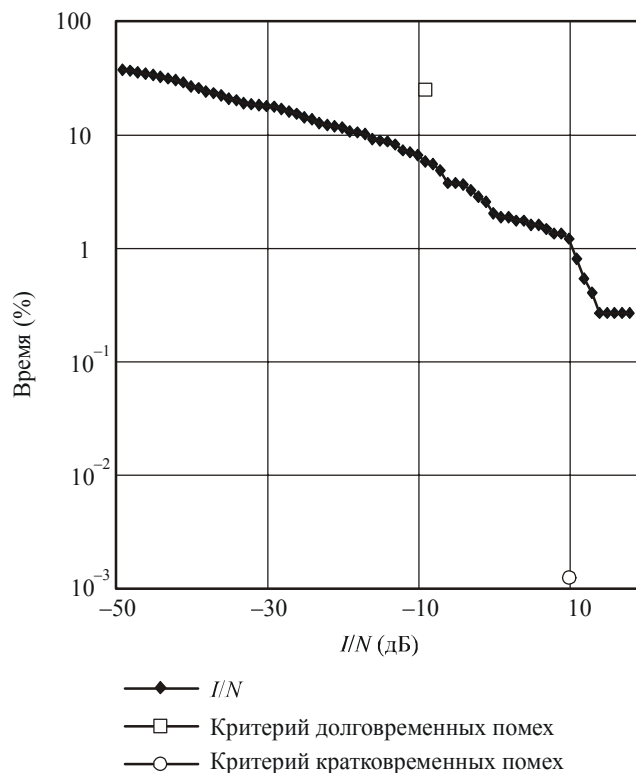
|  |                |
|--|----------------|
| Положение спутника                                   | 2° в.д.        |
| Угол места земных станций терминалов (градусы)       | Около 33       |
| Ширина канала передачи (МГц)                         | 5              |
| Номинальная мощность земной станции терминала (дБВт) | 10             |
| Усиление антенны земной станции терминала (дБи)      | 49,1           |
| Высота антенны                                       | 1 м над крышей |

## 5.2 Результаты расчета помех, создаваемых терминалами пользователей ГСО ФСС фиксированной службе

Как показано ниже на рисунке 9, для рассматриваемого сценария принятый критерий краткосрочных помех не выполняется в случаях, когда терминал абонента ГСО ФСС создает помехи базовой станции связи Р-МР фиксированной службы.

РИСУНОК 9

Статистические данные помех от терминалов ГСО ФСС базовой станции связи Р-МР фиксированной службы

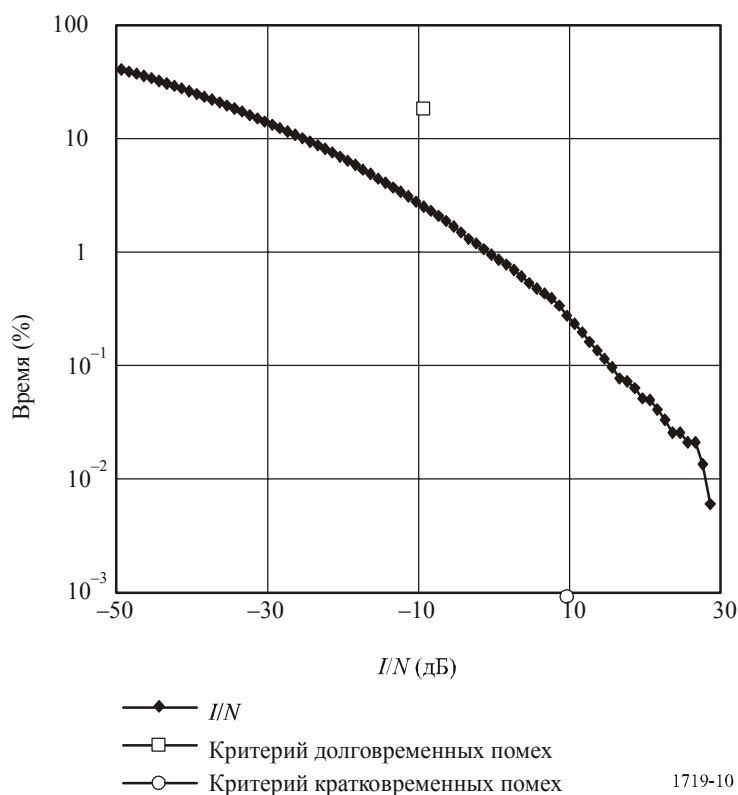


1719-09

Как показано ниже на рисунке 10, для рассматриваемого сценария принятый критерий краткосрочных помех не выполняется в случаях, когда терминал абонента ГСО ФСС создает помехи терминалу абонента связи Р-МР фиксированной службы.

РИСУНОК 10

Статистические данные помех от терминалов ГСО ФСС  
терминалу абонента связи Р-МР фиксированной службы



## 6 Рассмотрение систем связи Р-Р фиксированной службы

Хотя уже имеется информация по развертыванию систем связи Р-МР фиксированной службы в диапазоне 28 ГГц, имеющиеся на сегодня данные по системам связи Р-Р фиксированной службы в этом диапазоне весьма ограничены. Однако данные, полученные для систем связи Р-МР фиксированной службы в этом диапазоне в районе Парижа, показывают, что углы места антенн систем связи Р-Р фиксированной службы очень близки к значениям для систем Р-МР фиксированной службы. Ниже приведены типовые характеристики линий связи Р-Р фиксированной службы в диапазоне 26 ГГц:

ТАБЛИЦА 11

Параметры станций связи Р-Р фиксированной службы

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| Ширина полосы (МГц)          | 28    |
| Тепловой шум приемника (дБм) | -95   |
| Усиление антенны (дБи)       | 42-48 |

Сравнение с характеристиками систем связи Р-МР фиксированной службы показывает, что опасность появления помех для случая связи Р-Р фиксированной службы ожидается более высокой, чем для систем Р-МР.

## 7 Заключение

Для незатененных земных станций ФСС и центральных станций MDS требуется разнесение на большое расстояние по сравнению с размером ячейка обслуживания MDS. Фактически земная



станция ФСС, находящаяся в ячейке обслуживания MDS и в пределах прямой видимости антенны центральной станции, может легко превысить допуск в 10% для долговременных помех приемнику MDS за счет одного дальнего бокового лепестка. Земные станции ФСС могут также создавать помехи станциям абонентов MDS для множества соседних ячеек обслуживания, если не обеспечена достаточная избирательность от антенн станций абонентов с высоким усилением.

Детерминированный анализ с рассмотрением только одной земной станции ГСО ФСС, ведущей передачи в одном канале, на основе расчета потерь в свободном пространстве (плюс ослабление в газах и дифракционные потери) позволяет заключить, что совместное использование частот невозможно. Было обнаружено, что аналогичные результаты получаются и для земной станции ГСО ФСС. Кроме того, могут иметься другие земные станции ФСС, ведущие передачи одновременно в одном или нескольких других каналах в пределах полосы пропускания приемника фиксированной службы для заданного приемника (центральной станции или абонента). Если какая-либо из этих передач других земных станций ФСС также попадает в полосу пропускания приемника MDS, то получающиеся зоны разнесения могут оказаться больше приведенных в п. 4.1. Статистический анализ подтвердил, что совместное использование частот невозможно, особенно в связи с невозможностью выполнения критериев для кратковременных помех. Точнее говоря, эти результаты показывают, что совместное использование одной и той же частоты станциями абонентов фиксированной службы и земными станциями ФСС в диапазоне 28 ГГц невозможно в одной и той же географической зоне. Хотя показано, что совместное использование одной и той же частоты базовыми станциями фиксированной службы и земными станциями ФСС в диапазоне 28 ГГц невозможно, ситуация с совместным использованием частот зависит от рассматриваемых сетей фиксированной службы, и такое использование в некоторых случаях может оказаться возможным.

Системы MDS, работающие с АТРС, могут иметь существенно более низкий запас на замирания в условиях ясного неба, что делает такие системы более восприимчивыми к кратковременным помехам. Влияние дождей и затенения рельефом местности и искусственными объектами было учтено только при статистическом анализе, что может объяснить полученные менее жесткие результаты, чем при детерминированном анализе.

Ни детерминированный, ни статистический анализ не учитывал сценарий с несколькими терминалами пользователей ФСС, ведущими передачи одновременно на разные спутники и на одной и той же частоте. При таком сценарии ситуация с помехами только ухудшается, однако число систем ФСС, обеспечивающих охват определенной зоны, невелико.

Эти результаты как детерминированных, так и статистических исследований подтверждают заключение, что невозможно эксплуатировать системы высокой плотности фиксированной службы, такие как центральные станции и терминалы абонентов MDS, в тех же частях диапазона 28 ГГц, что и развертываемые повсеместно земные станции НГСО ФСС или ГСО ФСС. Поскольку операторы ФСС намерены развертывать терминалы пользователей ФСС высокой плотности в диапазоне 28 ГГц, то приведенные выше выводы должны учитываться при обсуждении регламентарных положений, направленных на содействие введению таких терминалов ФСС в этом диапазоне.

## Дополнение 1 к Приложению 1

Геометрию зоны разнесения, связанную с работой на одной и той же частоте фиксированной службы (ФС)/ФСС можно рассчитать с помощью стандартных уравнений линии связи. Граница определяется суммарным допуском на долговременные помехи в 10% для шума системы приема. Мощность помех в дБВт рассчитывается с помощью следующего уравнения:

$$I = (P_{Tx})_{\text{ФСС}} - (L_F)_{\text{ФСС}} + (G_{Tx}(\varphi))_{\text{ФСС}} - L(d) + (G_{Rx}(\varphi))_{\text{ФС}} - BW_{\text{cor}},$$

где:

- $(P_{Tx})_{\text{ФСС}}$ : мощность передатчика ФСС (дБВт);
- $(L_F)_{\text{ФСС}}$ : потери передатчика ФСС (дБ);
- $(G_{Tx}(\varphi))_{\text{ФСС}}$ : усиление ФСС в направлении терминала фиксированной службы (Рекомендация МСЭ-R S.465) (дБи);
  - $\varphi$ : угол между опорным направлением передачи ФСС и приемником фиксированной службы (градусы);
- $L(d)$ : потери сигнала, связанные с расстоянием,  $L_{\text{FSL}} + L_{\text{atm}} + L_{\text{diff}}$  (дБ);
  - $L_{\text{FSL}}$ : потери в свободном пространстве  $\approx 92,44 + 20 \log(d \times f)$  (дБ);
  - $d$ : разнесение терминалов фиксированной службы и ФСС (км);
  - $f$ : частота (ГГц);
  - $L_{\text{atm}}$ : потери в атмосфере  $\gamma_a \times d$  (Рекомендация МСЭ-R P.676) (дБ);
    - $\gamma_a$ : удельное ослабление ( $\approx 0,095$  дБ/км для  $7,2 \text{ г/м}^3$ ,  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $28,85 \text{ ГГц}$ ) (дБ/км);
  - $L_{\text{diff}}$ : дифракционные потери на сферической Земле (Рекомендация МСЭ-R P.526) (дБ);
- $(G_{Rx}(\varphi))_{\text{ФС}}$ : усиление фиксированной службы в направлении передатчика ФСС (Рекомендация МСЭ-R F.699-4) (дБи);
  - $\varphi$ : угол между опорным направлением приема фиксированной службы и передатчиком ФСС (градусы);
- $BW_{\text{cor}}$ : поправка на перекрытие ширины полосы частот, равная большему значению из 0,0 и
 
$$10 \log \frac{(BW_{rx})_{\text{EES}}}{(BW_{RX})_{\text{ФС}}} \text{ (дБ)}$$

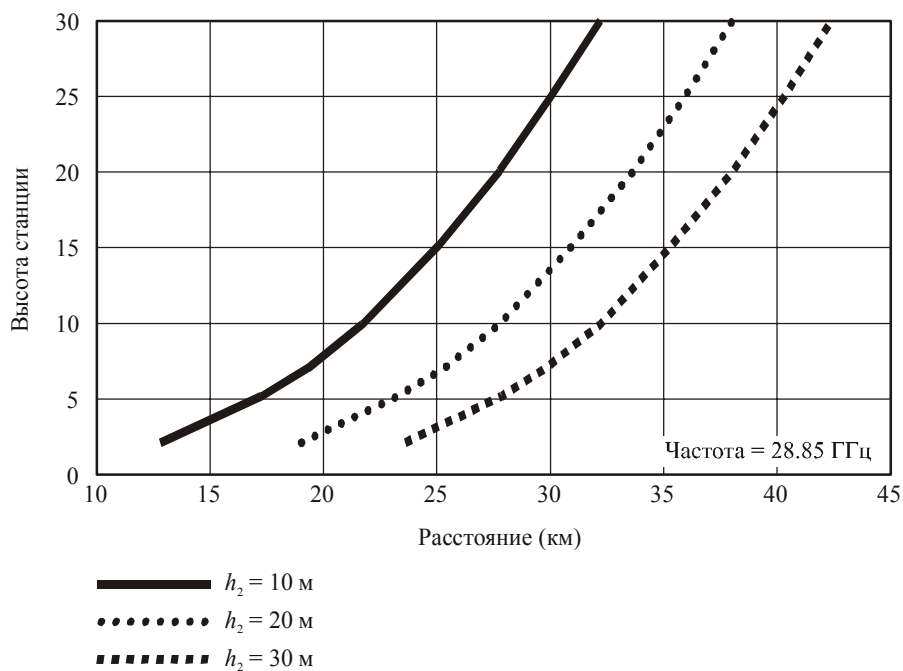
Рекомендация МСЭ-R F.699 определяет опорную диаграмму направленности излучения для антенн фиксированной службы, работающих в диапазоне от приблизительно 1 до 70 ГГц. Для наиболее типичных антенн фиксированной службы отношение  $D/\lambda$  составляет менее чем 100, однако некоторые из используемых станций фиксированной службы имеют более крупные антенны, для которых должны применяться более строгие характеристики боковых лепестков. Для центральных станций, использующих секторные или всенаправленные антенны, Рекомендация МСЭ-R F.699 может оказаться неподходящей. В связи с этим в данном исследовании приемная антенна центральной станции моделировалась антенной с четырьмя секторами по  $90^\circ$  и постоянным усилением вне зависимости от азимута. (ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В Рекомендации МСЭ-R F.1336 описаны диаграммы направленности антенны для связи Р-МР в диапазоне частот 1–3 ГГц.) Опорная диаграмма направленности излучения в Рекомендации МСЭ-R S.465 относится к земным станциям ФСС. Уравнения совпадают с приведенными в Рекомендации МСЭ-R F.699.

Типовому терминалу фиксированной службы MDS соответствует шум приемника  $-121,8$  дБВт (в предположении полосы пропускания приемника  $16,4$  МГц и коэффициента шума приемника  $10$  дБ). Если принять допуск на помехи в 10%, то помехи от передатчика ФСС приемнику фиксированной службы не должны превышать  $-131,8$  дБВт.

Для лучшего учета потерь на загоризонтных трассах использовали модель дифракционных потерь. Эта модель сильно зависит от частоты, длины трассы, эквивалентного радиуса Земли (использовано значение 9348 км) и высоты антенны станции. Модель действительна только для загоризонтных трасс. На рисунке 11 приведены расстояния, в отношении которых модель дает полезные результаты для разных сочетаний высот антенн (источника помех и передатчика полезных сигналов).

РИСУНОК 11

Расстояния по трассе для нулевых дифракционных потерь на сферической Земле (Рекомендация МСЭ-R P.526)



Минимальное допустимое расстояние

Модель сферической Земли согласно Рекомендации МСЭ-R P.526

1719-11