

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SA.1154\*, \*\*

**Условия защиты служб космических исследований (КИ), космической эксплуатации (КЭ) и спутниковых исследований Земли (СИЗ) и обеспечения совмещения с подвижной службой в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц**

(1995)

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая*

- a) что полосы 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц распределены на первичной основе трем космическим научным службам (КИ, КЭ, СИЗ), фиксированной службе (ФС) и подвижной службе (ПС) в соответствии с положениями пп. 5.391 и 5.392 Регламента радиосвязи (РР);
- b) что Всемирная административная радиоконференция по распределению частот в определенных частях спектра (Малага-Торремолинос, 1992 г.) (ВАРК-92) в своей Резолюции № 211 призывает участников бывшего МККР продолжать изучение соответствующих положений по защите космических научных служб, работающих в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц, от вредного воздействия излучений станций подвижной службы и сообщить о результатах исследований на следующей компетентной конференции;
- c) что возрастает использование служб КИ, КЭ и СИЗ в этих полосах частот космическими станциями на низких околоземных орбитах (ОЗО);
- d) что в отчете бывшего МККР для ВАРК-92 по техническим и эксплуатационным основам содержалось заключение, в соответствии с которым введение в будущем подвижных систем высокой плотности или обычных подвижных сухопутных систем связи в полосы частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц создало бы недопустимые помехи для служб КИ, КЭ и СИЗ; более подробную информацию см. в Приложении 1;
- e) что исследования указывают на то, что определенные подвижные системы малой плотности, такие как описанные в Приложении 2, могли бы использовать полосы частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц совместно со службами КИ, КЭ и СИЗ;
- f) что в некоторых странах космические научные службы в течение многих лет успешно и без ограничений использовали частоты совместно с подвижными системами малой плотности для электронного сбора новостей (ЭСН) (см. Приложение 3) и воздушными подвижными телеметрическими системами (см. Приложение 4), хотя, принимая во внимание ожидаемые темпы развития этих систем, ограничения могут понадобиться в будущем;
- g) что работа космических научных служб в полосе 2200–2290 МГц более подвержена помехам, чем работа в полосе 2025–2110 МГц, вследствие большого коэффициента усиления направленных на Землю антенн космических аппаратов геостационарных спутников ретрансляции данных (СРД) при слежении за низкоорбитальными космическими аппаратами;
- h) что критерии защиты, требуемые для службы КИ, являются наиболее строгими из критериев для всех трех космических научных служб и обеспечивают достаточную защиту для служб КИ, КЭ и СИЗ;

---

\* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 4-й, 8-й и 9-й Исследовательских комиссий по радиосвязи.

\*\* В 2003 году 7-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла в эту Рекомендацию редакционные поправки в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 44.

- j) что Рекомендация МСЭ-R SA.609 (§ 1, 1.1, 1.2 и 2) устанавливает критерии защиты для службы КИ;
- к) что критерии защиты, содержащиеся в Рекомендации МСЭ-R SA.609, неоднократно использовались в исследованиях по совместному использованию частот и в настоящее время общепризнаны;
- l) что в службах КИ, КЭ и СИЗ используются полосы частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц для радиосвязи Земля–космос, космос–Земля и космос–космос. Каналы связи космос–космос, как правило, включают использование СРД, как это описано в гипотетической эталонной системе в Рекомендация МСЭ-R SA.1020 и МСЭ-R SA.1018. В критериях совместного использования частот должны учитываться требования по защите каналов радиосвязи СРД, работающих в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц;
- м) что для защиты служб КИ, КЭ и СИЗ, каналов Земля–космос и космос–Земля в большинстве случаев считается достаточной величина  $N/I$  в 6 дБ, приводящая к ослаблению в 1 дБ;
- п) что, принимая во внимание, как правило, низкие, 2 дБ и менее, запасы каналов космос–космос, для каналов космос–космос СРД считается необходимой величина  $N/I$  в 10 дБ, приводящая к ослаблению в 0,4 дБ;
- о) что рассматриваемые полосы совместно используются ФС и ПС. Предполагается, что доля полной помехи, приходящей на космический аппарат со стороны каждой из служб, составляет половину. Предполагается, что благодаря ожидаемой координации создавать помехи в работе земной станции будет только одна из служб;
- р) что космические аппараты СРД, как правило, расположены на геостационарной орбите (ГСО);
- q) что полоса 2025–2110 МГц используется для каналов Земля–космос служб КИ, КЭ и СИЗ, как правило, для радиосвязи с космическими аппаратами на низких околоземных и геостационарных орбитах. Эта полоса используется для каналов космос–космос для служб КИ, КЭ и СИЗ, как правило, для радиосвязи космических аппаратов СРД с низкоорбитальными космическими аппаратами;
- г) что полоса 2200–2290 МГц используется для каналов космос–Земля служб КИ, КЭ и СИЗ для передач как с низкоорбитальных, так и с космических аппаратов на ГСО. Эта полоса используется также для каналов космос–космос служб КИ, КЭ и СИЗ, как правило, для радиосвязи низкоорбитальных космических аппаратов с космическими аппаратами СРД;
- с) что показатели в отношении плотности подвижных систем относятся к числу систем и к распределению систем разных поколений,

*признавая,*

1 что установление во всемирном масштабе такого максимального числа подвижных станций, работающих в полосах 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц, при котором совокупный уровень их помех не превышает критерия совместного использования частот, может представлять собой верное техническое решение. Однако выполнение такого решения может оказаться практически невозможным,

*признавая далее,*

1 что существует уникальная комбинация технических и эксплуатационных характеристик конкретных подвижных систем, обеспечивающая совместное использование частот, а также что совместное использование частот такими подвижными системами и службами, как КИ, КЭ и СИЗ, может быть описано при помощи как качественных, так и количественных показателей,

*рекомендует,*

1 что для защиты службы КИ, КЭ и СИЗ от совокупных помех от излучений подвижных систем в полосе 2025–2110 МГц подходят следующие положения:

1.1 чтобы суммарная помеха на входных устройствах приемника космического аппарата, за исключением случая связи по каналу космос–космос, не превышала –180 дБ(Вт/кГц) более чем на 0,1% времени;

1.2 чтобы для каналов связи космос–космос суммарная помеха на входных устройствах приемника космического аппарата не превышала –184 дБ(Вт/кГц) в течение более чем 0,1% времени;

2 что для защиты служб КИ, КЭ и СИЗ от совокупного воздействия излучений подвижных систем в полосе 2200–2290 МГц подходят следующие положения:

2.1 чтобы суммарная помеха на входных устройствах приемника земной станции не превышала –216 дБ(Вт/Гц) в течение более чем 0,1% времени;

2.2 чтобы суммарная помеха на входных устройствах приемника космического аппарата СРД не превышала –184 дБ(Вт/кГц) в течение более чем 0,1% времени;

3 что в соответствии с Резолюцией № 221 (ВАРК-92) подвижные системы высокой плотности или подвижные системы обычного типа не должны вводиться в полосы 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц, поскольку они будут создавать недопустимые помехи для служб КИ, КЭ и СИЗ, что подтверждается в Приложении 1;

4 что новые подвижные системы должны вводиться таким образом, чтобы их долговременное развертывание во всемирном масштабе не привело к суммарному уровню помех, превышающему величины, приведенные в § 1 и 2;

5 что технические и эксплуатационные параметры, такие как малая спектральная плотность мощности, малая плотность распространения во всем мире и нестационарный (прерывистый) характер передачи (см. Приложение 2), должны быть предпочтительными при вводе новых подвижных систем;

6 что при рассмотрении новых подвижных систем малой плотности для введения в полосу 2025–2110 МГц следует руководствоваться техническими и эксплуатационными характеристиками, аналогичными приведенным в Приложении 3;

7 что при рассмотрении новых подвижных систем малой плотности для введения в полосу 2200–2290 МГц следует руководствоваться техническими и эксплуатационными характеристиками, аналогичными приведенным в Приложении 4.

## Приложение 1

### **Исследование совместимости систем космических исследований/космической эксплуатации и сухопутных подвижных систем высокой плотности**

#### **1 Введение**

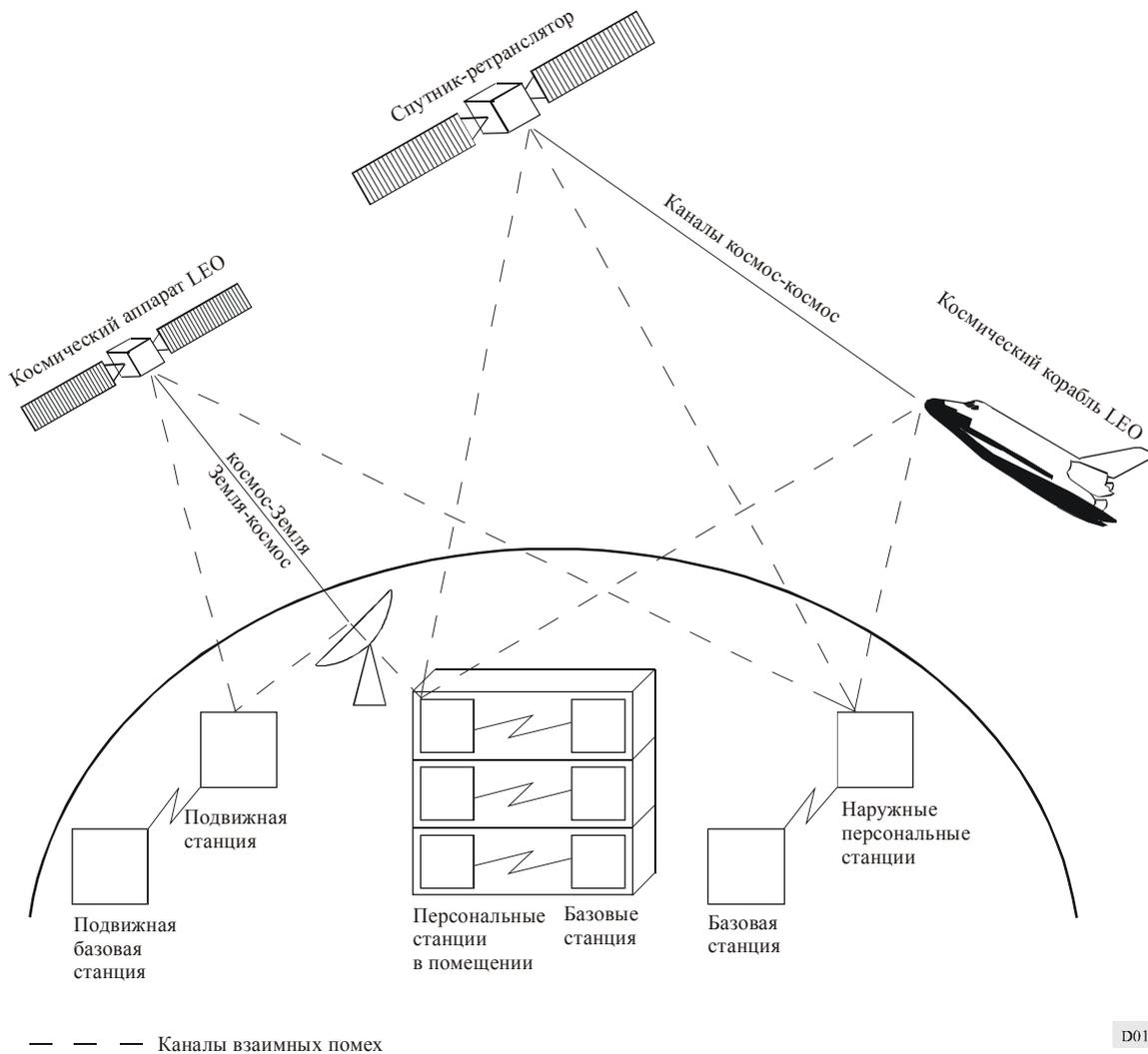
ВАРК-92 решила, что совмещение сухопутных подвижных систем обычного типа и подвижных систем высокой плотности, с одной стороны, и космических служб, с другой стороны, неосуществимо. Данное Приложение основывается на материалах, которые привели к этому заключению, и содержит лежащий в его основе анализ. Рассмотренная в настоящем исследовании подвижная система представляет собой будущую сухопутную подвижную систему электросвязи общего пользования (БСПСЭП), как это указано в исследованиях, предпринятых для ВАРК-92. Используемая модель применима также к подвижным системам обычного типа.

Полосы 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц интенсивно используются для работы в космосе, при исследованиях Земли с помощью спутников и в космических исследованиях во всем мире на основе многочисленных соглашений между космическими агентствами о международной взаимопомощи. Вследствие больших расстояний между передатчиками и приемниками уровни сигналов на приемниках являются очень низкими. Следовательно, эти службы очень чувствительны к помехам и требуют высокой степени защиты, как это отмечено в РР и в Рекомендациях МСЭ-R.

На рисунке 1 представлены различные рассмотренные здесь каналы связи и конфигурации возникающих в результате их взаимодействия помех. Для персональных и подвижных станций рассматриваются только службы телефонной связи. Дополнительные помехи от базовых станций еще не изучены.

РИСУНОК 1

**Конфигурация образования взаимных помех между блоками БСПСЭП и космическими службами**



D01

В настоящее время перед специалистами по распределению частот уже стоит проблема: удовлетворить новые запросы о выделении частот для уже размещенных в настоящее время космических служб таким образом, чтобы свести к минимуму помехи на уже выделенных частотах. Вследствие этого внутрислужебное совмещение с дополнительными пользователями становится все более затруднительным.

В случае подвижных служб конфигурации антенн являются квазивсенаправленными и предусматриваемые десятки миллионов подвижных передатчиков имеют очень высокий суммарный уровень помех. Поскольку БСПСЭП по определению являются "подвижными", координация по понятным причинам невозможна. Можно показать, что практически для любой из рассмотренных конфигураций совмещение с этими подвижными системами является неосуществимым.

## **2 Регламент радиосвязи и аспекты занятия полос**

ВАРК-92 распределила во всех Районах МСЭ полосы 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц на первичной основе для совместного использования службам КИ, КЭ, СИЗ и подвижным службам.

Максимально допустимые уровни взаимных помех для земных станций определены в Приложении 7 к РР, таблица 8b, и в Рекомендациях МСЭ-R SA.363 и МСЭ-R SA.609. Диаграммы антенн для земных станций основаны на моделях излучения, установленных в Приложении 8 к РР, Дополнение III. Минимальные углы места для антенн земных станций согласуются с п. 21.15 и п. 21.14 РР. Уровни помех для приемников космических аппаратов установлены в Рекомендациях МСЭ-R SA.609 и МСЭ-R SA.363.

В настоящее время в полосе 2025–2110 МГц существует более 300 частотных присвоений. В полосе 2200–2290 МГц свыше 350 частотных присвоений. Для каналов космос–космос в настоящее время определены шесть мест расположения систем ретрансляции данных и несколько дополнительных мест расположения подготавливается для программы международной космической станции, а также для европейской и японской программ по спутникам ретрансляции данных.

Очевидно, что рассматриваемые полосы интенсивно используются космическими службами и что большое число спутников и земных станций было бы подвержено воздействию сухопутных подвижных служб, работающих в этих полосах частот.

## **3 Предположения о сухопутных подвижных системах (БСПСЭП)**

Предвидится множество служб для будущих подвижных систем связи. Одна из служб, предусматриваемых для работы в полосах вблизи 2 ГГц, представляет собой будущую сухопутную подвижную систему электросвязи общего пользования (БСПСЭП). Этим службам выделена ширина полосы 230 МГц.

БСПСЭП находится в стадии планирования с предварительными цифрами в отношении доли абонентов, плотности рабочей нагрузки и уровней мощности. 8-я Исследовательская комиссия по радиосвязи представила относительно подробные предположения об уровнях мощности, требованиях к ширине полосы, плотности рабочей нагрузки и т. д. Сводка представленных предположений о системе приведена в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1  
Сводка предположений о системе

	Подвижная станция вне помещения	Персональная станция вне помещения	Персональная станция внутри помещения
Высота антенны базовой станции (м)	50	<10	<3
Городская площадь, накрываемая потоком информации (Е/км <sup>2</sup> )	500 (0,25)	1 500 (1,2)	20 000 (1,2)
Площадь ячеек (км <sup>2</sup> )	0,94	0,016	0,0006
Ширина полосы канала при дуплексной связи (кГц)	25	50	50
Поток информации на ячейку (Е)	470	24	12
Число каналов в ячейке	493	34	23
Ширина полосы для телефонных служб (МГц)	111	27	24
Диапазон мощности станций (Вт)	1–5	0,02–0,05	0,003–0,01
Скорость кодирования речи (кбит/с)	8	(16)	(16)
Отношение пиковой рабочей нагрузки к средней	(3)	3	(3)
Пиковая рабочая нагрузка на станцию (Е)	0,1 (0,04)	0,04 (0,1)	0,2 (0,1)
Доля абонентов (проникновение) (%)	50 (10)	80 (20)	(20)

В некоторых случаях было обнаружено, что для средних оценок помех предположения о БСПСЭП были слишком оптимистичными, в частности в отношении плотности рабочей нагрузки и доли абонентов. Вместо них использовались величины, приведенные в скобках. При первоначальных данных БСПСЭП величины превышения помех были бы выше. В случае отсутствия данных для вычислений использовались числа в скобках.

Рассматривались только телефонные службы, но предполагается, что для нетелефонных служб будут получены очень близкие к ним значения.

Предположения о плотности потока информации, принятые для анализа, основаны на имеющихся данных для Европы. Численность населения во всех странах Общего рынка в настоящее время близка к 323 млн. человек, живущих на площади 2,3 млн. км<sup>2</sup>. Это дает среднее значение 140 человек на км<sup>2</sup>, использовавшееся для расчета помех для земных станций.

Предположения о плотности потока информации для варианта взаимных помех для приемников космического аппарата могут быть получены аналогичным образом. Геоостационарный космический аппарат "видит" показанный на рисунке 3 район, в котором к 2000 году будет жить приблизительно 4 млрд. человек.

Минимальная высота орбиты космического аппарата равна 250 км. На рисунке 4 показана зона, видимая космическим аппаратом с высоты орбит 250 км и 750 км, соответственно. Зона приема помехи для орбиты 250 км составляет уже 9,6 млн. км<sup>2</sup>. Оценка численности населения, проживающего в этой зоне, дает значение более 600 млн. человек. На рисунке 5 показаны зоны приема помехи для орбит с низким наклоном – около 29°, что является типичным для орбит многоразовых космических аппаратов.

Для всех служб БСПСЭП было учтено ослабление в окружающей среде для трасс передачи, проходящих через окна, стены, потолки, строения и деревья. Приняты следующие типичные значения ослабления: для окон (6,6 дБ), для стен и потолков (27 дБ). Было принято, что сигнал от большинства, но не от всех персональных устройств внутри помещений будет уменьшаться.

Останется небольшой процент терминалов, которые будут излучать через открытые окна, балконы, террасы или другие "открытые" точки. Для данного исследования предполагалось, что сигнал от примерно 5% устройств почти не ослаблен, а от 25% устройств ослаблен из-за влияния стекол. Помеха от оставшихся 70% устройств рассматривалась как незначительная. В результате для персональных устройств внутри помещений было принято среднее ослабление в 10 дБ. Сигналы от внешних персональных устройств и мобильных устройств будут ослабляться только при прохождении сигнала через строения и деревья. Это часто случается при малых углах места, но в меньшей степени – при больших углах. Учитывая, что основная доля помех приходит от устройств, расположенных вблизи подспутниковой точки, что соответствует большим углам места, можно ожидать, что среднее ослабление составит не более 3 дБ.

Помеха, вызванная базовыми станциями, в данном документе не рассматривалась вследствие отсутствия достаточной технической информации. Очевидно, что следует ожидать дополнительного увеличения того же порядка величины.

## 4 Требования к защите для космических служб

### 4.1 Требования к защите для земных станций

Максимальные уровни помех в приемниках земных станций зависят от эксплуатирующей их службы и соответствуют данным таблицы 8b Приложения 7 к РР и Рекомендации МСЭ-R SA.363. Эти значения и соответствующие минимальные углы места  $\Theta_r$  указаны ниже:

1. Космическая эксплуатация:  $-184,0$  дБ (Вт/кГц),  $\Theta_r = 3^\circ$
2. Космическое исследование:  $-216,0$  дБ (Вт/Гц),  $\Theta_r = 5^\circ$ .

Для типичных условий работы по обеспечению программ космической эксплуатации и космических исследований эксплуатируются антенны диаметром от 5,5 до 15 м – для общей поддержки вплоть до геостационарной орбиты и вне ее. На рисунке 2 показаны характеристики усиления антенны для рассматриваемых станций. Диаграммы направленности излучения основаны на Дополнении III Приложения 8 к РР.

### 4.2 Требования к защите для приемников космических аппаратов

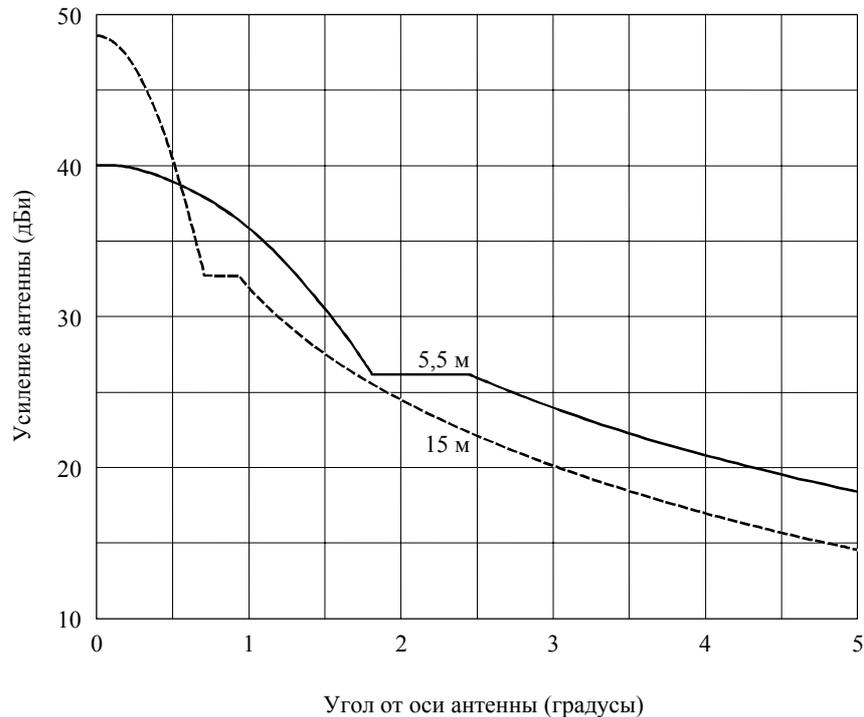
Типичные системные шумовые температуры приемников космических аппаратов составляют около 800 К, что приводит к спектральной плотности шумов около  $-200$  дБ (Вт/Гц). При выполнении некоторых особо ответственных программ космических исследований требуется снижение шумовых температур до 600 К.

Рекомендация МСЭ-R SA.609 определяет, что помеха не должна превышать значение  $-177$  дБ (Вт/кГц) на входных зажимах приемника в течение более чем 0,1% времени. Предполагается, что в указанной полосе каждая из служб (фиксированная, подвижная и космическая) вносит по одной третьей части полной помехи. Это составляет величину  $-182$  дБ (Вт/кГц), эквивалентную значению  $-212$  дБ (Вт/Гц) допустимого вклада в помехи от подвижных служб. Данное значение хорошо согласуется с критериями защиты, указанными в пп. 1.1, 1.2 и 2.2 раздела *рекомендует*.

Среднее усиление квазивсенарправленной антенны составляет около 0 дБи, причем минимальное усиление редко превышает  $-6$  дБи. Такая антенна требуется для установления канала связи с космическим аппаратом в чрезвычайных ситуациях или в случаях, когда другие антенны не могут использоваться по техническим или эксплуатационным причинам, например, во время запуска и на начальных участках орбиты. Это применимо также к спутникам связи. При усилении антенны 0 дБи допустимый уровень помех от мобильных устройств на антенном входе составляет, следовательно,  $-212$  дБ (Вт/Гц).

РИСУНОК 2

## Типичные характеристики антенн спутниковых земных станций



Частота = 2,25 (ГГц)  
 $G_{min}$  = -6 и -10 дБи

D02

Ситуация более неблагоприятна для канала связи космос–космос, где, например, у спутника ретрансляции данных антенна с высоким коэффициентом усиления направлена на спутник, находящийся на низкой околоземной орбите. Применение тех же вышеуказанных предположений, но при типичном усилении антенны 35 дБи, дает допустимый уровень помех на входе антенны, равный -247 дБ (Вт/Гц).

В Рекомендации МСЭ-R SA.363 устанавливается защитное отношение  $C/I$  в 20 дБ для космической эксплуатации. В последние годы многие космические агентства ввели в практику методы кодирования канала с целью сбережения мощности передатчика и, как следствие, уменьшения помех другим системам. Необходимо различать два случая, т. е. некодированные и кодированные передачи:

- Для некодированных передач требуется отношение  $E_s/N_0 = 9,6$  дБ для коэффициента ошибок по битам  $10^{-5}$ . Добавление типичного запаса в 3 дБ приводит к требуемому отношению  $C/N = 12,6$  дБ. Полное отношение помеха/шум,  $I/N$ , составляет, следовательно, -7,4 дБ. Допущение, что подвижные службы вносят третью часть суммарной помехи, приводит к величине  $I_m/N = -12,4$  дБ. Для типичной плотности мощности шума в -200 дБ (Вт/Гц) допустимая помеха составляет -212,4 дБ (Вт/Гц).
- Для кодированных передач требуется отношение  $E/N_0 = 1,5$  дБ для коэффициента ошибок по битам  $10^{-5}$  при стандартном сверточном кодировании канала. Добавление типичного запаса в 3 дБ приводит к требуемому отношению  $C/N = 4,5$  дБ. Следовательно,  $I/N$  составляет -15,5 дБ. Допущение, что подвижные системы вносят третью часть суммарной помехи, приводит к величине  $I_m/N = -20,5$  дБ. Для плотности мощности шума в -200 дБ (Вт/Гц) допустимая помеха составляет -217,5 дБ (Вт/Гц), что на 5 дБ ниже величины защиты, указанной в Рекомендации МСЭ-R SA.609.

Несмотря на то, что для кодированных передач требуются более высокие уровни защиты, для данного исследования был принят критерий защиты -212 дБ (Вт/Гц), поскольку это согласуется со значениями, установленными в Рекомендациях МСЭ-R SA.609 и МСЭ-R SA.363.

## 5 Анализ помех

### 5.1 Канал связи Земля–космос (2025–2110 МГц)

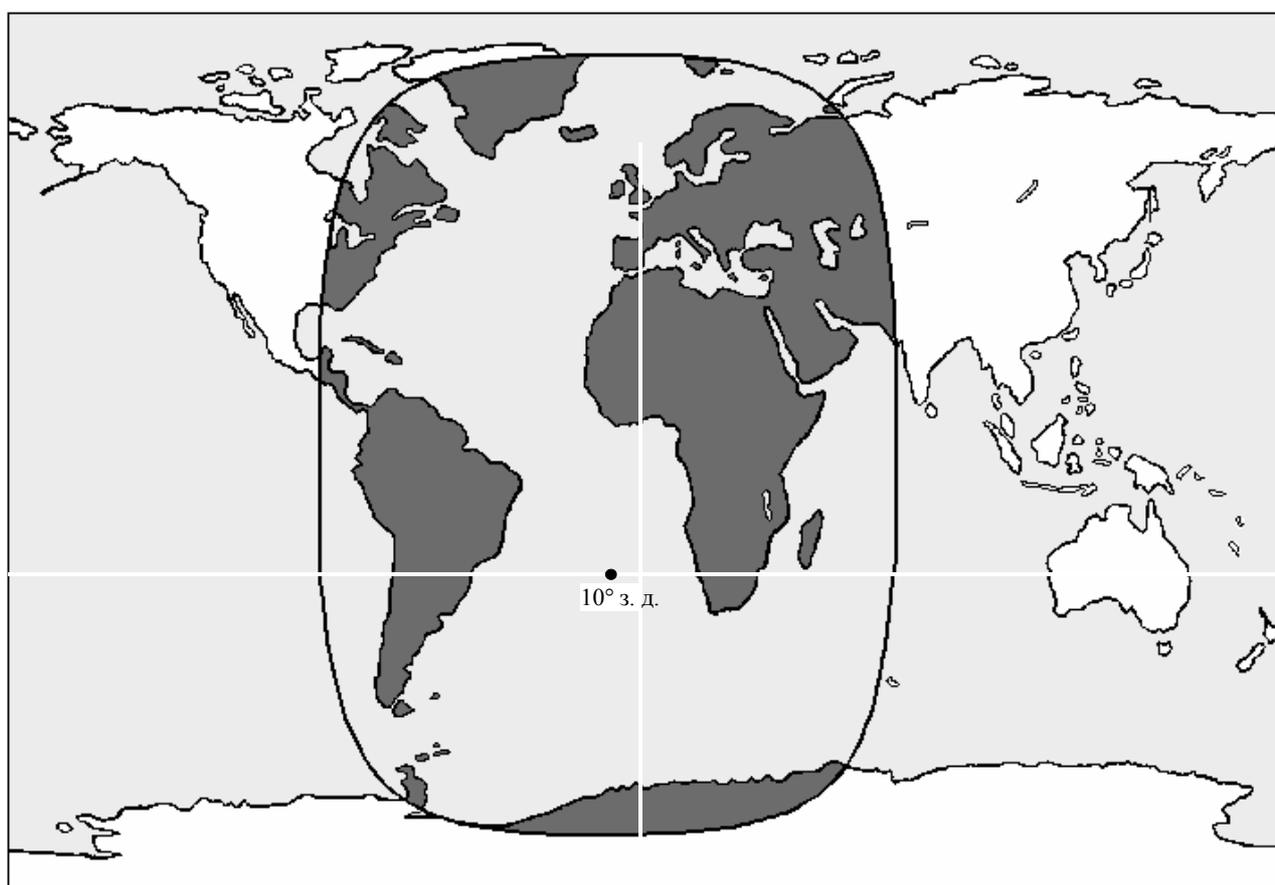
#### 5.1.1 Помехи, воздействующие на космический аппарат

Каналы связи Земля–космос, рассматриваемые в данном анализе, соответствуют орбитальным высотам между 250 и 36 000 км, поскольку более 90% всех космических аппаратов работают на геостационарной орбите или на более низких орбитах.

На рисунке 3 показана зона, из которой геостационарный космический аппарат может принимать сигналы при помощи квазивсенаправленной антенны. Положение космического аппарата произвольно выбрано на  $10^\circ$  з. д. Согласно оценкам, в наиболее неблагоприятном случае с космического корабля может быть видна зона, в которой расположено более 70% всех подвижных терминалов на Земле.

РИСУНОК 3

Зона приема помех для геостационарных спутников



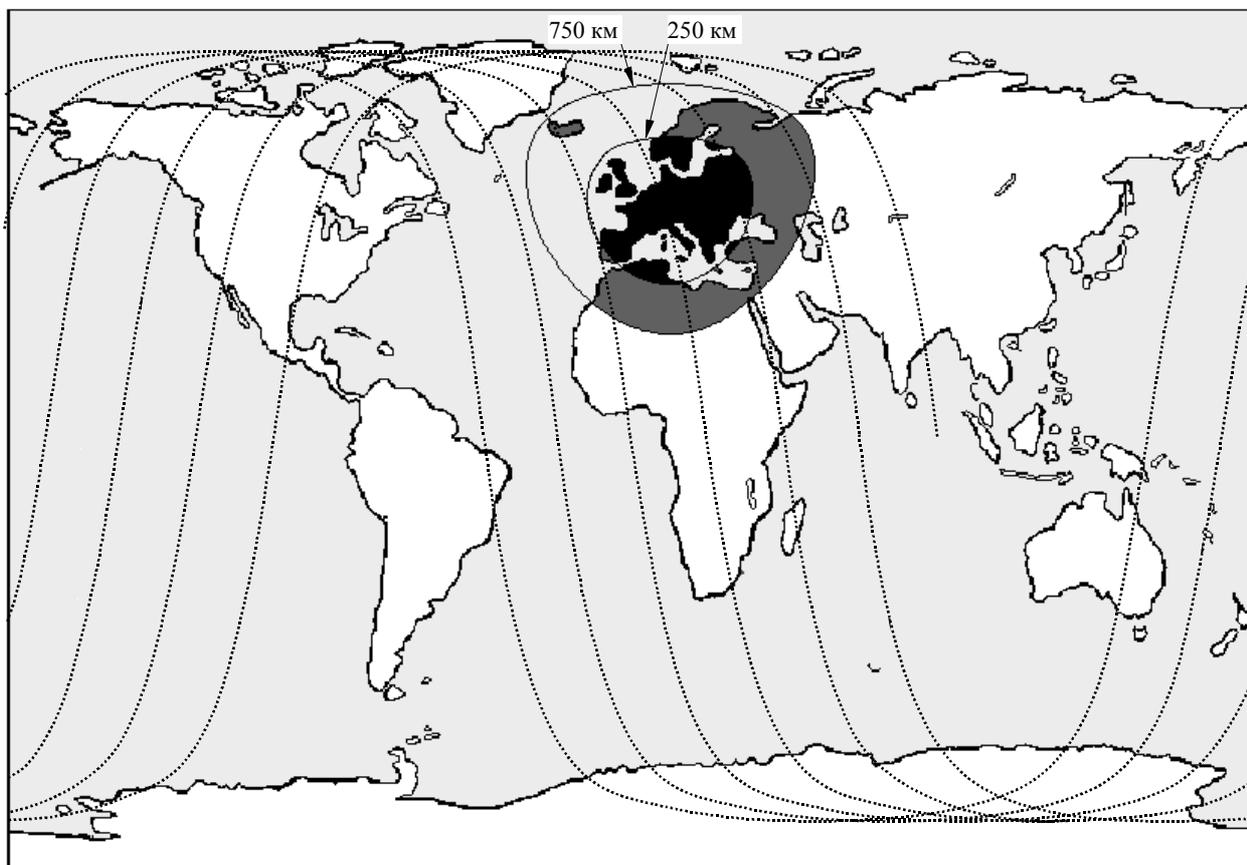
D03

На рисунке 4 показана зона, из которой может принимать сигналы спутник на низкой околоземной орбите над высотами орбиты между 250 и 750 км. В этом случае было принято, что космический аппарат находится над серединой Европы. Получающееся в результате "окно" будет двигаться вдоль наземной трассы, указанной пунктиром. Очевидно, что с космического аппарата может быть видна очень большая зона, возможно с миллионами передающих мобильных устройств.

На рисунке 5 показана вся зона, из которой может принимать помехи космический аппарат многоцелевого использования с типичным наклоном орбиты  $29^\circ$ .

РИСУНОК 4

Зона приема помех для спутников на низкой околоземной орбите ( $i = 98^\circ$ )



D04

Площадь зоны помех,  $A$ , определяется как:

$$A_i = \frac{2\pi R^2 h}{R + h},$$

где:

$R$  – радиус Земли (6378 км)

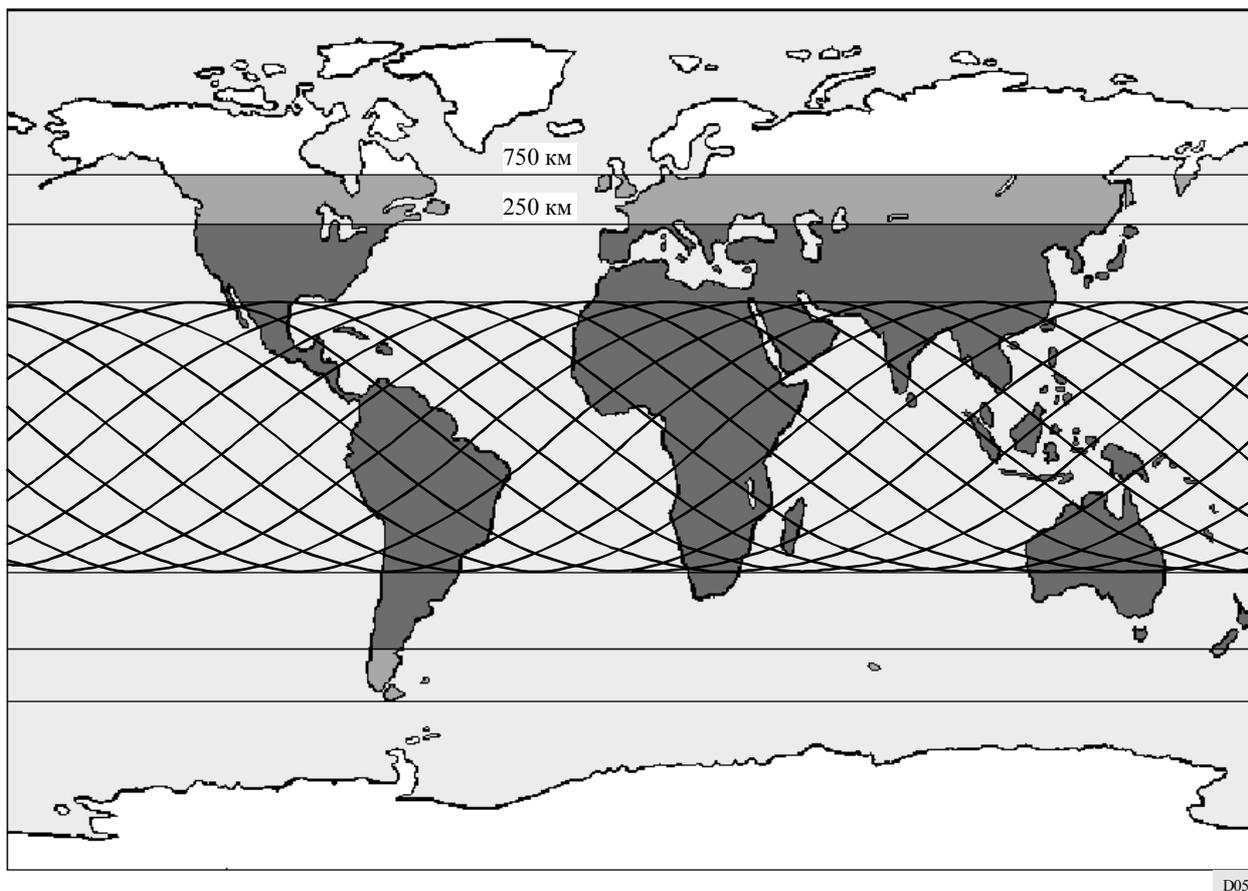
$h$  – высота орбиты (от 250 до 36 000 км).

На высоте 250 км космический аппарат будет принимать помехи с площади 9,6 млн. км<sup>2</sup>. Эта величина возрастает до 27 млн. км<sup>2</sup> для орбитальной высоты 750 км. Максимальная площадь, видимая геостационарным спутником, составляет 217 млн. км<sup>2</sup>.

Уровень спектральной плотности помех,  $P_i$ , принимаемых антенной космического аппарата от одного отдельного подвижного передатчика, может быть рассчитан следующим образом:

$$P_i = \frac{E_i c^2}{B_i (4\pi x f)^2}.$$

РИСУНОК 5

Зона приема помех для спутников на низкой околоземной орбите ( $i = 29^\circ$ )

D05

Совокупная помеха  $P_{\Sigma i}$  от всех мобильных устройств в зоне помех определяется выражением:

$$P_{\Sigma i} = \int_{x=h}^{d_m} \frac{n_a P_i B_i h^2 dA(x)}{B_m A_i x^2} dx = \frac{n_a E_i c^2}{(4\pi f)^2 B_m A_i} \int_{x=h}^{d_m} \frac{dA(x)}{x^2} dx$$

$$A(x) = \frac{\pi R (x^2 - h^2)}{R + h}$$

$$\frac{dA(x)}{dx} = \frac{2\pi R}{R + h} x$$

$$d_m = \sqrt{(R + h)^2 - R^2}$$

$$P_{\Sigma i} = \frac{n_a E_i c^2}{(4\pi f)^2 B_m R h} [\ln(d_m) - \ln(h)],$$

где:

$P_i$  – плотность мощности источника помех

$E_i$  – э.и.и.м. источника помех

$x$  – расстояние до источника помех

- $f$  – частота передачи  
 $n_a$  – число активных мобильных устройств  
 $c$  – скорость света  
 $B_i$  – ширина полосы одного мобильного устройства  
 $B_m$  – ширина полосы подвижной службы  
 $d_m$  – максимальное расстояние до источника помех.

Для упрощения было принято равномерное распределение активных терминалов в пределах доступной ширины полосы и зоны помех. В таблице 2 представлен список подробно изложенных предположений и полученных в результате уровней помех. Необходимо сделать вывод, что совместное использование частот для этих каналов связи невозможно, поскольку уровни помех на несколько порядков величины превышают допустимые уровни.

### 5.1.2 Помехи, создаваемые мобильными устройствами

Мобильные устройства будут принимать вредные помехи от передающей земной станции, если они используются в пределах некоторого расстояния от этой станции. Максимальные уровни уровня э.и.и.м. для поддержки спутников на околоземной орбите обычно составляют от 66 до 78 дБВт.

Учитывая величины усиления антенн в горизонтальном направлении, как показано на рисунке 2, и тот факт, что антенна в принципе излучает во всех направлениях, при наименьшем уровне усиления в  $-10$  дБи для заднего лепестка антенны ( $-6$  дБи для антенны размером 5,5 м), должны ожидаться следующие уровни э.и.и.м. вблизи антенны в горизонтальном направлении. Уровни плотности э.и.и.м. во многом зависят от скорости передачи данных. Для службы космической эксплуатации максимальная скорость передачи данных обычно равна нескольким кбит/с, в то время как для службы космических исследований следует рассматривать диапазон по крайней мере от 1 кбит/с до 100 кбит/с.

Диаметр антенны (м)	Диапазон э.и.и.м. (дБВт)	Диапазон плотности э.и.и.м. (дБ (Вт/4 кГц))
5,5 (3°)	20–50	14–47
15 (3°)	19–50	13–47

Уровни защиты устройств БСПСЭП неизвестны, но система будет иметь ограничения по собственным помехам, а не по шуму. Считая допустимыми уровни помех около  $-150$  дБ (Вт/4 кГц) и предполагая существование некоторых дополнительных потерь из-за дифракции сигнала, для удовлетворительной работы мобильных устройств, может потребоваться защитная зона до 100 км.

### 5.2 Канал связи космос–Земля (2200–2290 МГц)

В отношении этих каналов связи следует делать различие для разных космических служб. Наиболее критической является служба космических исследований, но результаты для служб космической эксплуатации и исследования Земли фактически весьма схожи.

Трудно делать предположения о распределении подвижных передатчиков вокруг земной станции спутниковой связи, поскольку они в значительной степени зависят от местоположения станции. Было принято среднее распределение, основанное на числе жителей в странах Европейского общего рынка. Средняя плотность населения в 140 человек на км<sup>2</sup> является следствием того, что 323 млн. человек живут на площади 2,3 млн. км<sup>2</sup>. В результате средняя плотность трафика составляет 2,8 Е/км<sup>2</sup> для персональных станций и 0,56 Е/км<sup>2</sup> для подвижных станций.

ТАБЛИЦА 2  
Линии связи Земля–космос (2025–2110 МГц)

	Персональные станции внутри здания		Персональные станции вне здания		Подвижные станции	
Высота орбиты космического аппарата (км)	250	36 000	250	36 000	250	36 000
Э.и.и.м. одного устройства БСПСЭП (Вт)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,00	1,00
Ширина полосы канала для речевой связи (кГц)	50,0	50,0	50,0	50,0	25,0	25,0
Плотность э.и.и.м. одного устройства БСПСЭП (дБ (Вт/Гц))	-72,2	-72,2	-64,0	-64,0	-44,0	-44,0
Потери на расходимость пучка в пространстве (дБ)	146,7	189,8	146,7	189,8	146,7	189,8
Помеха от одного устройства (дБ (Вт/Гц))	-218,9	-262,1	-210,7	-253,8	-190,7	-233,8
Допустимая плотность помехи (дБ (Вт/Гц))	-212,0	-212,0	-212,0	-212,0	-212,0	-212,0
Превышение помехи от одного устройства (дБ)	-6,9	-50,1	1,3	-41,8	21,3	-21,8
Зона помех, видимая космическим аппаратом (млн./км <sup>2</sup> )	9,64	217,13	9,64	217,13	9,64	217,13
Общая численность населения в зоне (млн.)	600	4 000	600	4 000	600	4 000
Процент обслуживаемых абонентов (%)	20,0	20,0	20,0	20,0	10,0	10,0
Среднее количество устройств с целом на км <sup>2</sup>	12,4	3,7	12,4	3,7	6,2	1,8
Процент активных устройств в зоне (%)	10,0	10,0	10,0	10,0	4,0	4,0
Количество одновременно действующих активных устройств в зоне (млн.)	12,0	80,0	12,0	80,0	2,4	16,0
Среднее количество активных устройств на км <sup>2</sup> (Е/км <sup>2</sup> )	1,24	0,37	1,24	0,37	0,25	0,07
Предусмотренная ширина полосы службы (телефонные каналы) (МГц)	24	24	27	27	111	111
Количество активных устройств на канал	25 000	166 667	22 222	148 148	541	3 604
Ослабление в окружающей среде (строения, деревья) (дБ)	10,0	10,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Совокупная помеха от всех активных устройств (дБ (Вт/Гц))	-196	-221	-181	-206	-177	-202
Среднее превышение над допустимой помехой (дБ)	16,0	-8,5	30,7	6,2	34,6	10,1
Увеличение помех в течение пиковой активности (дБ)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Увеличение помех при более высоких уровнях мощности (дБ)	5,2	5,2	4,0	4,0	7,0	7,0
Увеличение помех над зонами с высокой плотностью (дБ)	5,3	0,0	5,3	0,0	5,3	0,0
Превышение помехи над допустимой в наихудшем случае (дБ)	31,5	1,7	45,0	15,2	51,8	22,1

Помехи сосредоточены в пределах расстояния 1–10 км вокруг станции, для которой можно предполагать наличие прямой видимости. Для большинства местоположений станций нельзя исключить, что мобильные устройства будут находиться на расстояниях даже меньше 1 км. Разумеется, дополнительная помеха принимается и от более отдаленных мобильных терминалов, но в целях упрощения это не учитывается. Усиление антенны изменяется с азимутальным углом и было проинтегрировано в пределах 360° для получения среднего значения усиления антенны.

Совокупная помеха определяется как:

$$P_{\Sigma i} = \int_{x=d_1}^{d_2} \frac{md_a P_i B_i dA_{(x)}}{B_m} dx = \frac{md_a E_i c^2}{(4\pi f)^2 B_m} \int_{x=d_1}^{d_2} \frac{dA_{(x)}}{x^2} dx$$

$$A_{(x)} = \pi x^2$$

$$\frac{dA_{(x)}}{dx} = 2\pi x$$

$$P_{\Sigma i} = \frac{md_a E_i c^2}{8\pi f^2 B_m} [\ln(d_2) - \ln(d_1)],$$

где:

$md_a$  – средняя плотность мобильных устройств

$d_1$  – минимальный радиус вокруг станции

$d_2$  – максимальный радиус вокруг станции.

В таблицах 3а и 3б приведены подробные результаты, полученные для рассматриваемых космических служб. Наихудший случай возникает, когда мобильное устройство ведет передачу в направлении основного луча. Было сделано предположение, что характерной является отдельная передающая станции на расстоянии 10 км, хотя возможно и гораздо более короткое расстояние. Основной вывод, который можно сделать, состоит в том, что создаваемые уровни помех на несколько порядков величины выше допустимых уровней, даже если предполагается средний коэффициент усиления антенны в несколько дБи и производится упрощенный расчет помех, неблагоприятных для космических служб; таким образом совместное использование частот невозможно.

### 5.3 Канал связи космос–космос (2025–2110 МГц)

Наиболее критическим случаем в этой категории является канал связи между геостационарным спутником, например, спутником для ретрансляции данных и спутником на низкой околоземной орбите. Для последнего высота орбиты находится обычно между 250 и 1000 км.

Такой канал, например, характерен для пилотируемого космического корабля многоразового использования, высота орбиты которого составляет около 400 км. Совершенно необходимо, чтобы антенна этого космического корабля была всенаправленной для осуществления надежного управления и связи на каждом этапе полета и, в особенности, в аварийных ситуациях.

Из-за ограничений плотности потока мощности на Земле также установлен предел на э.и.и.м., которую спутник ретрансляции данных может излучать в направлении к Земле, т.е. в направлении низкоорбитального спутника. Это приводит к серьезным ограничениям запаса для канала связи. Помехи, даже при низких уровнях, являются, чрезвычайно опасными.

Рассчитанные уровни помех настолько высоки, что любые каналы связи с низкоорбитальными космическими кораблями или каналы для передачи данных оказываются полностью забиты помехами. Увеличение э.и.и.м. на передающем геостационарном спутнике невозможно из-за ограничений на плотность потока мощности. Следовательно, невозможно и совместное использование частот с сухопутными мобильными устройствами.

В таблице 4 приведены подробные результаты.

ТАБЛИЦА 3

## Каналы связи космос–Земля (2200–2290 МГц)

Таблица 3а: Служба космической эксплуатации	Персональные станции внутри здания		Персональные станции вне здания		Подвижные станции	
Среднее горизонтальное усиление земной станции (5,5 м) (дБн)		7,5		7,5		7,5
Максимальное горизонтальное усиление земной станции (3°) (дБи)	24,0		24,0		24,0	
Количество активных устройств на км <sup>2</sup> (Е/км <sup>2</sup> )		2,800		2,800		0,560
Плотность активных устройств на канал на км <sup>2</sup>		0,0058		0,0052		0,0001
Э.и.и.м. одного устройства БСПСЭП (Вт)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,000	1,000
Плотность э.и.и.м. одного устройства БСПСЭП (дБ (Вт/Гц))	-72,2	-72,2	-64,0	-64,0	-44,0	-44,0
Допустимая плотность помехи на входе приемника (дБ (Вт/кГц))	-184,0	-184,0	-184,0	-184,0	-184,0	-184,0
Допустимая плотность помехи на входе антенны (дБ (Вт/кГц))	-208,0	-191,5	-208,0	-191,5	-208,0	-191,5
Помеха от устройств на расстоянии между 1 и 10 км (дБ (Вт/кГц))		-152,4		-144,7		-140,9
Помеха от одного устройства на расстоянии 10 км (LOS) (дБ (Вт/кГц))	-161,5		-153,3		-133,3	
Превышение над допустимой помехой (дБ)	46,5	39,1	54,7	46,8	74,7	50,6
Таблица 3б: Космические исследования	Персональные станции внутри здания		Персональные станции вне здания		Подвижные станции	
Среднее горизонтальное усиление земной станции (15 м) (дБи)		2,4		2,4		2,4
Максимальное горизонтальное усиление земной станции (5°) (дБи)	14,5		14,5		14,5	
Количество активных устройств на км <sup>2</sup> (Е/км <sup>2</sup> )		2,800		2,800		0,560
Плотность активных устройств на канал на км <sup>2</sup>		0,0058		0,0052		0,0001
Э.и.и.м. одного устройства БСПСЭП (Вт)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,000	1,000
Плотность э.и.и.м. одного устройства БСПСЭП (дБ (Вт/Гц))	-72,2	-72,2	-64,0	-64,0	-44,0	-44,0
Допустимая плотность помехи на входе приемника (дБ (Вт/кГц))	-220,0	-220,0	-220,0	-220,0	-220,0	-220,0
Допустимая плотность помехи на входе антенны (дБ (Вт/кГц))	-234,5	-222,4	-234,5	-222,4	-234,5	-222,4
Помеха от устройств на расстоянии между 1 и 10 км (дБ (Вт/кГц))		-182,4		-174,7		-170,9
Помеха от одного устройства на расстоянии 10 км (LOS) (дБ (Вт/кГц))	-191,5		-183,3		-163,3	
Превышение над допустимой помехой (дБ)	43,0	40,0	51,2	47,7	71,2	51,5

ТАБЛИЦА 4  
Каналы связи космос–космос (2025–2110 МГц)

	Персональные станции внутри здания		Персональные станции вне здания		Подвижные станции	
Высота орбиты космического аппарата (км)	250	750	250	750	250	750
Э.и.и.м. одного устройства БСПСЭП (Вт)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,00	1,00
Ширина полосы канала для речевой связи (кГц)	50,0	50,0	50,0	50,0	25,0	25,0
Плотность э.и.и.м. одного устройства БСПСЭП (дБ (Вт/Гц))	-72,2	-72,2	-64,0	-64,0	-44,0	-44,0
Потери на расходимость пучка в пространстве (дБ)	146,7	156,2	146,7	156,2	146,7	156,2
Помеха от одного устройства (дБ (Вт/Гц))	-218,9	-228,4	-210,7	-220,2	-190,7	-200,2
Допустимая плотность помехи (дБ (Вт/Гц))	-212,0	-212,0	-212,0	-212,0	-212,0	-212,0
Превышение помехи от одного устройства (дБ)	-6,9	-16,4	1,3	-8,2	21,3	11,8
Зона помех, видимая космическим аппаратом (млн./км <sup>2</sup> )	9,64	26,89	9,64	26,89	9,64	26,89
Общая численность населения в зоне (млн.)	600	800	600	800	600	800
Процент обслуживаемых абонентов (%)	20,0	20,0	20,0	20,0	10,0	10,0
Среднее количество устройств в целом на км <sup>2</sup>	12,4	5,9	12,4	5,9	6,2	3,0
Процент активных устройств в зоне (%)	10,0	10,0	10,0	10,0	4,0	4,0
Количество одновременно действующих активных устройств в зоне (млн.)	12,0	16,0	12,0	16,0	2,4	3,2
Среднее количество активных устройств на км <sup>2</sup> (Е/км <sup>2</sup> )	1,24	0,59	1,24	0,59	0,25	0,12
Предусмотренная ширина полосы службы (телефонные каналы) (МГц)	24	24	27	27	111	111
Количество активных устройств на канал	25 000	33 333	22 222	29 630	541	721
Ослабление в окружающей среде (строения, деревья) (дБ)	10,0	10,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Совокупная помеха от всех активных устройств (дБ (Вт/Гц))	-196,0	-200,9	-181,3	-186,2	-177,4	-182,3
Среднее превышение над допустимой помехой (дБ)	16,0	11,1	30,7	25,8	34,6	29,7
Увеличение помех в течение пиковой активности (дБ)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Увеличение помех при более высоких уровнях мощности (дБ)	5,2	5,2	4,0	4,0	7,0	7,0
Увеличение помех над зонами с высокой плотностью (дБ)	5,3	3,0	5,3	3,0	5,3	3,0
Превышение помехи над допустимой в наихудшем случае (дБ)	31,5	24,3	45,0	37,8	51,8	44,6

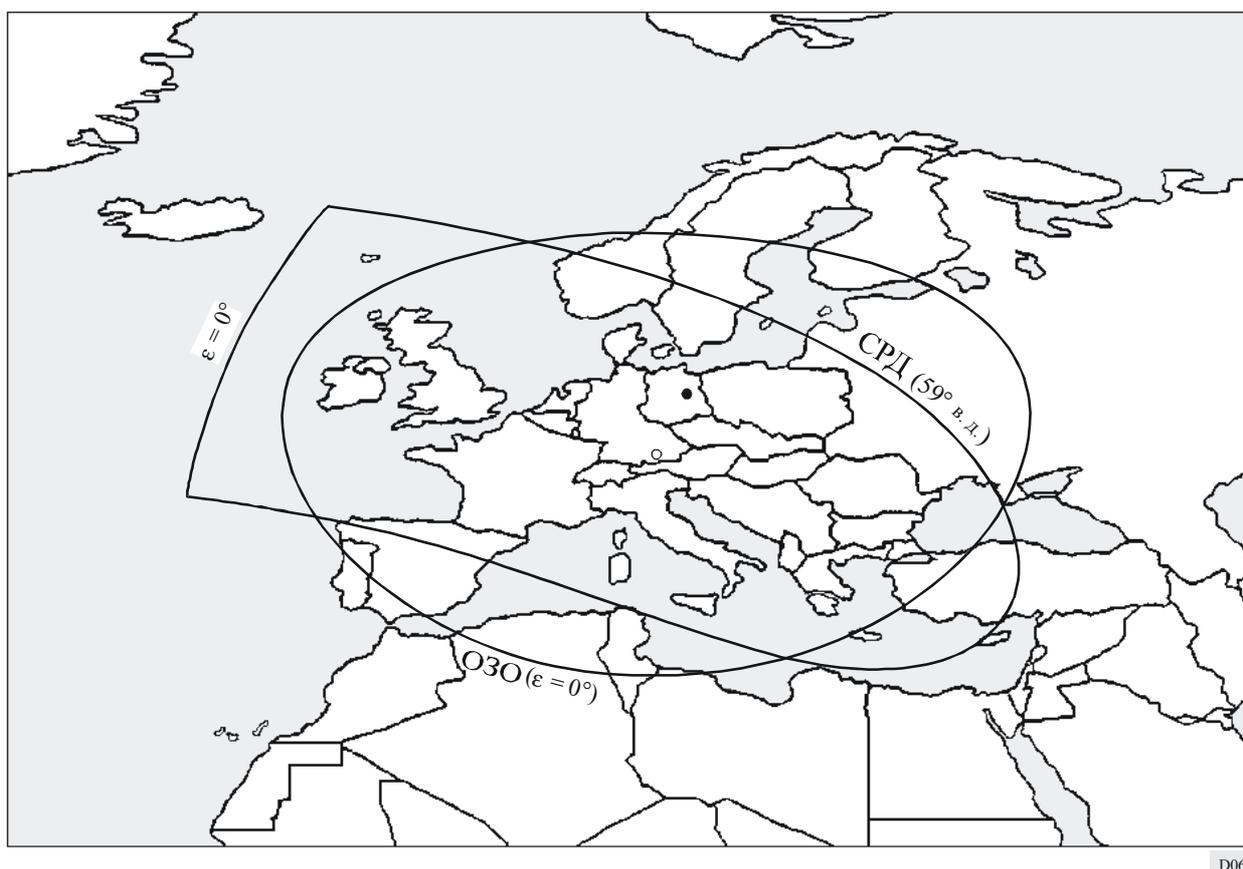
#### 5.4 Канал связи космос–космос (2200–2290 МГц)

Эта полоса частот используется для каналов передачи данных от низкоорбитальных спутников на геостационарные спутники ретрансляции данных и для связи на короткие расстояния между низкоорбитальными спутниками, а в конечном счете также между космонавтами. Следовательно, должны быть рассмотрены орбиты с высотами между 250 и 36 000 км.

В принципе здесь применимы те же самые предположения, которые были перечислены выше, за исключением того, что геостационарный спутник использует для связи с низкоорбитальными аппаратами антенны с большим коэффициентом усиления. Это приводит к очень низким допустимым уровням помех на входе антенны. Ширина луча антенны обычно составляет несколько градусов, поэтому могут приниматься помехи с территории, площадь которой несколько меньше, чем для орбиты с высотой 250 км. На рисунке 6 дается типичный пример для области, из которой помеха будет приниматься спутником ретрансляции данных при слежении за аппаратом на низкой околоземной орбите.

РИСУНОК 6

Зона покрытия антенны спутника ретрансляции данных и спутника ОЗО на высоте 250 км



D06

Подробные результаты приведены в таблице 5. К сожалению, в этом случае совместное использование частот также невозможно.

#### 5.5 Сценарии наихудшего случая для всех каналов связи

Использованные выше предположения для изучения помех основаны на среднем распределении мобильных устройств по территории зоны помех, средней активности, минимальных уровнях мощности для устройств БСПСЭП и равной занятости всех доступных каналов. Следовательно, результирующие избыточные значения помех являются средними в диапазоне низких значений.

ТАБЛИЦА 5  
Каналы связи космос–космос (2200–2290 МГц)

	Персональные станции внутри здания		Персональные станции вне здания		Подвижные станции	
Высота орбиты космического аппарата (км)	250	36 000	250	36 000	250	36 000
Э.и.и.м. одного устройства БСПСЭП (Вт)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,000	1,000
Ширина полосы канала для речевой связи (кГц)	50,0	50,0	50,0	50,0	25,0	25,0
Плотность э.и.и.м. одного устройства БСПСЭП (дБ (Вт/Гц))	-72,2	-72,2	-64,0	-64,0	-44,0	-44,0
Потери на расходимость пучка в пространстве (дБ)	146,7	189,8	146,7	189,8	146,7	189,8
Помеха от одного устройства (дБ (Вт/Гц))	-218,9	-262,1	-210,7	-253,8	-190,7	-233,8
Допустимая плотность помехи (дБ (Вт/Гц))	-212,0	-247,0	-212,0	-247,0	-212,0	-247,0
Превышение помехи от одного устройства (дБ)	-6,9	-15,1	1,3	-6,8	21,3	13,2
Зона помех, видимая космическим аппаратом (млн./км <sup>2</sup> )	9,64	8,00	9,64	8,00	9,64	8,00
Общая численность населения в зоне (млн.)	600	500	600	500	600	500
Процент обслуживаемых абонентов (%)	20,0	20,0	20,0	20,0	10,0	10,0
Среднее количество устройств в целом на км	62,2	62,5	62,2	62,5	62,2	62,5
Процент активных устройств в зоне (%)	10,0	10,0	10,0	10,0	4,0	4,0
Количество одновременно действующих активных устройств в зоне (млн.)	12,0	10,0	12,0	10,0	2,4	2,0
Среднее количество активных устройств на км <sup>2</sup> (Е/км <sup>2</sup> )	1,24	1,25	1,24	1,25	0,25	0,25
Предусмотренная ширина полосы службы (телефонные каналы) (МГц)	24	24	27	27	111	111
Количество активных устройств на канал	25 000	20 833	22 222	18 519	541	450
Ослабление в окружающей среде (строения, деревья) (дБ)	10,0	10,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Совокупная помеха от всех активных устройств (дБ (Вт/Гц))	-196,0	-218,9	-181,3	-211,1	-177,4	-207,3
Среднее превышение над допустимой помехой (дБ)	16,0	27,2	30,7	34,9	34,6	38,8
Увеличение помех в течение пиковой активности (дБ)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Увеличение помех при более высоких уровнях мощности (дБ)	5,2	5,2	4,0	4,0	7,0	7,0
Увеличение помех над зонами с высокой плотностью (дБ)	5,3	0,0	5,3	0,0	5,3	0,0
Превышение помехи над допустимой в наихудшем случае (дБ)	31,5	37,4	45,0	43,9	51,8	50,8

Если космический аппарат пролетает над большими городами или густонаселенными районами Европы, совокупная помеха значительно возрастает вследствие уменьшения расстояния от большого числа мобильных устройств до космического аппарата. Чтобы учесть большие городские зоны и пригороды, было принято, что 20% всех мобильных устройств, видимых с космического аппарата, находятся вблизи подспутниковой точки. Это вполне возможно над большими городами, подобными Парижу и Лондону, где плотность трафика составляет до 20 000 Е/км<sup>2</sup> на этаж здания. Это приводит к увеличению помехи на величину от 3 дБ для орбиты с высотой 750 км до 5 дБ для орбиты с высотой 250 км. Для геостационарных орбит увеличение не предполагалось, поскольку большая концентрация мобильных устройств вблизи экватора маловероятна.

Увеличение помехи также будет происходить иногда в периоды пиковых нагрузок. Можно предположить увеличение плотности трафика в 3 раза. Это приводит к потенциальному росту помех на величину между 4 и 7 дБ. Другой причиной более высокого уровня помех может быть неравномерное занятие каналов, но поскольку этот фактор трудно оценить, в данном исследовании он не учитывался.

Для каналов связи Земля–космос и двух каналов космос–космос может быть сделан вывод, что помеха в наихудшем случае может быть выше среднего значения на величину 9–16 дБ.

Ситуация для канала связи космос–Земля немного отличается. Наихудшей ситуации соответствовал бы случай, когда мобильное устройство ведет передачу вблизи станции почти в направлении главного луча. Принимая расстояние между мобильным устройством и земной станцией равным 10 км, можно получить, что соответствующий уровень помех превысит установленные уровни защиты на 43–75 дБ.

## 6 Заключение

Краткая сводка превышения помех для всех проанализированных каналов связи приведена в таблице 6. Нижние значения основаны на средних уровнях превышения помех. Верхние значения получены с учетом наихудших случаев, относящихся к увеличению плотности числа мобильных устройств на густонаселенных территориях, верхним пределам установленной рабочей мощности и периодам времени с высокой интенсивностью связи. Неравномерное занятие каналов, являющееся еще одним источником увеличения помех, не рассматривалось.

ТАБЛИЦА 6

Сводка помех для всех рассмотренных каналов связи и всех мобильных устройств

Превышение помехи (дБ)	Персональная станция внутри помещения	Персональная станция вне помещения	Подвижная станция
Земля–космос (2025–2110 МГц)	16–32	31–45	35–52
Космос–Земля (2200–2290 МГц)	39–47	47–55	51–75
Космос–космос (2025–2110 МГц)	16–32	31–45	35–52
Космос–космос (2200–2290 МГц)	27–37	35–45	39–52

Представлен анализ помех между сухопутными подвижными системами типа БСПСЭП и службами космической эксплуатации, космических исследований и исследования Земли. На всех типах каналов связи, рассмотренных в данной Рекомендации, совместное использование частот с данной подвижной системой и подобными ей подвижными системами высокой плотности невыполнимо. Результирующие уровни помех составляют величины, которые на несколько порядков выше, чем допустимые уровни, установленные в РР и в Рекомендациях МСЭ-R.

## Приложение 2

### Краткое изложение исследований характеристик подвижных систем, которые облегчают радиочастотную совместимость с космическими научными службами

#### 1 Введение

В данном Приложении кратко изложены результаты исследований, относящихся к техническим и эксплуатационным характеристикам подвижных систем, которые могут быть совместимы с системами космических исследований, космической эксплуатации и спутниковых исследований Земли, работающими в диапазонах 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц.

Характеристики подвижных систем, которые облегчают совместное использование частот:

- излучения с низкой спектральной плотностью мощности,
- передачи прерывистого характера,
- использование направленных передающих антенн,
- число подвижных станций самоограничивается в результате характера их применения.

Исследования, в которых рассматриваются различные предположения и диапазоны значений для указанных общих характеристик, представлены в следующих разделах. Для того чтобы лучше охарактеризовать помехи в окружающей среде, потребуются дальнейшие исследования, касающиеся совместимости подвижных систем и космических научных систем в диапазонах 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц.

#### 2 Краткое изложение исследований э.и.и.м. и усиления антенны

Введение технических требований для подвижной службы в диапазонах 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц с целью облегчения совместного использования частот с космическими научными службами привело к предложению установить предел э.и.и.м. в 28 дБВт, а также минимальный коэффициент усиления антенны в 24 дБи. Проводились исследования в отношении влияния помех таких систем на службу космических исследований.

В модели, используемой при исследовании, предполагалось глобальное и равномерное распределение направленных мобильных терминалов с коэффициентами усиления антенн между 22 и 26,5 дБи и э.и.и.м. между 28 и 37 дБВт. Рассматривалась высота орбит космических аппаратов между 250 км и 36 000 км.

Результаты изучения показывают, что научные космические операции в диапазоне 2200–2290 МГц значительно больше восприимчивы к помехам, чем в диапазоне 2025–2110 МГц. Был выполнен анализ чувствительности к величине коэффициента усиления антенны. Для случая постоянных уровней э.и.и.м. вероятность помехи снижается с ростом коэффициента усиления антенны, как показано на рисунке 7. На рисунке также показывается нелинейный рост вероятности помехи при линейном возрастании э.и.и.м.

По результатам исследования было сделано заключение, что предложенный предел э.и.и.м. в 28 дБВт вместе с коэффициентом усиления антенны более 24 дБи являются достаточными условиями для возможного совместного использования частот примерно с 1000 подвижных систем такого рода во всем мире.

### 3 Краткое изложение исследования помех от конкретных подвижных систем

Как показано в таблице 7, в проводимом исследовании рассматривались четыре возможных сценария относительно помехи системам научных космических служб.

Характеристики систем, используемые в этом исследовании, обсуждаются ниже.

#### 3.1 Характеристики системы

##### 3.1.1 Характеристики приема

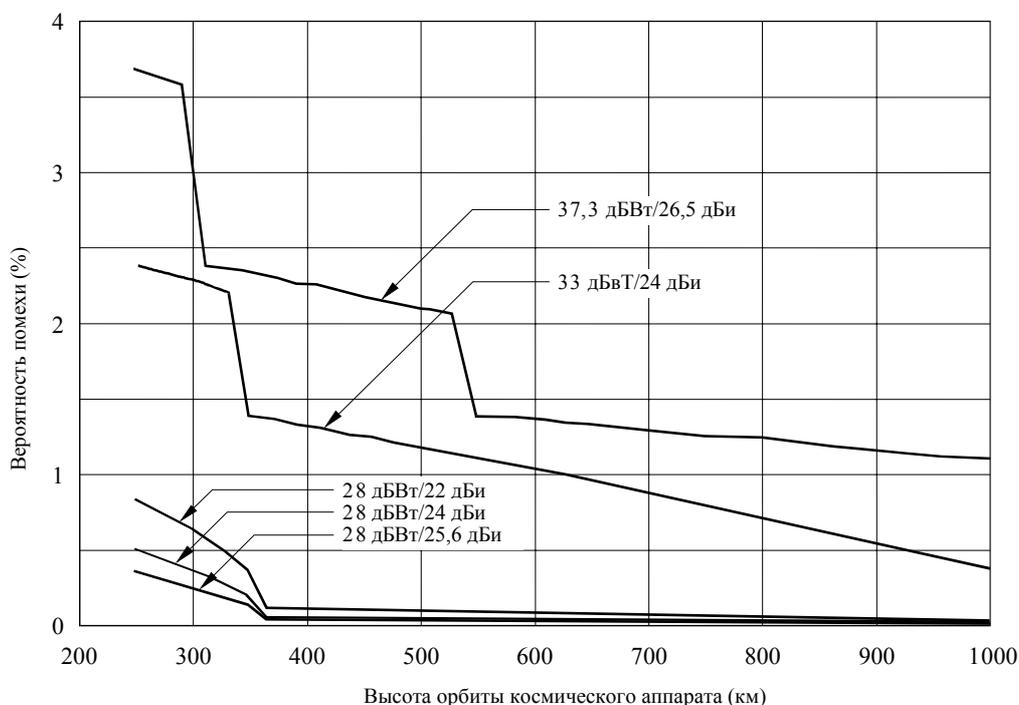
##### 3.1.1.1 Спутник ретрансляции данных

Приемная антенна (согласно предположению, предназначенная для слежения за космическим аппаратом ОЗО в зоне видимости):

- коэффициент усиления в опорном направлении = 34 дБи;
- характеристики вне луча в соответствии с эталонной диаграммой направленности излучения для круговых лучей с одной питающей линией (вблизи уровня бокового лепестка  $-20$  дБ), как это определено в Рекомендации МСЭ-R S.672.

РИСУНОК 7

Вероятность помех для различных характеристик систем ЭСН



1000 систем ENG  
активность 10%

D07

ТАБЛИЦА 7

	2025–2110 МГц	2200–2290 МГц
Космические службы Ретрансляция данных	космос–космос (в прямом направлении) (1)	космос–космос (в обратном направлении) (3)
Космические службы Непосредственно на Землю	Земля–космос (2)	космос–Земля (4)
Подвижные	Направленные (ЭСН)	Всенаправленные

### 3.1.1.2 Космический аппарат ОЗО (наведение антенны на СРД)

Приемная антенна (согласно предположению, предназначенная для слежения за геостационарным ретрансляционным спутником в зоне видимости):

- усиление на опорном направлении = 25 дБи;
- характеристики вне луча в соответствии с эталонной диаграммой направленности излучения для круговых лучей с одной питающей линией (вблизи уровня бокового лепестка в –20 дБ), как это определено в Рекомендации МСЭ-R S.672;
- высота орбиты = 300 км;
- наклонение = 29°.

### 3.1.1.3 Космический аппарат на ОЗО (наведение антенны на Землю)

Всенаправленная приемная антенна (усиление = 0 дБи):

- высота орбиты = 300 км;
- наклонение = 29°.

### 3.1.1.4 Земная станция

Приемная антенна (согласно предположению, предназначенная для слежения за космическим аппаратом ОЗО в зоне видимости):

- усиление на опорном направлении = 45 дБи;
- характеристики вне луча в соответствии с определенными в Приложениях 28 и 29 к РР.

## 3.1.2 Характеристики передачи

### 3.1.2.1 Мобильный терминал (направленный) – ЭСН

- усиление антенны на опорном направлении = 25 дБи;
- спектральная плотность мощности, направляемой в антенну = –38 дБ (Вт/кГц);
- характеристики вне луча в соответствии с определенными в Приложениях 28 и 29 к РР.

### 3.1.2.2 Мобильный терминал (всенаправленный)

- усиление антенны = 0 дБи;
- спектральная плотность мощности, направляемой в антенну = –42 дБ (Вт/кГц).

## 3.2 Резюме и заключения

Для сценариев, показанных в таблице 7, были выполнены оценки четырех геометрических конфигураций (A–D) с использованием приведенных выше технических характеристик. Результаты вероятностного анализа кратко изложены в таблице 8.

ТАБЛИЦА 8

Вариант	Вид передачи	Максимальный уровень помехи относительно критерия (дБ)	Вероятность превышения критерия (%)
1A	ЭСН на ОЗО (наведение на СРД)	+31,0	0,65
1B		+7,5	0,20
1C		+6,5	0,15
1D		+6,5	0,15
2A	ЭСН на ОЗО (наведение на Землю)	+2,5	0,20
2B		+2,5	0,04
2C		+2,5	0,045
2D		+2,5	0,035
3A	Всенаправленная на СРД	–16,5	2,50 <sup>(1)</sup>
3B		–16,5	1,50 <sup>(1)</sup>
3C		–15,0	0,15 <sup>(1)</sup>
3D		–15,0	0,50 <sup>(1)</sup>
4A	Всенаправленная на земные станции	+48,5	1,00
4B		+48,0	0,55

<sup>(1)</sup> Вероятность максимального уровня помехи.

### 3.2.1 Помехи от направленных мобильных устройств космическим аппаратам ОЗО (наведение на СРД) в диапазоне 2025–2110 МГц

Значения в таблице 8 позволяют предположить, что отдельный терминал ЭСН в различных геометрических конфигурациях может превышать соответствующие критерии защиты. Однако при рассмотрении большинства конфигураций представляется, что если мощность передачи системы ЭСН уменьшается на 1 дБ, то вероятность превышения критерия защиты была бы уменьшена до 0,1%. Разумеется, это не будет справедливо для более критичных геометрических конфигураций, и поэтому на местоположение наземных терминалов ЭСН возможно должны быть введены некоторые ограничения.

### 3.2.2 Помехи от направленных мобильных устройств космическим аппаратам ОЗО (наведение на Землю) в диапазоне 2025–2110 МГц

Результаты позволяют предположить, что могут быть допустимы два или три пространственно разделенных терминала в совмещенном канале. Это переводит в разряд приемлемых от 100 до 150 терминалов ЭСН, если не рассматривать геометрию наихудшего случая.

### 3.2.3 Помехи от всенаправленных мобильных устройств геостационарным спутникам ретрансляции данных (слежение за космическим аппаратом ОЗО) в диапазоне 2200–2290 МГц

Значения, представленные в таблице 8, показывают, что уровни мощности помех от отдельного всенаправленного терминала находятся в пределах допустимых критериев. Однако вероятности

появления таких уровней велики и, следовательно, множество терминалов может вызвать рост совокупных уровней помех, которые, превышая допустимые уровни мощности, привели бы к многократному превышению допустимых уровней с точки зрения вероятности занятости.

### **3.2.4 Помехи от всенаправленных мобильных устройств земной станции (слежение за космическим аппаратом ОЗО) в диапазоне 2200–2290 МГц**

Предполагая отсутствие трасс с прямой видимостью, на которых основные потери при передаче следуют закону обратной третьей степени, оказывается, что отдельный всенаправленный терминал может работать в пределах расстояния 0,5 км от земной станции (при угле места более 5°).

## **Приложение 3**

### **Описание некоторых систем электронного сбора новостей (ЭСН), работающих в диапазоне 2025–2110 МГц**

#### **1 Введение**

В данном Приложении представлена информация об уникальных технических и эксплуатационных характеристиках, используемых конкретными системами ЭСН, задействованными одной администрацией, которые могут облегчить совместное использование частот со службами космических исследований, космической эксплуатации и спутниковых исследований Земли.

#### **2 Характеристики/описание систем ЭСН**

Системы ЭСН включают как подвижные репортажные системы, так и перевозимые системы ЭСН, которые обеспечивают передачу видеоинформации из разнообразных мест и по различным видам деятельности. Системы ЭСН используются для освещения с места событий различных новостей или для интервью, а также для передачи в прямом эфире спортивных новостей или развлекательных программ. Вследствие высокой ценности видеосъемок с места события большинство местных телевизионных станций в городских районах Соединенных Штатов Америки используют системы ЭСН. Перевозимые системы ЭСН, ведущие передачи с места событий, обычно размещаются в фургонах и работают в стационарном режиме, передавая видеоинформацию на фиксированный пункт приема. Эти системы обеспечивают подвижность при передаче новостей по всему географическому региону.

#### **3 Системы ЭСН и окружающая обстановка**

В данном разделе описываются два распространенных режима эксплуатации.

##### **3.1 Перевозимые системы**

Перевозимые системы ЭСН, описанные в предыдущем разделе, используются для передач в прямом эфире или для видеозаписи на месте события новостей, спортивных состязаний и развлекательных мероприятий. Перевозимые системы ЭСН обычно размещаются в фургонах и в них используются передатчики, работающие с мощностью около 10,8 дБВт. Эти системы используют направленные антенны с усилением 20–22 дБи, установленные на пневматических мачтах высотой до 15 м. Для обеспечения дополнительной взаимной защиты от помех в

системах ЭСН может использоваться линейная или круговая поляризация. Многие системы ЭСН (возможно, 30–50%) ведут передачи с потерями в фидерной линии до 5 дБ.

### 3.2 Репортажные системы

Легкие малогабаритные микроволновые передатчики используются для подвижной съемки или для видеосъемок с непосредственным участием, когда желательно получение изображений в прямом эфире, поскольку устройства видеозаписи становятся непригодными из-за своих размеров и требований к надежности. Эти передатчики обычно работают при мощности до 5 дБВт. Данные системы используют практически всенаправленные антенны с усилением 0–3 дБи и могут также использовать линейную или круговую поляризацию.

Как правило, малые репортажные системы используются скорее вместо, чем в дополнение к перевозимым системам ЭСН, работающим в канале. Обычно репортажные системы не могут работать одновременно с перевозимыми системами, поскольку перевозимые системы создают избыточные помехи для приемника репортажной системы.

В таблице 9 представлены характеристики типичных систем ЭСН, работающих в диапазоне 2025–2110 МГц.

ТАБЛИЦА 9

Типичные системы ЭСН в диапазоне 2 ГГц, используемые в Соединенных Штатах Америки

Тип использования	Местоположение передатчика	Передаваемая мощность	Усиление антенны (дБи)	Местоположение приемника
Перевозимая система ЭСН (фургон)	Мачта фургона	12 Вт	22	Башня
Временно установленный канал связи	Крыша	12 Вт	25	Крыша
Собрание	Пол зала собрания	100 мВт	0–5	Стропила зала
Репортаж (например, о лыжнике)	На теле/шлеме	100 мВт	0	Склон холма или вертолет
Спортивные события				
Игровое поле	Поле	1 Вт	12	Комната прессы
Площадка для гольфа (система 1)	На площадке для гольфа	3 Вт	16	Привязанный дирижабль
Площадка для гольфа (система 2)	На площадке для гольфа	12 Вт	12	Подъемный кран
Гонки	В автомобиле	3 Вт	7	Вертолет
Вертолет	Вертолет-ретранслятор	12 Вт	7	Наземный прием
Марафон				
Мотоцикл	Мотоцикл	3 Вт	7	Вертолет
Автомобиль-ретранслятор	Пикап	12 Вт	12	Вертолет
Вертолет	Вертолет-ретранслятор	12 Вт	7	Крыша

#### 4 Эксплуатационные характеристики

Все системы ЭСН не могут работать одновременно. Поскольку системы ЭСН чувствительны к помехам, то одновременно обычно возможна только одна передача на канал на пункт приема. Большинство рынков телевизионных услуг в Соединенных Штатах Америки включает множество пунктов приема, что позволяет вести одновременные передачи в канале. Однако на наиболее крупных рынках возможно вести одновременно только шесть передач в наиболее занятом канале, а для большинства рынков число передач не превышает двух. Более двух одновременных передач в одном канале встречается редко. Фактически множество систем и пунктов приема ЭСН существуют только на крупнейших рынках телевизионных услуг, а для большинства регионов одновременная работа систем ЭСН в канале осуществляется в незначительных масштабах, либо отсутствует вовсе.

Хотя перевозимые системы ЭСН используются в течение всех суток, они прежде всего работают во время передачи местных новостей в будни, что обычно происходит около 12.00–12.30, 17.00–19.00 и 23.00–23.30 по местному времени. На большинстве рынков услуг связи существенное значение имеет также использование систем ЭСН перед послеполуденными новостями, т. е. около 15.00–17.00. На многих рынках возрастает популярность местных утренних программ в 06.00–09.00, и в этих программах также используются системы ЭСН. Перевозимые передатчики ЭСН работают примерно дважды в сутки. По оценкам инженеров радиовещания, каждая система ЭСН работает в среднем 15 минут в течение одной передачи, но это время может изменяться примерно от 5 минут до возможно 5 часов.

#### 5 Использование и характеристики спектра

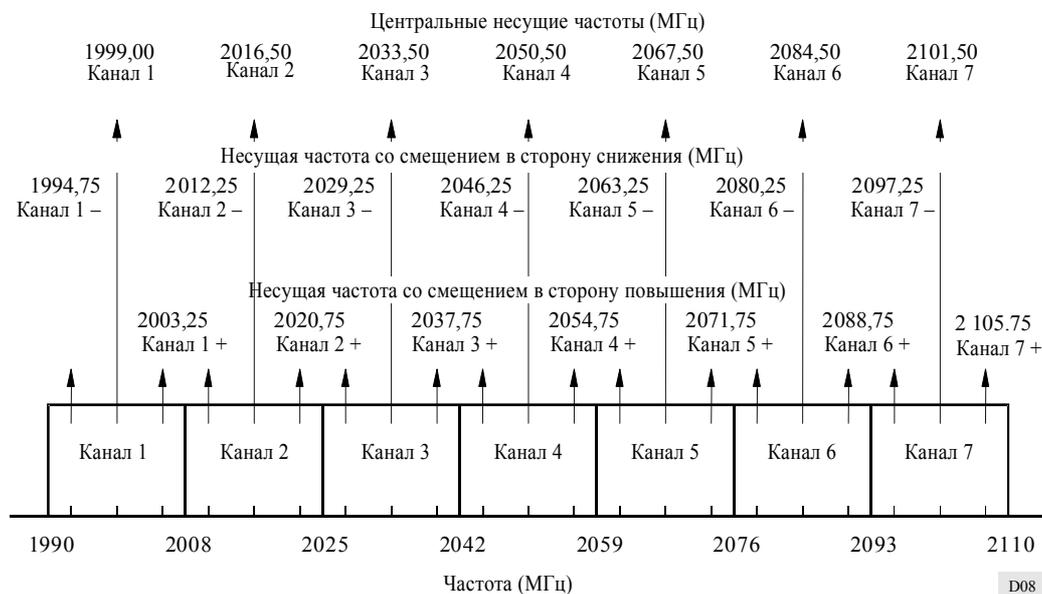
Диапазон 1990–2110 МГц используется как основной диапазон систем ЭСН из-за благоприятных характеристик распространения. Они включают более низкие уровни ослабления растительностью, что относится к более высоким частотам, и возможности "отражения от зданий" сигналов, что позволяет установить временную линию связи с фиксированным пунктом приема, несмотря на неизбежное затенение трассы.

В Соединенных Штатах Америки диапазон частот ЭСН разбит на 7 каналов по 17 МГц каждый, за исключением первого канала, ширина которого 18 МГц, как показано на рисунке 8. Системы ЭСН обычно работают в центре каждого из каналов, но используются также и каналы со смещением в сторону более низких и более высоких частот. Следовательно, возможна 21 несущая частота, однако все несущие частоты не могут использоваться одновременно. Системы ЭСН могут работать в центре канала, на нижнем крае канала, на верхнем крае канала или одновременно на нижнем и верхнем краях канала в зависимости от потребности и от использования соседнего канала в любое время. Поскольку системы ЭСН чувствительны к помехам, то обычно возможна одновременно только одна передача на канал на пункт приема.

Системы ЭСН используют для передачи видеоинформации частотную модуляцию (ЧМ). Фактически несущая частота никогда не передается без ее модуляции телевизионным растром.

РИСУНОК 8

## План каналов ЭСН, используемый в Соединенных Штатах Америки



## Приложение 4

### Описание некоторых воздушных подвижных систем телеметрии, работающих в диапазоне 2200–2290 МГц

#### 1 Введение

Воздушные подвижные системы телеметрии, эксплуатируемые некоей администрацией, состоят из небольшого числа управляемых передатчиков кратковременного действия, работающих в нескольких определенных районах.

Число одновременно работающих систем передачи в пределах радиуса 1000 км обычно не превышает 15. Максимальная э.и.и.м. в направлении спутника в любой полосе шириной 3 МГц в пределах радиуса 1000 км не должна, как правило, превышать 10 Вт.

#### 2 Технические характеристики воздушных подвижных систем телеметрии

В воздушной телеметрии с конца 1960-х годов использовался диапазон 2200–2290 МГц для испытания ракет, космических средств запуска, воздушных судов и их подсистем. Продолжительность большинства этих испытаний составляет менее 10 минут, однако некоторые испытания длились нескольких часов. Телеметрические операции могут иметь место в любое время суток, причем максимальное ее использование приходится на светлое время. Большая часть испытаний полетов выполняется на одном (или более) испытательных полигонах, эксплуатируемых правительством Соединенных Штатов Америки.

Характеристики передающих систем телеметрии оптимизируются для испытываемого летательного аппарата. Поэтому эти характеристики существенно меняются в зависимости от конкретного летательного аппарата. Не существует "типичной" системы передачи. Эффективная излучаемая мощность систем телеметрии обычно составляет от 1 до 5 Вт. Требуемый уровень мощности определяется количеством передаваемой информации, максимальным расстоянием между передающей и приемной системами, требуемым качеством данных и чувствительностью приемной системы. Передающие антенны для телеметрии обычно линейно поляризованы и, как правило, разрабатываются так, чтобы иметь почти изотропную зону охвата, поскольку ориентация испытываемого летательного аппарата по отношению к приемной антенне системы телеметрии может изменяться очень быстро. Так как приемная антенна отслеживает летательный аппарат в полете, то в приемнике происходят большие колебания уровня сигнала. Эти "замирания" вызваны нулями в диаграмме направленности антенны и аномалиями распространения, такими как многолучевость и волноводное распространение. Снижение уровня сигнала при замираниях может превышать 30 дБ. Поэтому во избежание потери данных при замираниях сигнала для оптимальных условий полета требуется, чтобы принятый сигнал значительно превышал пороговый уровень.

Форматы данных телеметрии и скорости передачи претерпевают значительные изменения в зависимости от типа летательного аппарата. В большинстве передающих систем телеметрии используется частотная или фазовая модуляция. Вход передатчика может быть цифровым, аналоговым или комбинацией цифрового и аналогового. Ширина полосы частот, в которой передается 99% энергии телеметрической системы, изменяется от менее чем 1 МГц до более чем 10 МГц.

Необходимое для приемлемого качества данных отношение сигнал/шум (ОСШ) до детектора изменяется от 9 до 15 дБ. Максимальное расстояние между испытываемым летательным аппаратом и приемной станцией телеметрии обычно составляет от 20 до 400 км (для некоторых испытаний максимальное расстояние превышает 3000 км). Типичные значения ширины полосы пропускания приемника изменяются от 0,5 до 10 МГц (эти значения возрастают). Шумовые температуры приемной системы изменяются в пределах от 200 К до 500 К. Коэффициенты усиления главного лепестка приемных антенн изменяются от 6 дБи для некоторых подвижных систем с малым радиусом действия до более чем 50 дБи для больших антенн. Большие антенны автоматически отслеживают испытываемый летательный аппарат, в то время как меньшие антенны (усиление менее 20 дБи) обычно ориентированы в направлении на передатчик. Боковые лепестки приемной антенны зависят от ее размера и конструкции. Большинство телеметрических приемных антенн имеют диаметр от 2,44 м (8 футов) и 10 м (32,8 футов).

### **3 Рассмотрение спектра**

Поставщики воздушных подвижных систем телеметрии в Соединенных Штатах Америки разделили этот диапазон на 90 каналов, каждый шириной в 1 МГц. В тех случаях, когда необходима более широкая полоса частот, из них формируются составные каналы.

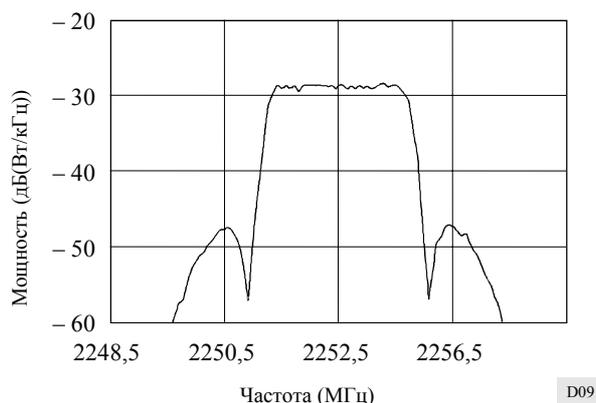
В настоящее время защита работы воздушной системы телеметрии осуществляется путем координации между различными пользователями. Территория Соединенных Штатов Америки разделена на зоны координации. Внутри этих зон координаторы частот распределяют частоты и планируют их использование.

Существует возможность значительных помех между земными станциями спутниковой связи и близко расположенными передающими станциями воздушной телеметрии в диапазоне 2200–2290 МГц. Решение этой проблемы облегчается путем контроля в этом диапазоне времени, частоты и местоположения передатчика каждой службы. Центры контроля частотных помех согласуют между собой изменения в реальном масштабе времени, определяют местонахождение источника любых несанкционированных передач и идентифицируют их.

Пример спектральной плотности мощности излучения показан на рисунке 9. На этом рисунке демонстрируется номинальная спектральная плотность мощности для системы телеметрии. Данные на этом рисунке не являются типичными и не представляют наилучший или наихудший случай; он приведен только как пример спектральных характеристик наиболее общего типа для систем, используемых в настоящее время для воздушных подвижных систем телеметрии. Некоторые воздушные подвижные системы телеметрии в ходе части испытательного полета могут иметь дискретные спектральные компоненты, следовательно максимальные спектральные плотности (дБ (Вт/кГц)) могут существенно превышать величины, показанные на рисунке 9.

РИСУНОК 9

## Пример спектра



D09

Максимальная совокупная мощность, излучаемая в любом направлении от всех воздушных подвижных систем телеметрии в пределах радиуса 1000 км, в диапазоне 2200–2290 МГц будет меньше 100 Вт. Максимальная совокупная мощность, излучаемая в любой полосе шириной 3 МГц, будет лишь в исключительных случаях превышать 10 Вт в любом направлении в пределах радиуса 1000 км.

