

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1341\*

**СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧАСТОТ В ПОЛОСЕ 15,4–15,7 ГГц ФИДЕРНЫМИ ЛИНИЯМИ ПОДВИЖНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЛУЖБЫ В НАПРАВЛЕНИИ КОСМОС–ЗЕМЛЯ И ВОЗДУШНОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ И ЗАЩИТА РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ В ПОЛОСЕ 15,35–15,4 ГГц**

(Вопрос МСЭ-R 242/4)

(1997)

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что Резолюция 116 (ВКР-95) Всемирной административной радиоконференции (Женева, 1995 г.) предусматривает проведение Сектором МСЭ-R исследований возможности и условий совместного использования частот в полосе 15,4–15,7 ГГц фидерными линиями (космос–Земля) подвижной спутниковой службы (ПСС) и воздушной радионавигационной службой;
- b) что полоса 15,4–15,7 ГГц распределена воздушной радионавигационной службе на первичной основе и что применяется п. 953 (S4.10) Регламента радиосвязи (РР);
- c) что ВКР-95 дополнительно распределила частоты в этой полосе фиксированной спутниковой службе (ФСС) для фидерных линий негеостационарных (НГСО) спутниковых сетей ПСС в направлении космос–Земля;
- d) что в данной полосе необходимо разместить фидерные линии (космос–Земля) НГСО спутников ПСС;
- e) что излучения спутников могут создавать недопустимые помехи работе станций воздушной радионавигационной службы;
- f) что были определены пределы плотности потока мощности (п.п.м.) излучений негеостационарных космических станций, необходимые для защиты воздушной радионавигационной службы в соответствии с п. S5.511A Регламента радиосвязи (РР), который пересматривается Сектором МСЭ-R;
- g) что считается непрактичным проводить координацию спутниковых передач со станциями воздушной радионавигации;
- h) что сигналы станций воздушной радионавигации, распространяющиеся вдоль земной поверхности, могут создать вредные помехи земным станциям фидерных линий;
- j) что требуется разработать методику определения координационных расстояний и дистанций разноса между земными станциями фидерных линий и станциями воздушной радионавигации, обеспечивающих защиту земных станций фидерных линий;
- k) что в соответствии с п. S5.511B РР станциям, расположенным на воздушных судах, не позволено вести передачи в полосе 15,45–15,65 ГГц;
- l) что эта полоса достаточно широко используется станциями воздушной радионавигационной службы, расположенными на воздушных судах, на земной поверхности и в океане;
- m) что технические и эксплуатационные характеристики станций воздушной радионавигационной службы достаточно хорошо известны;
- n) что технические и эксплуатационные характеристики фидерных линий точно не определены;
- o) что спутниковые системы в этом диапазоне частот, как правило, не работают с малыми углами места земных станций;
- p) что по вопросу, поставленному в § о, были проведены исследования;

---

\* Данная Рекомендация должна быть доведена до сведения 7-й и 8-й Исследовательских комиссий по радиосвязи.

q) что соседняя полоса 15,35–15,4 ГГц распределена радиоастрономической службе и другим пассивным службам и что требуется обеспечить их защиту от вредных помех, создаваемых излучениями космических станций (см. п. S5.511A PP);

r) что в соответствии с п. S5.340 PP запрещены все излучения в полосе 15,35–15,4 ГГц, за исключением тех, что перечислены в п. S5.341 PP;

s) что в Рекомендации МСЭ-R RA.769 указаны пороговые уровни вредных помех радиоастрономической службе,

*рекомендует,*

1 что использование фидерных линий ПСС должно быть ограничено полосой 15,43–15,63 ГГц (см. Примечание 1);

2 что временная п.п.м. на поверхности Земли, создаваемая излучениями фидерных линий космической НГСО спутниковой системы при всех условиях и для всех методов модуляции не должна превышать значений, указанных в § 2.1, при условиях, указанных в § 2.2 (Примечание 2);

2.1 в полосе частот 15,43–15,63 ГГц, где  $\varphi$  – угол прихода луча (градусы) над горизонтальной плоскостью:

– 127	дБ(Вт/м <sup>2</sup> ) в 1 МГц	для	$0 \leq \varphi < 20$
– 127 + 0,56 ( $\varphi - 20$ ) <sup>2</sup>	дБ(Вт/м <sup>2</sup> ) в 1 МГц	для	$20 \leq \varphi < 25$
– 113	дБ(Вт/м <sup>2</sup> ) в 1 МГц	для	$25 \leq \varphi < 29$
– 136,9 + 25 log( $\varphi - 20$ )	дБ(Вт/м <sup>2</sup> ) в 1 МГц	для	$29 \leq \varphi < 31$
– 111	дБ(Вт/м <sup>2</sup> ) в 1 МГц	для	$31 \leq \varphi \leq 90$ ;

2.2 что эти пределы относятся к п.п.м., которая будет достигнута в предположении, что распространение происходит в свободном пространстве;

3 что с пределами п.п.м., указанными в п. 2 раздела *рекомендует*, не требуется проведения координации спутниковых передач с приемными станциями воздушной радионавигационной службы;

4 что наземные радары, описанные в Приложении 1, не должны работать в полосе 15,43–15,63 ГГц;

5 что пороговые расстояния для координации излучений, создаваемых станциями воздушной радионавигационной службы, относительно земных станций фидерных линий ПСС, рассчитанные для коэффициента усиления антенны земной станции в локальной горизонтальной плоскости, равного 11,5 дБи, составляют:

- 150 км от наземного сегмента для систем посадки самолетов (ALS);
- 600 км от бортовых радаров общего назначения воздушных судов;
- 60 км от места посадки самолетов для радиолокационных датчиков и измерительных систем;

6 что передачи земных станций фидерных линий должны быть ограничены углами над горизонтальной плоскостью не более 5°;

7 что излучения фидерных линий космических НГСО спутниковых систем для всех условий и всех методов модуляции должны учитывать пороговые уровни для радиоастрономической службы, указанные в Рекомендации МСЭ-R RA.769 для полосы 15,35–15,4 ГГц (см. Примечание 3);

8 что дополнительная информация содержится в Приложениях 1, 2 и 3.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Полоса частот, указанная в п. 1 раздела *рекомендует*, меньше, чем полоса, распределенная ВКР-95 для фидерных НГСО линий ПСС. Это отличие облегчает совместное использование частот фидерными линиями НГСО ПСС и воздушной радионавигационной службой. Пункт 1 раздела *рекомендует* будет пересмотрен позднее в соответствии с решениями будущей ВКР.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Возможность разработки и эксплуатации фидерных линий в направлении космос–Земля с временными предельными значениями, указанными в п. 2.1 раздела *рекомендует*, пока еще не изучена. Более того, временные значения п.п.м., указанные в п. 2.1 раздела *рекомендует*, должны быть пересмотрены для обеспечения защиты ВРНС.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В ходе проектирования на параметры фидерных линий ПСС в направлении Земля–космос могут быть наложены дополнительные ограничения, для того чтобы учесть пороговые уровни для защиты радиоастрономической службы, указанные в Рекомендации МСЭ-R RA.769, в соответствии с п. 7 раздела *рекомендует*.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**Системы воздушной радионавигации в полосе 15,4–15,7 ГГц****1 Наземные радары (SBR)**

Радары SBR, расположенные на суше или на корабле, используются для обнаружения, определения места нахождения и движения воздушного судна и других транспортных средств на летных полях аэродромов и других местах посадки воздушных судов.

**1.1 Диаграммы направленности антенн**

- Номинальная ширина луча по уровню 3 дБ: <math><3,5^\circ</math> вертикальная, инверсная косеканс до  $-31^\circ$   
<math>0,35^\circ</math> горизонтальная;
- Диапазон частот: 15,65–16,7 ГГц;
- Поляризация: круговая;
- Коэффициент усиления: 43 дБи;
- Максимальный уровень боковых лепестков: на 25 дБ ниже пикового усиления;
- Максимальный уровень лепестка обратного направления: на 35 дБ ниже пикового усиления;
- Возможное отклонение по вертикали:  $\pm 1,5^\circ$ ;
- Максимальный диапазон горизонтального сканирования:  $360^\circ$ .

**1.1.1 Огибающая диаграммы направленности антенны по углу места**

На основании измеренных данных и характеристик уровня боковых лепестков, при максимальном усилении в направлении  $+1,5^\circ$ , диаграмма направленности антенны по углу места определяется следующим образом, где  $\varphi$  является углом места (градусы):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 43 & \text{дБи} & \text{для} & 0 \leq \varphi < 4 \\ 43 - 5(\varphi - 4) & \text{дБи} & \text{для} & 4 \leq \varphi < 9 \\ 18 & \text{дБи} & \text{для} & 9 \leq \varphi < 16 \\ 43,2 - 21 \log \varphi & \text{дБи} & \text{для} & 16 \leq \varphi < 48 \\ 8 & \text{дБи} & \text{для} & 48 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

**1.1.2 Огибающая диаграммы направленности антенны по азимуту**

На основании измеренных данных и характеристик уровня боковых лепестков, диаграмма направленности антенны по азимуту определяется следующим образом, где  $\varphi$  является углом азимута (градусы):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 43 - 110 \varphi^2 & \text{дБи} & \text{для} & 0 \leq \varphi < 0,4767 \\ 18 & \text{дБи} & \text{для} & 0,4767 \leq \varphi < 0,72 \\ 17,07 - 6,5 \log \varphi & \text{дБи} & \text{для} & 0,72 \leq \varphi < 48 \\ 8 & \text{дБи} & \text{для} & 48 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

**1.2 Другие характеристики****1.2.1 Передача**

- Пиковая э.и.и.м.: 86 дБВт
- Частота следования импульсов: 8192 Гц
- Длительность импульса: 0,04 мкс
- Ширина полосы импульса по уровню 3,5 дБ: 25 МГц.

### 1.2.2 Прием

- Типичный коэффициент усиления антенны: 43 дБи
- Типичный коэффициент шума: 6,2–6,9 дБ.

## 2 Системы посадки самолетов (ALS)

Такие ALS являются системами общего назначения и устанавливаются на кораблях в перебазированном варианте, либо на суше в стационарном варианте, и используются для посадки рейсовых воздушных судов. Одной из таких систем является система посадки с микроволновым сканирующим лучом MSBLS. Ряд характеристик в конкретных приложениях имеют некоторые различия.

### 2.1 Диаграммы направленности антенн наземных станций

Диаграммы направленности антенн этих станций одинаковы для всех приложений, включая MSBLS. Диапазоны сканирования различны для различных приложений. Указанные далее диапазоны сканирования охватывают все существующие приложения.

Дополнительная антенна в ALC состоит из антенны угла места и азимутальной антенны.

Часть антенны ALC, являющаяся антенной угла места, используется для передачи на воздушное судно данных о вертикальном угле.

- Номинальная ширина луча по уровню 3 дБ: 1,3° по вертикали  
40° по горизонтали
- Диапазон частот: 15,4–15,7 ГГц
- Поляризация: горизонтальная и вертикальная
- Коэффициент усиления: 28 дБи
- Максимальный уровень боковых лепестков: на 17 дБ ниже пикового усиления в обеих плоскостях
- Максимальный диапазон сканирования по вертикали: 0°–30°.

Часть антенны ALS, являющаяся антенной азимута, используется для передачи на воздушное судно данных об азимуте:

- Номинальная ширина луча по уровню 3 дБ: 2,0° по горизонтали  
6,5° по вертикали
- Диаграмма направленности в вертикальной плоскости ухудшена для того, чтобы достичь усиления не менее 20 дБи при угле 20 градусов над горизонтом
- Диапазон частот: 15,4–15,7 ГГц
- Поляризация: горизонтальная и вертикальная
- Коэффициент усиления: 33 дБи
- Максимальный уровень боковых лепестков: на 17 дБ ниже пикового усиления в обеих плоскостях
- Максимальный диапазон сканирования по горизонтали: ±35°.

#### 2.1.1 Диаграмма направленности по углу места комбинированной антенны

Комбинированная диаграмма направленности по вертикали, полученная из результатов измерений, определяется следующим образом, где  $\varphi$  – угол места (градусы):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 33 & \text{дБи} & \text{для} & 0 \leq \varphi < 8 \\ 33 - 0,833(\varphi - 8) & \text{дБи} & \text{для} & 8 \leq \varphi < 14 \\ 28 & \text{дБи} & \text{для} & 14 \leq \varphi < 32 \\ 28 - 9(\varphi - 32) & \text{дБи} & \text{для} & 32 \leq \varphi < 34 \\ 10 & \text{дБи} & \text{для} & 34 \leq \varphi < 40 \\ 10 - 0,2(\varphi - 40) & \text{дБи} & \text{для} & 40 \leq \varphi \leq 90. \end{cases}$$

### 2.1.2 Диаграммы направленности антенн по азимуту

Диаграмма направленности антенны угла места по азимуту определяется следующим образом, где  $\varphi$  – относительный угол азимута (градусы):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 28 - 0,0062\varphi^2 & \text{дБи для } 0 \leq \varphi < 70 \\ -2,37 & \text{дБи для } 70 \leq \varphi \leq 180. \end{cases}$$

Диаграмма направленности азимутальной антенны по азимуту определяется следующим образом, где  $\varphi$  – относительный угол азимута (градусы):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 33 - 2\varphi^2 & \text{дБи для } 0 \leq \varphi < 3 \\ 15 & \text{дБи для } 3 \leq \varphi < 5 \\ 32,5 - 25 \log \varphi & \text{дБи для } 5 \leq \varphi < 48 \\ -9,53 & \text{дБи для } 48 \leq \varphi \leq 180. \end{cases}$$

## 2.2 Другие характеристики

### 2.2.1 Передача

- Пиковая э.и.и.м.: 71 дБВт
- Частота следования импульсов: 3334 Гц
- Длительность импульса: 0,333 мкс
- Ширина полосы импульса по уровню 3,5 дБ: 3 МГц.

### 2.2.2 Прием

- Типичный коэффициент усиления антенны: 8 дБи
- Типичный коэффициент шума: 8 дБ.

## 3 Многофункциональные радары воздушных судов (MPR)

Радар MPR воздушного судна представляет собой радар радионавигации, радиолокации и метеорологии.

### 3.1 Диаграммы направленности антенн

Антенна представляет собой параболу, диаметром примерно 0,3 метра, которая сканирует по вертикали и по горизонтали в соответствии с направлением движения и высотой следования воздушного судна:

- Номинальная ширина луча по уровню 3 дБ: 4,5°
- Диапазон частот: 15,4–15,7 ГГц
- Поляризация: вертикальная
- Коэффициент усиления: 30 дБи
- Максимальный диапазон сканирования по горизонтали  $\pm 45^\circ$
- Максимальный диапазон сканирования по вертикали  $\pm 20^\circ$ .

Диаграмма направленности антенны определяется следующим образом, где  $\varphi$  – относительный угол азимута (градусы):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 30 & \text{дБи для } 0 \leq \varphi < 20 \\ 30 - 0,56(\varphi - 20)^2 & \text{дБи для } 20 \leq \varphi < 25 \\ 16 & \text{дБи для } 25 \leq \varphi < 29 \\ 39,86 - 25 \log(\varphi - 20) & \text{дБи для } 29 \leq \varphi < 68 \\ -2,17 & \text{дБи для } 68 \leq \varphi \leq 180. \end{cases}$$

## 3.2 Другие характеристики

### 3.2.1 Передача

- Пиковая э.и.и.м.: 70 дБВт
- Частота следования импульсов: 800 Гц
- Длительность импульса: 2 мкс
- Ширина полосы импульса по уровню 3,5 дБ: 0,5 МГц.

### 3.2.2 Прием

- Типичный коэффициент усиления антенны: 30 дБи
- Типичный коэффициент шума: 8 дБ.

## 4 Радиолокационная система датчиков и измерений (RSMS)

Методы измерений с использованием радарной технологии в диапазоне 15 ГГц, особенно хорошо пригодные для небольших воздушных судов, включая вертолеты, выгодны благодаря компактности, небольшому весу, хорошей направленности антенн и хорошим качественным показателям для многих эксплуатационных радионавигационных задач, которые непрактично решать с использованием более низких частот по причинам характеристик распространения радиоволн. В режиме измерения высоты использование этой более высокочастотной полосы дает определенные преимущества, такие как меньшие перекрестные связи и отсутствие эффектов треугольника, что особенно важно для точных измерений очень небольших (порядка метров) расстояний. Для некоторых эксплуатационных приложений использование этих частот является единственным технически пригодным решением.

Системы, использующие эти методы, широко применяются в некоторых районах мира, где они значительно повышают безопасность эксплуатации воздушных судов. Измерение высоты и степени свободы земной поверхности является одним из наиболее критичных параметров эксплуатации воздушных судов, особенно, когда их результаты используются на оконечных этапах посадки. Высокая точность и работа при отсутствии помех являются жизненно важными для обеспечения и повышения безопасности.

Системы RSMS, в основном, используются для измерений на небольших высотах, в номинале, до 1500 м. В подавляющем большинстве приложений будут использоваться антенные установки, передающие и принимающие сигналы, распространяющиеся вертикально вниз. Для снижения рассеяния и других нежелательных влияний используется уменьшение мощности пропорционально высоте над поверхностью Земли.

## 4.1 Характеристики RSMS

### 4.1.1 Передатчик

- Диапазон частот: 15,63–15,65 ГГц
- Пиковая мощность: 30 дБмВт
- Коэффициент усиления антенны: 13 дБи, задние лепестки <5 дБи
- PRF: 58 кГц
- Длительность импульса (макс.): 500 нс
- Рабочий цикл (макс.): 3%
- Ширина полосы импульса по уровню 3,5 дБ: 2 МГц.

### 4.1.2 Приемник

- Коэффициент усиления антенны: 13 дБи, задние лепестки <5 дБи
- Коэффициент шума: 6 дБ.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

**Критерии защиты воздушной радионавигационной службы и совместное использование частот в полосе 15,4–15,7 ГГц с фидерными линиями ПСС (космос–Земля) и защита радиоастрономической службы в полосе 15,35–15,4 ГГц (Наземные радары (SBR), расположенные на суше и на кораблях, используемые для обнаружения, определения места положения и движения воздушных судов и других транспортных средств в областях посадки воздушных судов)**

## 1 Характеристики систем воздушной радионавигации

Известны несколько систем, предназначенных для работы в этой полосе. Это – наземные радары обнаружения (SBR), используемые на суше и на борту корабля, ALS, MPR и RSMS. Диаграммы направленности антенн этих систем являются важным элементом при определении зависимости п.п.м. от угла места. Диаграммы направленности антенн и другие важные характеристики приведены в Приложении 1.

## 2 Анализ

### 2.1 Пределы п.п.м. для наихудшего случая

Общее выражение для вычисления предела п.п.м. для данного случая имеет вид:

$$n.p.m. \leq -217,6 + 10 \log B - 20 \log \lambda - G/T + I/N \quad \text{дБ(Вт/м}^2\text{) в } B, \quad (1)$$

где:

$B$ : ширина полосы частот (Гц)

$\lambda$ : длина волны (м)

$G/T$ : усиление антенны/шумовая температура (дБ)

$I/N$ : допустимые помехи/шум (дБ)

Так как эти системы эксплуатируются в ВРНС, и считаются системами безопасности, требования к их защите могут быть более жесткими, чем для других служб. Предполагая, что предел для  $I/N$  равен  $-10$  дБ, в результате решения уравнения (1) для параметров SBR, указанных в Приложении 1, получаем предел п.п.м., равный  $-146$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц. В результате решения уравнения (1) для параметров системы, указанных в Приложении 1, получаем предел п.п.м., равный  $-111$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц для ALS и RSMS, и равный  $-133$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц для MPR. Эти значения получены для максимальных значений усиления антенны рассматриваемых систем.

Предел п.п.м., равный  $-146$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц, предполагает использование очень больших антенн земных станций (с диаметром более 15 м), что не может считаться практичным (см. § 2.3). Однако, наземные радары (SBR) могут работать в полосе 15,63–15,7 ГГц и это снимает ограничения с фидерных линий в полосе 15,43–15,63 ГГц.

Основная область использования MPR располагается над океанами, которые в большинстве случаев находятся за пределами координационных зон земных станций фидерных линий, и, следовательно, не будут требовать координации с земными станциями фидерных линий. Следовательно, эксплуатация MPR в полосе 15,4–15,7 ГГц будет допустима даже в том случае, когда накладываются географические ограничения (см. Приложение 3).

Система RSMS не накладывает существенных ограничений на значения п.п.м., но могут использоваться географические ограничения.

Предел п.п.м., равный  $-133$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц при низких углах места, может чрезмерно ограничить использование земных станций фидерных линий ПСС. При п.п.м., равной  $-127$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц, диаметры антенн земных станций могут быть в половину меньше, чем для п.п.м. =  $-133$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц (см. § 2.3.) Так как MPR использует сканирующую антенну с узким лучом, помехи будут возникать в течение коротких периодов времени, когда главный луч антенны направлен на спутник. Кроме того, нормальная работа MPR не должна рассматриваться как работа

службы безопасности. Следовательно, для коротких промежутков времени может быть допустимым увеличение шума в системе на величину до 40 процентов, в результате чего получаем предел п.п.м. =  $-127$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц.

## 2.2 Пределы п.п.м. в зависимости от угла прихода сигнала

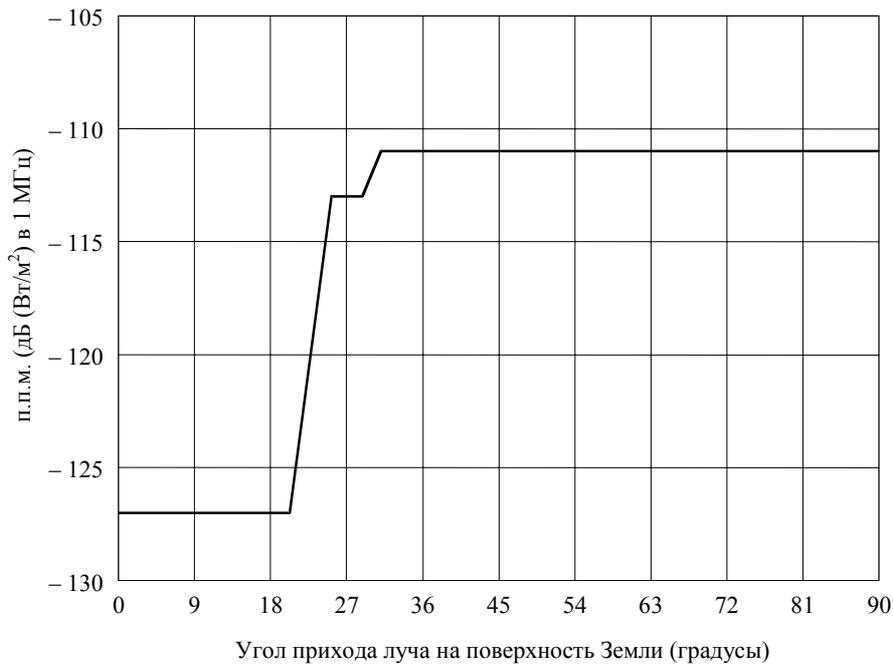
Из § 2.1 видно, что ALS и MPR будут работать в полосе 15,4–15,7 ГГц, включая полосу 15,43–15,63 ГГц, используемую совместно с фидерными линиями.

Объединив значения п.п.м., указанные в § 2.1, с функциями усиления антенны, приведенными в разделах 2 и 3 Приложения 1, получим показанные ниже пределы п.п.м., изображенные на рисунке 1, где  $\varphi$  выражен в градусах, т. е.:

$$\text{п.п.м.} \begin{cases} \leq -127 & \text{дБ(Вт/м}^2\text{) в 1 МГц} & \text{для } 0 \leq \varphi < 20 \\ \leq -127 + 0,56(\varphi - 20)^2 & \text{дБ(Вт/м}^2\text{) в 1 МГц} & \text{для } 20 \leq \varphi < 25 \\ \leq -113 & \text{дБ(Вт/м}^2\text{) в 1 МГц} & \text{для } 25 \leq \varphi < 29 \\ \leq -136,9 + 25 \log(\varphi - 20) & \text{дБ(Вт/м}^2\text{) в 1 МГц} & \text{для } 29 \leq \varphi < 31 \\ \leq -111 & \text{дБ(Вт/м}^2\text{) в 1 МГц} & \text{для } 31 \leq \varphi \leq 90. \end{cases}$$

РИСУНОК 1

Максимальные пределы п.п.м. спутника (ALS, MPR и RSMS)



1341-01

### 2.3 Воздействие на параметры фидерной линии

Излучение спутника всегда будет приходиться на поверхность Земли под низкими углами. При низких углах предел п.п.м. составляет  $-127$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц. Диаметр антенны земной станции,  $D$ , для данной п.п.м. можно рассчитать при помощи выражения:

$$D = \left[ (C/N)_t (k T B / \eta) (4M / \pi) \right]^{0,5} \quad \text{м,} \quad (2)$$

где:

- $(C/N)_t$ : пороговое отношение сигнал/шум
- $k$ : постоянная Больцмана
- $T$ : шумовая температура приемной системы (К)
- $B$ : ширина полосы (Гц), используемая для определения п.п.м.
- $M$ : запас
- $\eta$ : эффективность использования апертуры антенны.

Земные станции фидерных линий ПСС, как правило, проектируются так, чтобы обеспечить готовность линии связи порядка 99,99%. Для работы при углах места менее  $20^\circ$  (в зависимости от климатической зоны дождей, где она эксплуатируется) требования по допуску на замирания в дожде, объединенные с необходимостью поддерживать предел п.п.м.  $-127$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц, могут ограничить использование земных станций фидерных линий ПСС в полосе частот 15,43–15,63 ГГц.

Подставив в уравнение (2) значения  $(C/N)_t = 12$  дБ,  $T = 24$  дБ(К), а  $\eta = 0,6$  и значения п.п.м. =  $-127$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц, п.п.м. =  $-133$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц и п.п.м. =  $-146$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц, получим следующие значения  $D$ :

ТАБЛИЦА 1

$M$ (дБ)	п.п.м.		
	$-127$ дБ (Вт/м <sup>2</sup> ) в 1 МГц	$-133$ дБ (Вт/м <sup>2</sup> ) в 1 МГц	$-146$ дБ (Вт/м <sup>2</sup> ) в 1 МГц
	$D$ (м)	$D$ (м)	$D$ (м)
7	1,7	3,4	15
10	2,4	4,8	22
13	3,4	6,8	30,4
16	4,8	9,6	43
19	6,8	13,6	61
22	9,6	19,2	86
25	13,6	27,1	121
28	19,2	38,3	171

### 2.4 Помехи от НГСО спутников радиоастрономическим приемникам в полосе 15,35–15,4 ГГц

В Рекомендации МСЭ-R RA.769 указаны пороговые уровни вредных помех радиоастрономической службе, работающей на первичной основе в полосе 15,35–15,4 ГГц. Это следующие уровни  $-156$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц и  $-233$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 Гц на поверхности Земли. Экстраполировав значение предела в 1 Гц до значения в 1 МГц, получим величину  $-173$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц. Значение  $-127$  дБ (Вт/м<sup>2</sup>) в 1 МГц относится к углам прихода до углов порядка  $20^\circ$

и возрастает до  $-111$  дБ ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) в  $1$  МГц для углов выше примерно  $30^\circ$  в полосе  $15,43\text{--}15,63$  ГГц. При этом требуется развязка около  $46$  дБ на частоте  $15,4$  ГГц, которая возрастает до  $62$  дБ при углах выше  $30^\circ$ . Величина  $62$  дБ может быть достигнута с использованием 6-полюсного фильтра (неравномерность  $0,1$  дБ) на  $30$  МГц с полосой пропускания  $50$  МГц. Эксплуатация линий космос–Земля на частотах, очень близких к частоте  $15,4$  ГГц, представляется невозможным. Однако, если полоса  $15,4\text{--}15,43$  ГГц не используется для фидерных линий, можно обеспечить наличие защитной полосы шириной  $30$  МГц, в которой для защиты радиоастрономической службы, работающей в полосе  $15,35\text{--}15,4$  ГГц, можно использовать полосовые фильтры и другие средства.

Уровни внеполосных излучений фидерных линий должны учитывать потребности радиоастрономической службы, работающей в полосе  $15,35\text{--}15,4$  ГГц.

### 3 Резюме

Пределы п.п.м., указанные в разделе 2.2, являются необходимыми для защиты воздушной радионавигационной службы от помех, создаваемых фидерными линиями, работающими в направлении космос–Земля в полосе частот  $15,4\text{--}15,7$  ГГц.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### Координационные расстояния между земными станциями фидерных линий ПСС, работающими в полосе $15,4\text{--}15,7$ ГГц в направлении космос–Земля, и станциями воздушной радионавигационной службы

#### 1 Характеристики системы воздушной радионавигации

Известны несколько систем, предназначенных для работы в этой полосе. Они включают в себя ALS и MPR. Характеристики и анализ, необходимые для определения координационных пороговых расстояний, приведены в последующих разделах.

#### 2 Координационные расстояния

##### 2.1 Анализ

Координационное расстояние,  $D_c$ , необходимое для обеспечения того, чтобы не возникали возможные недопустимые помехи, создаваемые станциям воздушной радионавигации работе земных станций фидерных линий ПСС, можно вычислить так, как это будет показано в последующих параграфах:

$$D_c = D_{fsl} + D_{oth} + D_{as} \quad \text{км}, \quad (3)$$

где:

$D_{fsl}$ : общее расстояние радиопередачи прямой видимости (км)

$D_{oth}$ : расстояние за горизонтом, соответствующее необходимым потерям при распространении за горизонтом (км)

$D_{as}$ : расстояние от места посадки воздушного судна (км) (применимо для ALS и RSMS)

$$D_{fsl} = (2r h_1)^{0,5} + (2r h_2)^{0,5} \quad \text{км}, \quad (4)$$

где:

$r$ : радиус Земли с учетом геометрического коэффициента  $4/3$ , учитывающего атмосферную рефракцию ( $8500$  км)

$h_1$ : высота станции ВРНС (км)

$h_2$ : высота земной станции фидерной линии (км)

$$L_{oth} = E_{eff}/\text{МГц} + 168,6 - L_{fsl} + G(\varphi) - 10 \log T - I/N \quad \text{дБ}, \quad (5)$$

где:

- $L_{oth}$ : потери за счет распространения за горизонт, добавленные к величине  $L_{fsl}$  (дБ) (эта функция показана далее и на рисунке 2, полученном из 5%-х функций для 15 ГГц, приведенных в Рекомендации МСЭ-R P.528; т. е. для потерь, превышаемых в течение 95% времени)
- $E_{ef}/\text{МГц}$ : максимальная эффективная плотность э.и.м., создаваемая станцией ВРНС в направлении горизонта (см. Приложение 2 Рекомендации МСЭ-R S.1340)
- $L_{fsl}$ : потери в свободном пространстве, вычисленные для  $D_{fsl}$  (дБ)
- $G(\varphi)$ : усиление антенны фидерной линии как функция угла  $\varphi$  над горизонтом (дБи)
- $T$ : шумовая температура земной станции (К)
- $I/N$ : допустимое отношение помеха/шум для земной станции фидерной линии (дБ).

Значения  $D_{oth}$  для некоторых значений  $L_{oth}$  определяются из следующей таблицы 2:

ТАБЛИЦА 2

$D_{oth}$ (км)	$L_{oth}$ (дБ)	$D_{oth}$ (км)	$L_{oth}$ (дБ)	$D_{oth}$ (км)	$L_{oth}$ (дБ)
0	0	175	78	350	104
25	24	200	82	375	107
50	45	225	86	400	110
75	57	250	90	425	113
100	64	275	94	450	116
125	69	300	98	475	118
150	74	325	101	500	120

Значения  $D_{oth}$ , соответствующие значениям  $L_{oth}$ , расположенным между указанными в таблице 2, определяются в результате интерполяции:

$$D_{oth} = D_{ith} + 25 \left[ (L_{oth} - L_{ith}) / (L_{jth} - L_{ith}) \right] \quad \text{км,} \quad (6)$$

где:

$L_{ith}$ : ближайшее меньшее значение  $L_{oth}$  в таблице, относительно  $L_{oth}$ , определенного из уравнения (5)

$L_{jth}$ : ближайшее значение  $L_{oth}$  в таблице, относительно  $L_{oth}$ , определенного из уравнения (5)

## 2.2 Вычисленные координационные расстояния

Для определения координационных расстояний используются параметры, показанные в таблице 3.

Если горизонтальная плоскость совпадает с боковыми лепестками антенны земной станции, то:

$$L_{oth} \text{ (дБ)} = 87,2 - 25 \log \varphi \quad \text{для ALS} \quad (7)$$

$$L_{oth} \text{ (дБ)} = 75,0 - 25 \log \varphi \quad \text{для MBR.}$$

Огибающая боковых лепестков диаграммы направленности считается равной  $29 - 25 \log \varphi$  (дБи), где  $\varphi$  выражается в градусах.

Результаты, полученные при использовании уравнения (7) для определения  $L_{oth}$ , при расчете соответствующих расстояний из уравнений (6) и (3), показаны в таблице 4 для ALS и MPR. Расстояния для RSMS лежат в пределах расстояния прямой видимости.

ТАБЛИЦА 3

Параметр	ALS	MBR	RSMS
$h_1$ (км)	0,01	15	1,5
$h_2$ (км)	0,01	0,01	0,01
$D_{fsl}$ (км)	26	518	25 <sup>(1)</sup>
$D_{as}$ (км)	0	0	40
$L_{fsl}$ (дБ)	145	171	Неприменимо
$10 \log T$ (дБ(К))	24	24	24
$I/N$ (дБ)	-10	-10	-10
$E_{eff}/\text{MHz}$ (дБВт)	48,2	62	-13,1
$L_{oth}$ (дБ)	69,7	57,4	0
$D_{oth}$ (км)	129	77	0
$D_c$ (км)	155	595	65

<sup>(1)</sup> Эти результаты получены для распространения в свободном пространстве и для угла прихода луча на земную станцию = 3,2°.

ТАБЛИЦА 4

Угол места $\varphi$ (градусы)	Координационные расстояния (км)		
	ALS	MPR	RSMS
5	155	595	65
10	120	578	54
15	104	569	47
20	96	565	
25	91	562	
30	87	560	

Основной режим работы MPR – над поверхностью океана, т. е. в большинстве случаев за пределами зоны 600 км от земных станций фидерных линий, и в этом случае координация не потребуется. Если бы земные станции фидерных линий располагались внутри этой зоны, области работы над поверхностью океана были бы расширены.

### 3 Факторы снижения уровня помех, позволяющие уменьшить расстояние разноса в пределах координационного порогового расстояния

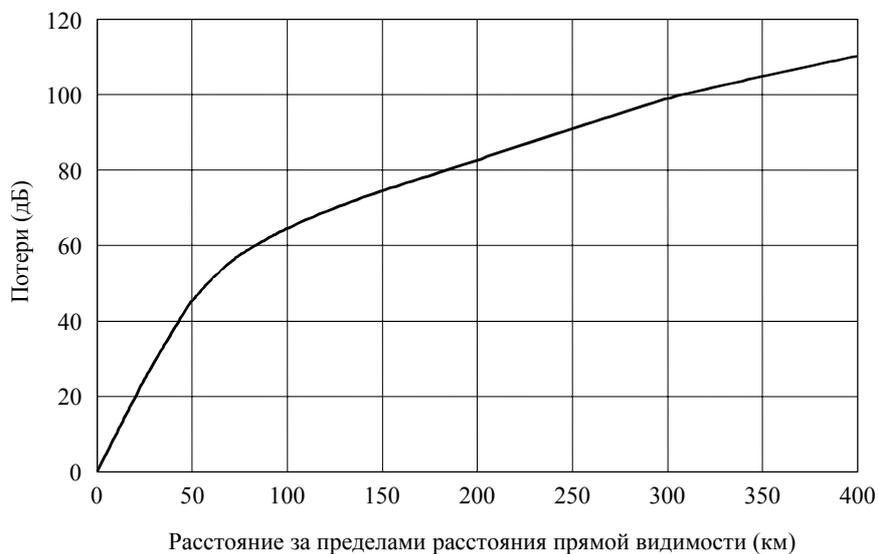
В том случае, когда земную станцию фидерной линии, работающую в направлении космос–Земля, требуется разместить в пределах координационной зоны, должно учитываться следующее:

- Как правило, ширина луча антенны земной станции фидерной линии не превышает 1°, и эта антенна работает при углах места более 5°. Следовательно, может быть достигнута значительная развязка антенны земной станции относительно мешающих сигналов, создаваемых наземными станциями.
- Наземные станции воздушной радионавигации могут обеспечить дополнительную развязку антенны, зависящую от их эксплуатации. Это, в частности, верно для ALS, где в пределы сканирования по горизонтали не попадают азимуты на земные станции (см. Приложение 1).

- Использование искусственно сооружаемых насыпей, специально созданных вокруг антенн(ы) земной станции фидерной линии для обеспечения дополнительной развязки приемной системы земной станции фидерной линии.
- При выборе места расположения земной станции фидерной линии необходимо учитывать естественные препятствия рельефа местности, которые способны повлиять на потери на пути распространения.

РИСУНОК 2

**Потери, добавленные к потерям в свободном пространстве на расстоянии прямой видимости**



1341-02

#### 4 Резюме

- В данном Приложении представлен метод определения координационных расстояний, необходимых для защиты земных станций фидерных линий от помех, создаваемых станциями воздушной радионавигации в полосе 15,4–15,7 ГГц.
- Описанный выше метод может использоваться также в ходе координации совместно с другими методами для облегчения задачи минимизации расстояний разнота.
- При ограничении угла места значением  $5^\circ$ , при котором только боковые лепестки антенны земной станции фидерной линии направлены к горизонту, для ALS является приемлемым координационное расстояние, измеренное от посадочной поверхности, равное примерно 150 км, а для RSMS – 60 км.
- Радары MPR могут работать без координации на расстояниях более 600 км от земной станции фидерной линии (например, над морскими поверхностями).

