

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Отчет МСЭ-R SM.2450-0
(06/2019)

**Исследования совместного
использования частот и совместимости
между сухопутной подвижной службой,
фиксированной службой и пассивными
службами в полосе частот
275–450 ГГц**

Серия SM
Управление использованием спектра



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Отчетов МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REP/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра

Примечание. – Настоящий Отчет МСЭ-R утвержден на английском языке Исследовательской комиссией в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2020 г.

© ITU 2020

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

ОТЧЕТ МСЭ-R SM.2450-0

Исследования совместного использования частот и совместимости между сухопутной подвижной службой, фиксированной службой и пассивными службами в полосе частот 275–450 ГГц

(2019)

Обзор

В настоящем Отчете содержатся результаты нескольких исследований, проведенных для оценки совместного использования частот пассивными службами (ССИЗ и РАС) и фиксированной и сухопутной подвижной службами в диапазоне 275–450 ГГц¹. Исследования совместимости на основе информации о технических характеристиках сухопутной подвижной службы (СПС) и фиксированной службы (ФС), имеющейся в Отчетах МСЭ-R M.2417-0 и МСЭ-R F.2416-0, проводились в целях определения спектра, который может использоваться для применений СПС/ФС без необходимости установления специальных ограничений для защиты применений пассивных служб (РАС и ССИЗ (пассивной)). Характеристики пассивной службы основаны на информации, содержащейся в Отчетах МСЭ-R RA.2189-1 и МСЭ-R RS.2431-0.

В большинстве исследований был сделан вывод о том, что только в полосах частот 275–296 ГГц, 306–313 ГГц, 320–330 ГГц и 356–450 ГГц не требуется особых условий защиты ССИЗ для систем, работающих в пределах параметров, указанных в вышеупомянутых Отчетах МСЭ-R. При проведении этих исследований не ставилась задача разработать условия (такие, как пределы мощности, требования к экранированию и/или ограничения по углу места и т. д.), которые могли бы упростить совместное использование частот с ССИЗ в других полосах.

Исследования совместимости показали, что недостаточно учитывать атмосферное поглощение, не зависящее от потерь в свободном пространстве, в полосе 275–450 ГГц для обеспечения совместимости работы ФС и РАС в отсутствие других факторов. В зависимости от условий развертывания станций ФС необходимо учитывать расстояние разноса и/или углы избежания пересечения луча между станциями РАС и ФС.

¹ При том что в п. 5.565 РР также определены некоторые полосы частот для применений службы космических исследований (пассивной), исследования не проводились.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1	Введение.....	5
1.1	Подход.....	5
1.2	Структура Отчета.....	5
2	Соответствующие Рекомендации и Отчеты МСЭ-R.....	6
3	Список акронимов и сокращений.....	7
4	Регламентарная информация о частотах выше 275 ГГц.....	7
5	Характеристики систем.....	8
5.1	Характеристики систем сухопутной подвижной службы, работающих в диапазоне частот 275–450 ГГц.....	8
5.1.1	Системы подвижной связи на малых расстояниях.....	8
5.1.2	Связь внутри устройств.....	12
5.1.3	Беспроводные линии связи в центрах обработки данных.....	13
5.2	Характеристики систем фиксированной службы, работающих в диапазоне частот 275–450 ГГц.....	14
5.2.1	Периферийные и транзитные линии связи пункта с пунктом.....	14
5.3	Характеристики систем радиоастрономической службы, работающих в диапазоне частот 275–450 ГГц.....	17
5.4	Характеристики систем спутниковой службы исследования Земли (пассивной), работающих в диапазоне частот 275–450 ГГц.....	21
6	Аспекты исследований совместного использования частот и совместимости.....	27
6.1	РАС.....	27
6.2	ССИЗ (пассивная).....	29
7	Сценарии помех, создаваемых системами сухопутной подвижной и фиксированной служб, работающими в полосе 275–450 ГГц, системам пассивных служб, использующих спектр, определенный в п. 5.565 РР.....	31
7.1	Сценарии помех, создаваемых системами СПС, работающими в полосе 275–450 ГГц, системам ССИЗ (пассивной) и РАС.....	32
7.2	Сценарии помех, создаваемых системами ФС, работающими в полосе 275–450 ГГц, системам ССИЗ (пассивной) и РАС.....	33
8	Исследования совместного использования частот и совместимости, относящиеся к службе ССИЗ (пассивной).....	33
8.1	Исследования совместного использования частот и совместимости между системами СПС и спутниковой службы исследования Земли (пассивной).....	33
8.2	Исследования совместного использования частот и совместимости между системами ФС и ССИЗ (пассивной).....	34

Стр.

8.3	Резюме результатов исследований совместного использования частот и совместимости, относящихся к ССИЗ (пассивной)	34
9	Исследования совместного использования частот и совместимости, относящиеся к РАС	35
9.1	Исследования совместного использования частот и совместимости между системами СПС и радиоастрономической службой	35
9.2	Исследования совместного использования частот системами ФС и радиоастрономической службой.....	35
9.3	Резюме результатов исследований совместного использования частот и совместимости, относящихся к РАС	36
Приложение 1		37
Приложение 2 – Экстраполяция потерь на входе в здание и потерь, вызываемых отражением от препятствий, на основе Рекомендаций МСЭ-R P.2108 и МСЭ-R P.2109 для исследований совместного использования частот и совместимости		39
Приложение 3 – Результаты измерения диаграммы направленности антенны на частоте 300 ГГц.....		41
Приложение 4 – Исследования совместного использования частот системами СПС и ФС и спутниковой службой исследования Земли.....		43
A4.1	Введение.....	43
A4.2	1-е исследование. Статический анализ помех между ФС/СПС и ССИЗ (пассивной).....	43
A4.2.1	Максимально допустимые уровни единичных помех	43
A4.2.2	Максимальные уровни одиночного излучения систем ФС.....	46
A4.2.3	Резюме результатов 1-го исследования.....	47
A4.3	2-е исследование. Оценка помех, создаваемых ФС ССИЗ (пассивной).....	47
A4.3.1	Оценка единичных помех, создаваемых ФС ССИЗ (пассивной).....	47
A4.3.2	Оценка суммарных помех, создаваемых ФС ССИЗ (пассивной)	50
A4.3.3	Резюме	53
A4.4	3-е исследование. Анализ совместимости между системами ССИЗ (пассивной) и ФС/СПС в диапазоне частот 275–450 ГГц.....	53
A4.4.1	Методика анализа.....	53
A4.4.2	Характеристики систем ССИЗ (пассивной)	54
A4.4.3	Характеристики систем ФС и СПС	56
A4.4.4	Результаты моделирования.....	58
A4.4.5	Резюме результатов 3-го исследования.....	69

A4.5	4-е исследование. Анализ суммарных помех при совместном использовании частот станциями ФС/СПС и ССИЗ (пассивной) в диапазоне 275–325 ГГц.....	70
A4.5.1	Введение.....	70
A4.5.2	Уровень мощности сигнала, принимаемого пассивным датчиком ССИЗ.....	70
A4.5.3	Развертывание систем CPMS	70
A4.5.4	Развертывание ФС.....	71
A4.5.5	Уровень мощности, принимаемой датчиками ССИЗ (пассивной)	71
A4.5.6	Резюме результатов 4-го исследования.....	76
A4.6	5-е исследование. Анализ совместимости между ССИЗ (пассивной) и ФС в диапазоне частот 275–450 ГГц (сценарий суммарных помех).....	76
A4.6.1	Характеристики ССИЗ (пассивной).....	76
A4.6.2	Характеристики и развертывание ФС	77
A4.6.3	Максимальная э.и.и.м. ФС в направлении спутника ССИЗ (пассивной).....	78
A4.6.4	Исследования совместного использования частот с конкретной системой ССИЗ (пассивной) (ICI).....	84
A4.6.5	Общий анализ во всех полосах ССИЗ (пассивной).....	84
A4.6.6	Резюме результатов 5-го исследования.....	95
A4.6.7	Приложение 1 к 5-му исследованию. Методика получения количества линий ФС исходя из показателей развертывания на основе данных о населении	96
Приложение 5 – Исследования совместного использования частот системами ФС и радиоастрономической службой		99
A5.1	Введение.....	99
A5.2	1-е исследование. Совместимость между станциями РАС и ФС, работающими в полосе спектра 275–450 ГГц.....	99
A5.2.1	Допущения и геометрические конфигурации.....	99
A5.2.2	Результаты.....	101
A5.2.3	Резюме	104
A5.3	2-е исследование. Анализ совместимости между ФС и РАС в полосе 275–325 ГГц.....	104
A5.3.1	Станции РАС.....	105
A5.3.2	Защита станций РАС от станций ФС, работающих в полосе 275–350 ГГц	105
A5.3.3	Резюме 2-го исследования	107
A5.4	3-е исследование. Защита станций РАС от станций ФС, работающих в полосе 275–450 ГГц.....	107

1 Введение

В пункте 1.15 повестки дня ВКР-19 предусмотрено определение полос частот в целях использования администрациями для применений сухопутной подвижной и фиксированной служб, работающих в полосе частот 275–450 ГГц, в соответствии с Резолюцией **767 (ВКР-15)**. В Резолюции **767 (ВКР-15)** МСЭ-R предлагается провести исследования совместного использования частот и совместимости между сухопутной подвижной (СПС), фиксированной (ФС) и пассивными службами, работа которых планируется в полосе частот 275–450 ГГц, и определить кандидатные полосы частот для использования системами служб СПС и ФС, обеспечивая при этом защиту пассивных служб, определенных в п. **5.565** РР.

В настоящем Отчете представлены результаты исследований совместного использования частот и совместимости между применениями СПС и ФС, работа которых планируется в диапазоне частот 275–450 ГГц, и применениями пассивных служб (радиоастрономической службы и спутниковой службы исследования Земли (пассивной)).

1.1 Подход

При проведении данных исследований был принят подход, заключающийся в изучении использования полосы частот 275–450 ГГц или участков в пределах этого диапазона, которые можно было бы использовать для систем сухопутной подвижной и фиксированной служб без особых условий на основе характеристик системы, определенных на сегодняшний день.

1.2 Структура Отчета

В разделах 2–4 приведена справочная информация в виде списка соответствующих Рекомендаций и Отчетов МСЭ-R, используемых акронимов и сокращений, а также сопутствующая информация из Регламента радиосвязи (РР) соответственно.

В разделе 5 приведены определенные на сегодняшний день характеристики применений (систем) сухопутной подвижной службы, радиоастрономической службы и спутниковой службы исследования Земли (пассивной).

В разделе 6 представлены конкретные соображения по исследованиям совместного использования частот и совместимости для служб РАС и ССИЗ (пассивной).

В разделе 7 дано описание сценариев помех, которые рассматриваются в настоящем Отчете.

В разделах 8 и 9 кратко изложены результаты исследований совместного использования частот и совместимости, относящихся к ССИЗ (пассивной) и РАС соответственно

Подробные результаты анализа представлены в Приложениях к настоящему Отчету, а именно:

в Приложении 1 приведены данные по полосам, представляющим интерес для ССИЗ (пассивной);

в Приложении 2 приведена оценка медианных потерь на входе в здание (VEL) и потерь, вызываемых отражением от препятствий;

в Приложении 3 представлена диаграмма направленности излучения антенны, использованная в некоторых исследованиях, описанных в Приложениях 4 и 5;

в Приложении 4 приведены результаты исследований совместного использования частот между системами СПС и ФС и системами спутниковой службы исследования Земли (ССИЗ, пассивной);

в Приложении 5 приведены результаты исследований совместного использования частот между системами ФС и системами радиоастрономической службы (РАС).

2 Соответствующие Рекомендации и Отчеты МСЭ-R

Рекомендация МСЭ-R F.699	Эталонные диаграммы направленности антенн фиксированных беспроводных систем для использования при изучении вопросов координации и оценке помех в диапазоне частот от 100 МГц до примерно 70 ГГц
Рекомендация МСЭ-R F.1245	Математическая модель усредненных и родственных диаграмм направленности излучения антенн систем фиксированной беспроводной связи прямой видимости для связи пункта с пунктом, предназначенная для использования при изучении определенных вопросов координации и оценке помех в диапазоне частот от 1 ГГц примерно до 70 ГГц
Рекомендация МСЭ-R P.452	Процедура прогнозирования для оценки помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах выше приблизительно 0,1 ГГц
Рекомендация МСЭ-R P.525	Расчет ослабления в свободном пространстве
Рекомендация МСЭ-R P.619	Данные о распространении радиоволн, необходимые для определения помех между станциями, находящимися в космосе и на поверхности Земли
Рекомендация МСЭ-R P.676	Затухание в атмосферных газах
Рекомендация МСЭ-R P.840	Ослабление из-за облачности и тумана
Рекомендация МСЭ-R P.2108	Прогнозирование потерь, вызываемых отражением от препятствий
Рекомендация МСЭ-R P.2109	Прогнозирование потерь на входе в здание
Рекомендация МСЭ-R RA.314	Предпочтительные полосы частот для радиоастрономических измерений. В документе приведены частоты спектральных линий, имеющих наибольшее значение для радиоастрономии в пределах полосы частот 275–450 ГГц. В данных условиях спектральные линии окиси углерода (CO) на частотах 345,777 ГГц и 330,588 ГГц имеют исключительное значение для радиоастрономии.
Рекомендация МСЭ-R RA.769	Критерии защиты, используемые для радиоастрономических измерений
Рекомендация МСЭ-R RA.1031	Защита радиоастрономической службы в полосах частот, используемых совместно с другими службами
Рекомендация МСЭ-R RA.1272	Защита радиоастрономических измерений на частотах выше 60 ГГц от наземных помех
Рекомендация МСЭ-R RA.1513	Уровни потери данных при радиоастрономических наблюдениях и критерии процента времени потерь, обусловленных ухудшением из-за помех, для полос частот, которые распределены радиоастрономической службе на первичной основе
Рекомендация МСЭ-R RS.1813	Эталонная диаграмма направленности антенны для пассивных датчиков, работающих в спутниковой службе исследования Земли (пассивной), для использования при анализе совместимости в полосе частот 1,4–100 ГГц
Рекомендация МСЭ-R RS.2017	Критерии качества и критерии помех для спутникового пассивного дистанционного зондирования

Отчет МСЭ-R F.2239	Сосуществование фиксированной службы, работающей в полосах 71–76 ГГц, 81–86 ГГц и 92–94 ГГц, и пассивных служб
Отчет МСЭ-R F.2416	Технические и эксплуатационные характеристики и области использования применений фиксированной службы, работающих в полосе частот 275–450 ГГц
Отчет МСЭ-R M.2417	Технические и эксплуатационные характеристики и области применения сухопутной подвижной службы, работающей в полосе частот 275–450 ГГц
Отчет МСЭ-R RA.2189	Совместное использование частот радиоастрономической службой и активными службами в диапазоне частот 275–3000 ГГц
Отчет МСЭ-R RS.2194	Пассивные полосы в диапазоне от 275 до 3000 ГГц, представляющие научный интерес для ССИЗ/СКИ
Отчет МСЭ-R RS.2431	Технические и эксплуатационные характеристики систем ССИЗ (пассивной) в диапазоне частот 275–450 ГГц
Отчет МСЭ-R SM.2352	Тенденции в области технологий активных служб в диапазоне частот 275–3000 ГГц

3 Список акронимов и сокращений

BBU	Base band unit		Блок формирования модулирующих сигналов
CPMS	Close proximity mobile system		Система подвижной связи на малых расстояниях
CPMS MT	Close proximity mobile system mobile terminal		Мобильный терминал системы подвижной связи на малых расстояниях
CPMS FS	Close proximity mobile system fixed station		Фиксированная станция системы подвижной связи на малых расстояниях
EESS	Earth exploration-satellite service	ССИЗ	Спутниковая служба исследования Земли
FS	Fixed service	ФС	Фиксированная служба
IFOV	Instantaneous Field of View		Мгновенная зона обзора
LMS	Land mobile service	СПС	Сухопутная подвижная служба
MIMO	Multiple-input and multiple-output (antenna)		Многоканальный вход, многоканальный выход (антенна)
RRH	Remote radio head		Удаленный радиоблок
RAS	Radio astronomy service	РАС	Радиоастрономическая служба

4 Регламентарная информация о частотах выше 275 ГГц

В РР не содержится распределений частот выше 275 ГГц.

Полосы частот для использования в применениях пассивных служб определены в п. 5.565 РР, как указано ниже.

5.565 Следующие полосы частот в диапазоне 275–1000 ГГц определены для использования администрациями для применений пассивных служб:

- радиоастрономическая служба: 275–323 ГГц, 327–371 ГГц, 388–424 ГГц, 426–442 ГГц, 453–510 ГГц, 623–711 ГГц, 795–909 ГГц и 926–945 ГГц;
- спутниковая служба исследования Земли (пассивная) и служба космических исследований (пассивная): 275–286 ГГц, 296–306 ГГц, 313–356 ГГц, 361–365 ГГц, 369–392 ГГц, 397–399 ГГц, 409–411 ГГц, 416–434 ГГц, 439–467 ГГц, 477–502 ГГц, 523–527 ГГц, 538–581 ГГц, 611–630 ГГц, 634–654 ГГц, 657–692 ГГц, 713–718 ГГц, 729–733 ГГц, 750–754 ГГц, 771–776 ГГц, 823–846 ГГц, 850–854 ГГц, 857–862 ГГц, 866–882 ГГц, 905–928 ГГц, 951–956 ГГц, 968–973 ГГц и 985–990 ГГц.

Использование диапазона 275–1000 ГГц пассивными службами не исключает использование этого диапазона активными службами. Администрациям, желающим предоставить частоты в диапазоне 275–1000 ГГц для применений активных служб, настоятельно предлагается принимать все практически возможные меры для защиты этих пассивных служб от вредных помех до даты принятия Таблицы распределения частот в вышеупомянутом диапазоне частот 275–1000 ГГц.

Все частоты в диапазоне 1000–3000 ГГц могут использоваться как активными, так и пассивными службами. (ВКР-12)

5 Характеристики систем

5.1 Характеристики систем сухопутной подвижной службы, работающих в диапазоне частот 275–450 ГГц

5.1.1 Системы подвижной связи на малых расстояниях

Системы подвижной связи на малых расстояниях (CPMS) позволяют передавать файлы большого размера в течение нескольких секунд. Примерами могут служить такие системы, как KIOSK или турникеты, которые можно использовать для приобретения фильма, загруженного на мобильное устройство. Эти системы, как правило, подключаются к проводным сетям и обеспечивают беспроводную передачу данных на мобильные устройства в общественных местах, таких как вокзалы, аэропорты и т. д. Расстояние между пользователем и терминалом турникета или системы KIOSK составляет обычно не более 10 см.

Ожидаемый диапазон технических и эксплуатационных характеристик для систем подвижной связи на малых расстояниях, которые планируется использовать в полосе 275–325 ГГц и в полосе 275–450 ГГц, показан в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Ожидаемые технические и эксплуатационные характеристики систем CPMS сухопутной подвижной службы в диапазоне частот 275–450 ГГц

Параметры	Значения	
	Система CPMS	Усовершенствованная система CPMS
Полоса частот (ГГц)	275–325	275–450
Плотность развертывания ⁽¹⁾	0,6 устройства на кв. км	0,6 устройства на кв. км
Плотность выходной мощности передатчика (дБм/ГГц)	–3,8–6,9	–10,1–6,7
Максимальная плотность э.и.и.м. (дБм/ГГц)	26,2–36,9	19,9–36,7
Метод дуплексной связи	FDD/TDD	FDD/TDD

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Параметры	Значения	
	Система CPMS	Усовершенствованная система CPMS
Модуляция	OOK/BPSK/QPSK/16-QAM/ 64-QAM BPSK-OFDM/ QPSK-OFDM/ 16-QAM-OFDM/ 32-QAM-OFDM/ 64-QAM-OFDM	OOK/BPSK/QPSK/ 16-QAM/64-QAM/8-PSK/ 8-APSK BPSK-OFDM/ QPSK-OFDM/ 16-QAM-OFDM/ 32-QAM-OFDM/ 64-QAM-OFDM
Среднее расстояние между фиксированным и мобильным устройствами CPMS (м)	0,1	0,1
Максимальное расстояние между фиксированным и мобильным устройствами CPMS (м)	1	1
Высота антенны (м)	1–2	–
Ширина луча антенны (градусы)	3–10	5–90
Угол места антенны (градусы)	±90	±90
Повторное использование частот	1	1
Тип антенны	Рупорная	Рупорная
Диаграмма направленности антенны	Гауссова	Гауссова
Поляризация антенны	Линейная	Линейная
Развертывание фиксированных устройств CPMS в помещении (%)	100	90
Потери в фидерной линии (дБ)	2	2
Максимальная выходная мощность фиксированного/мобильного устройства CPMS (дБм)	10	10
Ширина полосы канала (ГГц)	2,16/4,32/8,64/12,96/17,28/ 25,92/51,8	2,16/4,32/8,64/12,96/17,28/ 25,92/51,84/69,12/103,68
Спектральная маска передатчика	Представлена на рисунке 1 и в таблице 2	Представлена на рисунке 1 и в таблице 2
Максимальное усиление антенны мобильного устройства CPMS (дБи)	30	30
Максимальное усиление антенны мобильного устройства CPMS (дБи)	15	15
Максимальная выходная мощность фиксированного устройства CPMS (э.и.и.м.) (дБм)	40	40
Максимальная выходная мощность мобильного устройства CPMS (э.и.и.м.) (дБм)	25	25
Средний коэффициент активности (%)	0,76	0,2

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Параметры	Значения	
	Система CPMS	Усовершенствованная система CPMS
Средняя мощность фиксированного устройства CPMS (дБм (э.и.и.м.))	20	20
Типовой коэффициент шума приемника (дБ)	15	15

⁽¹⁾ Подробная информация о плотности развертывания представлена ниже.

Приведенная ниже спектральная маска, взятая из стандарта IEEE 802.15.3d-2017, как показано на рисунке 1 и в таблице 2, является маской, используемой в исследовании CPMS.

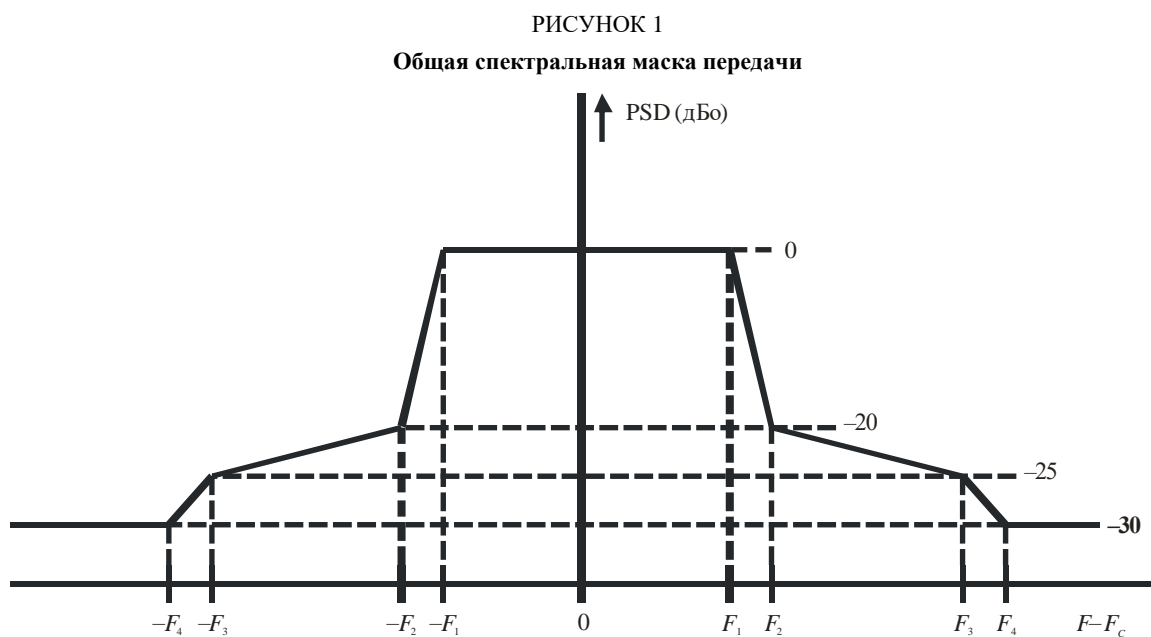


ТАБЛИЦА 2

Параметры спектральной маски передачи

Ширина полосы канала (ГГц)	f_1 (ГГц)	f_2 (ГГц)	f_3 (ГГц)	f_4 (ГГц)
2,160	0,94	1,10	1,60	2,20
4,320	2,02	2,18	2,68	3,28
8,640	4,18	4,34	4,84	5,44
12,960	6,34	6,50	7,00	7,60
17,280	8,50	8,66	9,16	9,76
25,920	12,82	12,98	13,48	14,08
51,840	25,78	25,94	26,44	27,04
69,120	34,42	34,58	35,08	35,68

Плотность развертывания и коэффициент активности станций CPMS (системы загрузки KIOSK)

Система загрузки KIOSK, которая в основном развертывается внутри помещений, может использоваться на станциях, в терминалах аэропортов, в магазинах товаров первой необходимости (convenience stores). Поскольку в количественном отношении станций и аэропортов гораздо меньше, чем магазинов товаров первой необходимости, в исследованиях совместного использования частот и совместимости следует использовать плотность развертывания терминалов системы KIOSK в магазинах без учета их развертывания на станциях и в аэропортах. В Японии насчитывается в общей сложности 55 129 магазинов товаров первой необходимости, причем 19 571 из них, то есть 35% от их общего количества, находятся в регионе Канто, площадь которого составляет 32 420 кв. км, как показано в таблице 3. Из этого следует, что плотность развертывания таких магазинов в регионе Канто составляет 0,6 магазина на кв. км, а в Токио – 3,28 магазина на кв. км, что является максимальным показателем плотности магазинов товаров первой необходимости в Японии.

В Японии среднее число покупателей крупных магазинов товаров первой необходимости составляет около 1000 человек в день, при этом в самом посещаемом магазине, расположенном вблизи станций в Токио, максимальное количество покупателей приближается к 2000 человек в день. Для оценки коэффициента активности станций CPMS системы KIOSK применяем следующее допущение.

1	Среднее количество покупателей магазина товаров первой необходимости	1000 чел. в день
2	Доля покупателей, имеющих при себе устройства CPMS	20%
3	Количество загруженных 2-часовых фильмов на одного покупателя с устройством CPMS	2
4	Пропускная способность устройства CPMS	6,9 Гб/с (см. таблицу 4)
5	Время загрузки в расчете на одного покупателя	2,2 с
6	Суммарное время загрузки	440 с
7	Обычное время работы магазина товаров первой необходимости	7:00 – 23:00 (57 600 с)
8	Расчетный коэффициент активности на один магазин	0,76%

ТАБЛИЦА 3

Количество магазинов товаров первой необходимости и станций в регионе Канто

Мегаполис и префектура	Количество магазинов товаров первой необходимости	Площадь (кв. км)
Токио	7 183	2 190
Канагава	3 765	2 415
Сайтама	2 833	3 797
Чиба	2 637	5 157
Ибараки	1 315	6 096
Гумма	950	6 362
Тотиги	888	6 408
Регион Канто ⁽¹⁾	19 571	32 425

⁽¹⁾ В состав региона Канто входит мегаполис Токио и более шести префектур.

ТАБЛИЦА 4

Расчетное время загрузки журнала и фильма

Тип контента	Размер файла (Мбайт)	Время загрузки (с)		
		Пропускная способность 4,6 Гбит/с	Пропускная способность 6,9 Гбит/с	Пропускная способность 66 Гбит/с*
Журнал	300	0,5	0,3	0,03
Фильм (2 часа) H.265 (высокое разрешение)	900	1,6	1,1	0,11

5.1.2 Связь внутри устройств

При обмене данными внутри устройства высокоскоростные беспроводные линии связи, работающие в терагерцовом диапазоне, могут соединять две или более печатные платы или микросхемы на одной печатной плате внутри устройства. Это упрощает конструкцию плат, жгутов проводки между модулями и т. д. Как правило, эти устройства снабжаются экранированным корпусом, предотвращающим вход и выход терагерцовых сигналов. На момент составления настоящего Отчета информация о степени экранирования и ожидаемой процентной доли устройств, оборудованных экраном, отсутствовала. По мере поступления данная информация будет рассматриваться в будущих исследованиях.

Ожидаемые диапазоны технических и эксплуатационных характеристик беспроводных терагерцовых линий связи внутри устройств, работа которых планируется в полосе 275–450 ГГц, показаны в таблице 5. Спектральная маска и параметры передатчика совпадают с приведенными для систем CPMS на рисунке 1 и в таблице 2.

ТАБЛИЦА 5

Ожидаемые технические и эксплуатационные характеристики беспроводных терагерцовых линий связи внутри устройств, работающих в полосе частот 275–450 ГГц

Параметр	Значение
Полоса частот (ГГц)	275–450
Плотность развертывания	0,23 на кв. км ⁽¹⁾
Максимальная выходная мощность устройства (дБм)	10
Максимальная выходная мощность устройства (э.и.и.м.) (дБм)	30
Максимальная площадь выходной мощности передатчика (дБм/ГГц)	–10,1–6,7
Максимальная плотность э.и.и.м. (дБм/ГГц)	19,9–36,7
Развертывание внутри помещений (%)	50
Метод дуплексной связи	TDD, FDD, SDD
Модуляция	OOK/BPSK/QPSK/16-QAM/64-QAM 8-PSK/8-APSK
Максимальное расстояние между устройствами	< 1 м
Высота антенны (м)	1–3
Ширина луча антенны (градусы)	15–180 (расчетное)
Повторное использование частот	1
Диаграмма направленности антенны	Гауссова
Поляризация антенны	Линейная

ТАБЛИЦА 5 (окончание)

Параметр	Значение
Ширина полосы канала (ГГц)	2,16/4,32/8,64/12,96/17,28//25,92/51,84/69,12/103,68
Максимальное усиление антенны устройства (дБи)	20
Типовое ожидаемое усиление антенны устройства (дБи)	6
Максимальная активность устройства (%)	100
Типовой коэффициент шума приемника (дБ)	10 ⁽²⁾

- (1) Плотность развертывания устройств рассчитана как среднее значение, основанное на предположении, что каждый тысячный гражданин Германии использует подобное устройство. В густонаселенных городах при тех же условиях плотность может возрастать, например, до 3,95 на кв. км.
- (2) В публикациях сообщается также о системах, коэффициент шума которых составляет всего 8 дБ. Указанное значение является наихудшим случаем для опубликованных параметров.

5.1.3 Беспроводные линии связи в центрах обработки данных

Беспроводные линии связи в центрах обработки данных используются в целях обеспечения гибкости путем построения внутренних маршрутов с изменяемой конфигурацией, не требующих внесения масштабных изменений в схемы кабельных сетей. Ожидаемые диапазоны технических и эксплуатационных характеристик беспроводных терагерцевых линий связи внутри устройств, работа которых планируется в полосе 275–450 ГГц, показаны в таблице 6. Данная система предназначена для применения исключительно внутри помещений. Однако величина потерь, связанных с ослаблением в здании, которая должна использоваться в исследованиях, в настоящее время окончательно не известна. Потери, связанные с ослаблением в здании, рассматриваются в Приложении 2.

Для достижения скорости передачи данных не менее 100 Гбит/с при простой модуляции QPSK и обеспечения совместимости с каналами Ethernet 100 Гбит/с требуется полоса шириной 50 ГГц. Спектральная маска и параметры передатчика совпадают с приведенными для систем CPMS на рисунке 1 и в таблице 2.

ТАБЛИЦА 6

Ожидаемые технические и эксплуатационные характеристики беспроводных линий связи в центрах обработки данных, работающие в полосе частот 275–450 ГГц

Параметр	Значения
Полоса частот (ГГц)	275–450
Плотность развертывания устройств	0,07 на кв. км
Максимальная выходная мощность устройства (дБм)	10
Максимальная выходная мощность устройства (э.и.и.м.) (дБм)	40
Плотность выходной мощности передатчика (дБм/ГГц)	–10,1–6,7
Плотность э.и.и.м. (дБм/ГГц)	9,9–26,7
Метод дуплексной связи	TDD, FDD, SDD
Модуляция	OOK/BPSK/QPSK/16-QAM/64-QAM 8-PSK/8-APSK
Максимальное расстояние между устройствами	100 м
Ширина луча антенны (градусы)	< 25 (расчетное)
Повторное использование частот	1
Диаграмма направленности антенны	Гауссова

ТАБЛИЦА 6 (окончание)

Параметр	Значения
Поляризация антенны	Линейная
Развертывание внутри помещений (%)	100
Ширина полосы канала (ГГц)	2,16/4,32/8,64/12,96/17,28/ 25,92/51,84/69,12/103,68
Максимальное усиление антенны устройства (дБи)	30
Максимальная активность устройства (%)	100
Типовой коэффициент шума приемника (дБ)	10

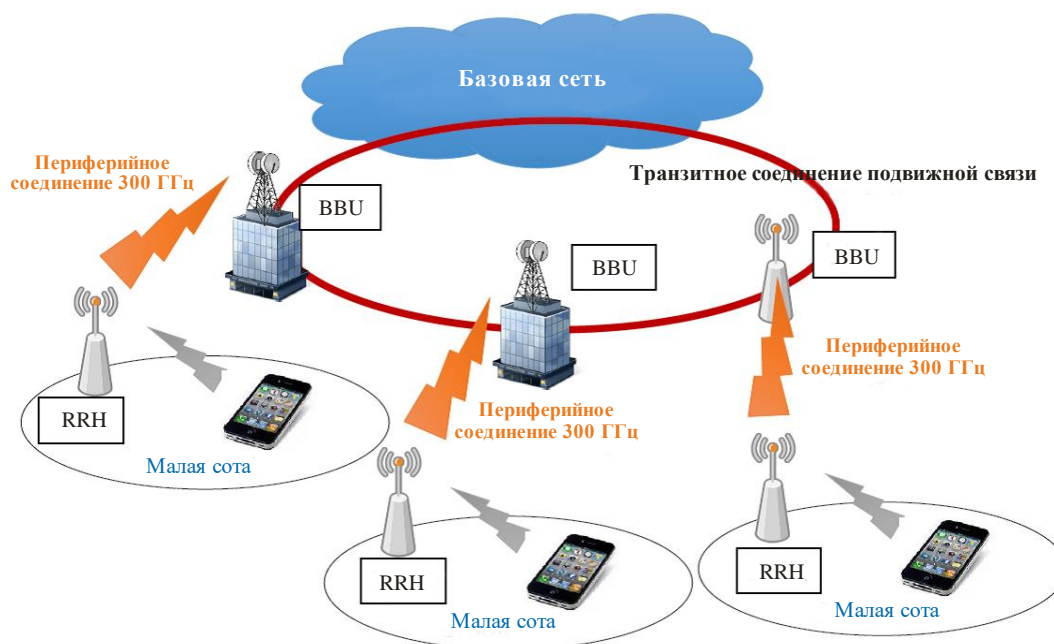
5.2 Характеристики систем фиксированной службы, работающих в диапазоне частот 275–450 ГГц

5.2.1 Периферийные и транзитные линии связи пункта с пунктом

На рисунке 2 показана архитектура сети систем подвижной связи, поддерживающих передачу сигналов с высокой пропускной способностью между базовой станцией и мобильным терминалом. Периферийная линия связи (fronthaul) определяется как линия связи между блоком формирования модулирующих сигналов базовой станции (BBU) и удаленным радиоблоком (RRH), а транзитная линия связи (backhaul) – это линия связи между базовой станцией и элементами сети более высокого уровня. В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R M.2083 и Отчетом МСЭ-R M.2376 с периферийными и транзитными линиями связи связаны критически важные задачи, которые необходимо решать для увеличения пропускной способности каналов передачи мобильного трафика в будущем. Пропускная способность периферийной и транзитной линии связи может значительно превышать десятки Гбит/с, что позволяет достичь пиковой скорости передачи данных 10–20 Гбит/с для мобильных терминалов в небольшой соте.

РИСУНОК 2

Работа периферийных и транзитных линий связи, используемых в сети систем подвижной связи



Диапазон 275–450 ГГц обеспечивает возможность работы на малых расстояниях, широкую полосу пропускания и высокую скорость передачи данных для беспроводных систем, поддерживающих мобильные терминалы.

Предлагаемые технические и эксплуатационные характеристики фиксированных периферийных и транзитных систем связи пункта с пунктом, которые планируется использовать в полосе 275–325 ГГц и в полосе 380–450 ГГц, если анализ совместного использования частот покажет, что ФС может сосуществовать с пассивными службами, приведены в таблице 7. Спектральная маска и параметры передатчика совпадают с приведенными для систем CPMS на рисунке 1 и в таблице 2.

ТАБЛИЦА 7

**Технические и эксплуатационные характеристики планируемых систем
фиксированной службы**

Полоса частот (ГГц)	275–325	380–445
Метод дуплексной связи	FDD/TDD	FDD/TDD Примечание. – В схемах возможно применение других методов дуплексной связи
Модуляция	BPSK/QPSK/8-PSK/8-APSK/ 16-QAM/32-QAM/64-QAM BPSK-OFDM/QPSK-OFDM/ 16-QAM-OFDM/ 32Q-AM-OFDM/ 64-QAM-OFDM	BPSK/QPSK/8-PSK/8-APSK/ 16-QAM/32-QAM, 8-PSK, 8-APSK BPSK-OFDM/QPSK-OFDM/ 16-QAM-OFDM/ 32-QAM-OFDM
Ширина полосы канала (ГГц)	2–25 (FDD) 2–50 (TDD)	2–32,5 (FDD) 2–65 (TDD)
Спектральная маска	См. п. 5.1.1	См. п. 5.1.1
Диапазон выходной мощности передатчика (дБм)	0–20	–10–10
Диапазон плотности выходной мощности передатчика (дБм/ГГц)	–17–17	–28–7
Диапазон потерь в фидере/мультиплексоре (дБ)	0–3	0–3
Диапазон усиления антенны (дБи)	24–50	24–50
Диапазон э.и.и.м. (дБм)	44–70	37–60
Диапазон плотности э.и.и.м. (дБм/ГГц)	30–67	19–57
Диаграмма направленности антенны	Рек. МСЭ-R F.699 (единичные помехи) Рек. МСЭ-R F.1245 (суммарные помехи)	Рек. МСЭ-R F.699 (единичные помехи) Рек. МСЭ-R F.1245 (суммарные помехи)
Тип антенны	Параболический отражатель	Параболический отражатель
Высота антенны (м)	6–25	10–25
Угол места антенны (градусы)	±20 (типовое значение)	±20 (типовое значение)
Типовой коэффициент шума приемника (дБ)	15	15
Типовая плотность мощности шума приемника (дБм/ГГц)	–69	–69
Нормированный входной уровень Rx при BER 1×10^{-6} (дБВт/ГГц)	–61...–54	–61...–54
Длина линии связи (м)	100–300	100–300
Плотность развертывания	См. ниже	См. ниже
Критерии защиты помеха/шум	Рек. МСЭ-R F.758	Рек. МСЭ-R F.758

Оценка максимальной плотности линий ФС

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R М.2101 сценарии развертывания сетей радиодоступа для ИМТ делятся на четыре типа по месту расположения базовых станций – сельские, пригородные, городские и внутри помещений. Сценарии развертывания в пригородных и городских районах дополнительно подразделяются на макро- и микрзоны, зоны покрытия которых различаются. Зоны покрытия микрзон включены в макрозону.

Ожидается, что применения фиксированной службы, такие как периферийные и транзитные линии связи, обеспечат линию связи с высокой пропускной способностью между блоками BBU и RRH. Местоположение блока BBU может соответствовать макросотовой базовой станции, а местоположение блока RRH – микросотовой базовой станции как в городских, так и в пригородных районах. Однако из-за расстояния между БС в пригородных районах линии ФС, работающие в диапазоне 275–450 ГГц, предполагается использовать только в городской среде, а другие линии будут подключаться через другие полосы РЧ, уже распределенные фиксированной службе.

Расчетная плотность БС в городских районах составляет 30 БС на квадратный километр в каждом из частотных диапазонов, планируемых для ИМТ-2020 (то есть 24,25–33,4 ГГц, 37–43,5 ГГц, 45,5–52,6 ГГц и 66–86 ГГц)². Линии ФС в диапазоне 275–450 ГГц будут использоваться для линии со сверхвысокой пропускной способностью только в густонаселенных городских районах. Хотя доля густонаселенных городских зон на 1 кв. км не указана конкретно ни в одной публикации МСЭ-R, предполагаемое соотношение БС в густонаселенных городских районах составляет 7%.

Согласно этому допущению общее количество БС в Токийском столичном округе рассчитывается как 7% от 120 БС, умноженные на 619 кв. км, то есть 5200, как показано в таблице 8, для всей полосы 275–450 ГГц. В таблицу 8 также включен другой крупный город Японии. Этот расчет показывает, что во всем диапазоне 275–450 ГГц можно ожидать плотность 8,4 линии ФС на квадратный километр. При этом учитывается плотность 4,2 линии ФС на квадратный километр в каждой из полос 275–325 ГГц и 380–445 ГГц для оценки совокупного влияния излучений линий ФС.

Хотя показатель 4,2 линии ФС на квадратный километр основан на данных только по некоторым густонаселенным городам Японии, его можно считать репрезентативным в глобальном масштабе. Альтернативным способом описания распределения линий ФС может служить использование плотности населения вместе с вышеуказанным отношением 0,0007 линии на одного жителя (для всего диапазона 275–450 ГГц), то есть плотность 0,00035 линии ФС на одного жителя в каждой из полос 275–325 ГГц и 380–445 ГГц.

ТАБЛИЦА 8

Расчет линий ФС в диапазоне 275–450 ГГц для некоторых густонаселенных городов Японии

Название города	Площадь (кв. км)	Население (млн. человек)	Количество линий ФС	Количество линий ФС на кв. км ⁽¹⁾	Количество линий ФС на жителя
Округ Токио	619	9,37	5 200	8,4	0,0006
Иокогама	437,4	3,73	3 674	8,4	0,0010
Осака	223	2,70	1 873	8,4	0,0007
Нагоя	326,4	2,30	2 742	8,4	0,0012
Итого	1 605,8	18,1	13 489	8,4	0,0007

⁽¹⁾ Плотность линий ФС оценивается при условии, что все четыре предложенных диапазона миллиметровых волн будут регламентироваться в целях использования для услуг ИМТ-2020.

² Документ 5-1/36. Характеристики наземных систем ИМТ для анализа совместного использования частот/помех в диапазоне частот между 24,25 ГГц и 86 ГГц.

Углы места антенн

Высота антенн базовых станций в городском районе, по оценкам, составляет 6–25 м. Значения угла места антенн вычисляются на основе высоты антенн станций ФС и расстояния между линиями ФС. Хотя также указывается, что расстояние между базовыми станциями в густонаселенном городском районе равно 200 м, предполагается, что для расчета угла места антенны должны использоваться значения расстояния в диапазоне 100–300 м.

В районе мегаполиса Токио угол места, по оценкам, составляет менее $\pm 12^\circ$ с учетом указанных выше параметров, а также изменений профиля поверхности в Токио.

Принято типовое значение угла места $\pm 20^\circ$, которое позволяет проводить расчеты для различных городских зон по всему миру.

Присвоение каналов и потребности в спектре

В отношении потребностей в спектре для системы ИМТ в диапазоне частот между 24,5 ГГц и 86 ГГц, результаты одного из проведенных исследований показывают, что расчетная потребность в спектре составляет 18,7 ГГц, а результаты другого исследования – 27,4 ГГц, в том числе для беспроводных точек доступа в помещениях³.

С учетом результатов этих исследований ширина полосы канала 24,5 ГГц достаточна для обеспечения линии связи с высокой пропускной способностью для периферийных/транзитных соединений системы ИМТ. При аналогичных требованиях такая же полоса пропускания шириной около 25 ГГц может быть достаточной для первоначальных типовых сценариев развертывания.

Как обсуждалось ранее, суммарной ширины полосы около 50 ГГц в долгосрочной перспективе будет достаточно для поддержки развития трафика ИМТ между блоками ВВU и RRH. Возможными кандидатными полосами частот для периферийных и транзитных линий связи являются полосы 275–325 ГГц и 380–445 ГГц. В будущем может быть также рассмотрена полоса частот 330–370 ГГц после того, как станут доступны параметры для этого диапазона.

5.3 Характеристики систем радиоастрономической службы, работающих в диапазоне частот 275–450 ГГц

В таблицах 9 и 10 представлены пороговые уровни помех радиоастрономической службе, аналогичные приведенным в Рекомендации МСЭ-R RA.769, но для полос частот, представляющих интерес в настоящий момент. Записи ниже и выше диапазона 275–450 ГГц приведены в целях интерполяции. В таблице 11 перечислены места расположения 11 радиоастрономических станций, работающих в настоящее время в полосе 275–450 ГГц, а также указана одна станция, на которой предлагается вести такую работу. Средняя высота станций составляет 3500 м, а большинство из них расположены на высоте свыше 4000 м. Географическое положение станций и более подробную информацию можно найти с помощью мировой карты радиотелескопов и зон радиомолчания IUCAF по адресу: <http://tinyurl.com/yrvszk>.

³ Документ 5-1/36. Заявление о взаимодействии в адрес Целевой группы 5/1 – Потребности в спектре для наземного сегмента ИМТ в диапазоне частот между 24,5 ГГц и 86 ГГц.

ТАБЛИЦА 9

Пороговые уровни недопустимых помех для радиоастрономических наблюдений непрерывного спектра

Центральная частота ⁽¹⁾ f_c (МГц)	Предполагаемая ширина полосы Δf (МГц)	Минимальная шумовая температура антенны T_A (К)	Шумовая температура приемника T_R (К)	Чувствительность системы (колебания шума)		Пороговые уровни помех		
				Температура ΔT (мК)	Спектральная плотность мощности ΔP (дБ(Вт/Гц))	Входная мощность ΔP_H (дБВт)	п.п.м. $S_H \Delta f$ (дБ(Вт/м ²))	Спектральная п.п.м. S_H (дБ(Вт/(м ² · Гц)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
265 000	8 000	20	75	0,024	-274,8	-185,8	-115,9	-214,9
345 000	8 000	30	100	0,032	-273,5	-184,5	-112,2	-211,3
405 000	8 000	60	215	0,069	-270,2	-181,2	-107,6	-206,6
432 000	8 000	73	275	0,087	-269,2	-180,2	-106,0	-205,0
500 000	8 000	110	385	0,124	-267,7	-178,6	-103,2	-202,2

ТАБЛИЦА 10

Пороговые уровни недопустимых помех для радиоастрономических наблюдений спектральных линий

Частота f (МГц)	Предполагаемая ширина полосы канала спектральной линии Δf (кГц)	Минимальная шумовая температура антенны T_A (К)	Шумовая температура приемника T_R (К)	Чувствительность системы (колебания шума)		Пороговые уровни помех		
				Температура ΔT (мК)	Спектральная плотность мощности ΔP_S (дБ(Вт/Гц))	Входная мощность ΔP_H (дБВт)	п.п.м. $S_H \Delta f$ (дБ(Вт/м ²))	Спектральная п.п.м. S_H (дБ(Вт/(м ² · Гц)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
265 000	1 000	20	75	2,12	-255,3	-205,3	-135,4	-195,4
345 000	1 000	30	100	2,91	-254,0	-204,0	-131,8	-191,8
405 000	1 000	60	215	6,15	-250,7	-200,7	-127,1	-187,1
432 000	1 000	73	275	7,78	-249,7	-199,7	-125,5	-185,5
500 000	1 000	110	385	11,07	-248,2	-198,2	-122,7	-182,7

ТАБЛИЦА 11

Радиоастрономические станции, работающие в полосе 275–450 ГГц

Район 1 МСЭ-R

Название и местоположение обсерватории, администрация	Долгота (E), широта (N), угол места (м над средним уровнем моря)	Минимальный угол места (градусы)	Высота приемника над поверхностью земли (м)	Географические характеристики
IRAM-NOEMA, антенная решетка 12 × 15 м, Плато де Буре, Франция	5,9079173° 44,633889° (2 553)	0	15	Изолированное горное плато с частичным видом на сооружения общего пользования
IRAM-30 м, Пико Велета, Испания	-3,392778° 37,06611° (2 850)	0	31	Склон горы с видом на близлежащий горнолыжный курорт и город Гранада

Район 2 МСЭ-R

Название и местоположение обсерватории, администрация	Долгота (E), широта (N), угол места (м над средним уровнем моря)	Минимальный угол места (градусы)	Высота приемника над поверхностью земли (м)	Географические характеристики
LMT 50 м, Сьерра Негра, штат Пуэбла, Мексика	-97,313333° 18,985000° (4 660)	7	51	Вершина горы с прямой видимостью на несколько городов и в 15 км от шоссе Мехико – Пуэбла – Веракрус
APEX 12 м – Atacama Pathfinder Experiment, Чахнантор, Чили	-67,75888° -23,00583° (4 850)	0	13	Широкое плато, окруженное горами, с подъездной дорогой
ASTE 12 м – Atacama Submillimeter Telescope Experiment, Чахнантор, Чили	-67,7033° -22,97158° (4 775)	0	13	Широкое плато, окруженное горами, с подъездной дорогой
ALMA, 54 × 12 м + 12 × 7 м Чахнантор, Чили	-67,754928° -23,022911° (4 800)	0	13	Широкое плато, окруженное горами, с подъездной дорогой; круг диаметром 35 км с центром по указанным координатам
NANTEN2 4 м, Пампа Ла Бола, Чили	-67,702222° -22,296306° (4 750)	0	7	Широкое плато, с подъездной дорогой общего пользования
ARO SMT 10 м, гора Грэхем, штат Аризона, США	-109,89201° 32,701303° (3 200)	7	11	Удаленная вершина горы, покрытая лесом
JСMT 15 м, SMA 6 × 6 м и CSO 12 м; Мауна-Кеа, Гавайи, США	-155,47500° 19,821667° (4 300)	6	17	Изолированная вершина высокой горы

ТАБЛИЦА 11 (окончание)

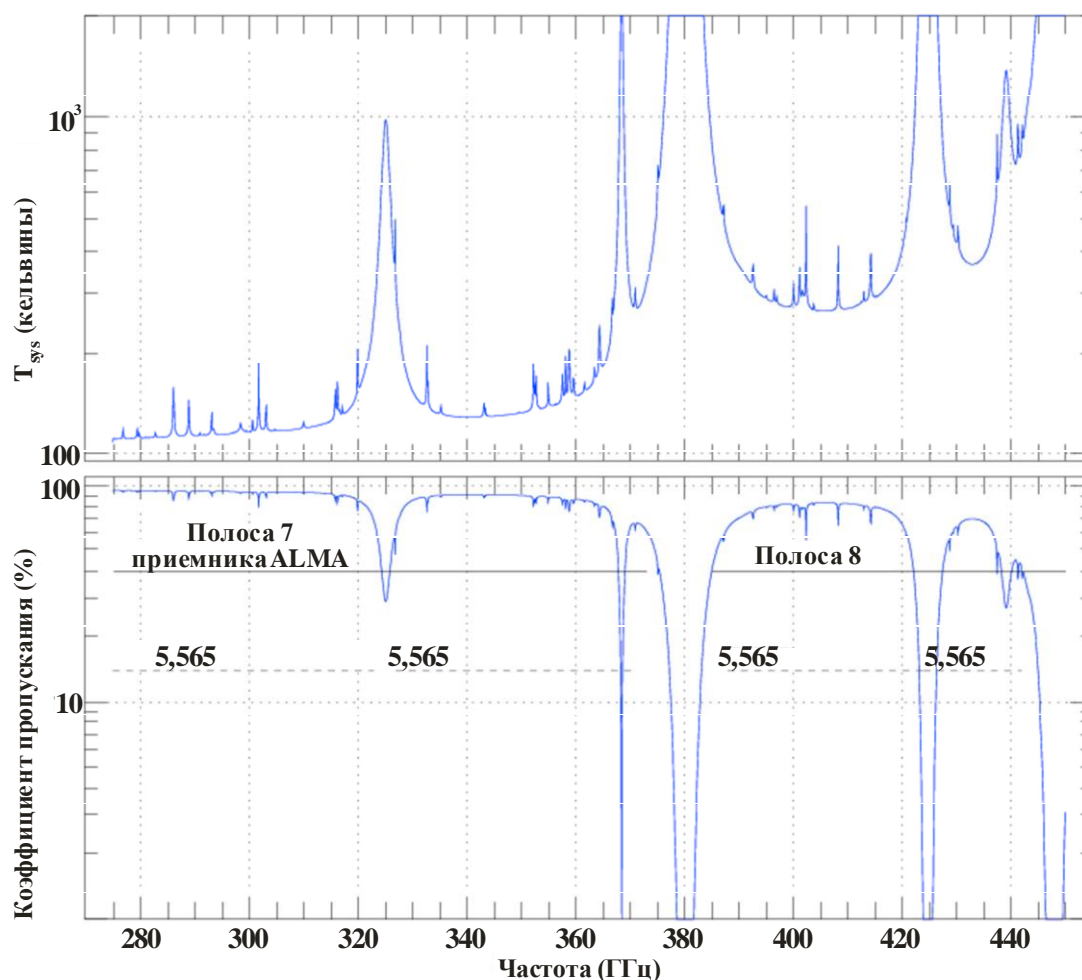
Название и местоположение обсерватории, администрация	Долгота (E), широта (N), угол места (м над средним уровнем моря)	Минимальный угол места (градусы)	Высота приемника над поверхностью земли (м)	Географические характеристики
Телескоп на Южном полюсе, 10 м, антарктическая исследовательская станция NSF -90° (2 820)	0	8	Непосредственно на Южном полюсе
Антенная решетка Simons и обсерватория Simons, Чили	-67,7875° -22,95861° (5 200)	0	6	Широкое плато, окруженное горами, с подъездной дорогой

Район 3 МСЭ-R

Название и местоположение обсерватории, администрация	Долгота (E), широта (N), угол места (м над средним уровнем моря)	Минимальный угол места (градусы)	Высота приемника над поверхностью земли (м)	Географические характеристики
CCOSMA, 3 м, Янбацзин, Тибет, Китай	90,5258° 30,1033° (4 319)	0	4	Широкое плато, окруженное горами, с подъездной дорогой
HEAT, 5 м, Купол А, Южный полюс, Китай (предлагаемая станция)	70,116111° -80,416944° (4 087)	0	6	Отдаленное место, вершина горы на широкой плоской высокогорной равнине

РИСУНОК 3

Температура системы в зените и пропускание атмосферы на комплексе ALMA



Report SM.2450-0 3

Верхний график – изменение температуры системы на комплексе ALMA в зависимости от частоты с учетом влияния неба, атмосферных условий и параметров приемника. Приведенная здесь температура системы представляет собой сумму величин T_A и T_R , указанных в таблицах 1 и 2 Приложения 1 к Рекомендации МСЭ-R RA.769, и равна значению T в уравнении (3) Рекомендации МСЭ-R RA.769 (то есть $T = T_A + T_R = T_{sys}$).

Нижний график – пропускание атмосферы в зависимости от частоты. Показаны диапазоны настройки полос 7 и 8 приемника Alma, а также диапазоны частот, упомянутые в п. 5.565 РР.

5.4 Характеристики систем спутниковой службы исследования Земли (пассивной), работающих в диапазоне частот 275–450 ГГц

В диапазоне 275–450 ГГц был выявлен ряд полос, представляющих научный интерес для исследований в области метеорологии, климатологии и химического состава атмосферы, перечень которых приведен в Приложении 1 к настоящему Отчету. Объектом метеорологического и климатологического зондирования в основном являются резонансные линии паров воды и кислорода и соответствующие окна частот, позволяющие получить эти необходимые физические величины, а при дистанционном зондировании химического состава атмосферы измеряются многие более мелкие спектральные линии различных химических частиц, содержащихся в атмосфере. В некоторых случаях наблюдения за одной молекулой проводятся в нескольких разных полосах частот вследствие того, например, что разные полосы частот могут быть чувствительны к определенной молекуле на разных высотах.

В Рекомендации МСЭ-R RS.2017 приведены допустимые уровни помех для систем пассивного дистанционного зондирования ССИЗ. В таблице 12 содержится выдержка из указанной Рекомендации, охватывающая диапазон частот 275–450 ГГц. Следует отметить, что указанные критерии защиты представляют собой суммарные уровни максимальных помех и должны распределяться между всеми источниками помех как внутри полосы, так и в соседней полосе. В соответствии с пунктом 1.15 повестки дня ВКР-19 эти критерии в случае необходимости должны быть распределены между ФС, ПС и, возможно, нежелательными излучениями, создаваемыми ФС и ПС.

ТАБЛИЦА 12

Выдержка из Рекомендации МСЭ-R RS.2017, содержащая критерии помех для спутникового пассивного дистанционного зондирования в диапазоне частот 275–450 ГГц

Полоса (полосы) частот (ГГц)	Эталонная ширина полосы (МГц)	Максимальный уровень помех (дБВт)	Процентная доля зоны или времени, для которых может быть превышен допустимый уровень помех ⁽¹⁾ (%)	Режим сканирования (N, C, L) ⁽²⁾
275–285,4	3	–194	1	L
296–306	200/3 ⁽³⁾	–160/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
313,5–355,6	200/3 ⁽³⁾	–158/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, C, L
361,2–365	200/3 ⁽³⁾	–158/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
369,2–391,2	200/3 ⁽³⁾	–158/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
397,2–399,2	200/3 ⁽³⁾	–158/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
409–411	3	–194	1	L
416–433,46	200/3 ⁽³⁾	–157/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
439,1–466,3	200/3 ⁽³⁾	–157/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, C, L

⁽¹⁾ Уровень 0,01% означает зону измерений в виде квадрата на Земле площадью 2 000 000 кв. км, если не оговорено иное; уровень 0,1% означает зону измерений в виде квадрата на Земле площадью 10 000 000 кв. км, если не оговорено иное; уровень 1% означает время измерений, равное 24 ч, если не оговорено иное.

⁽²⁾ N – надирный режим; L – лимбовый режим, C – конический режим.

⁽³⁾ Первая цифра для надирного или конического режимов, вторая цифра для применений микроволнового зондирования по лимбу.

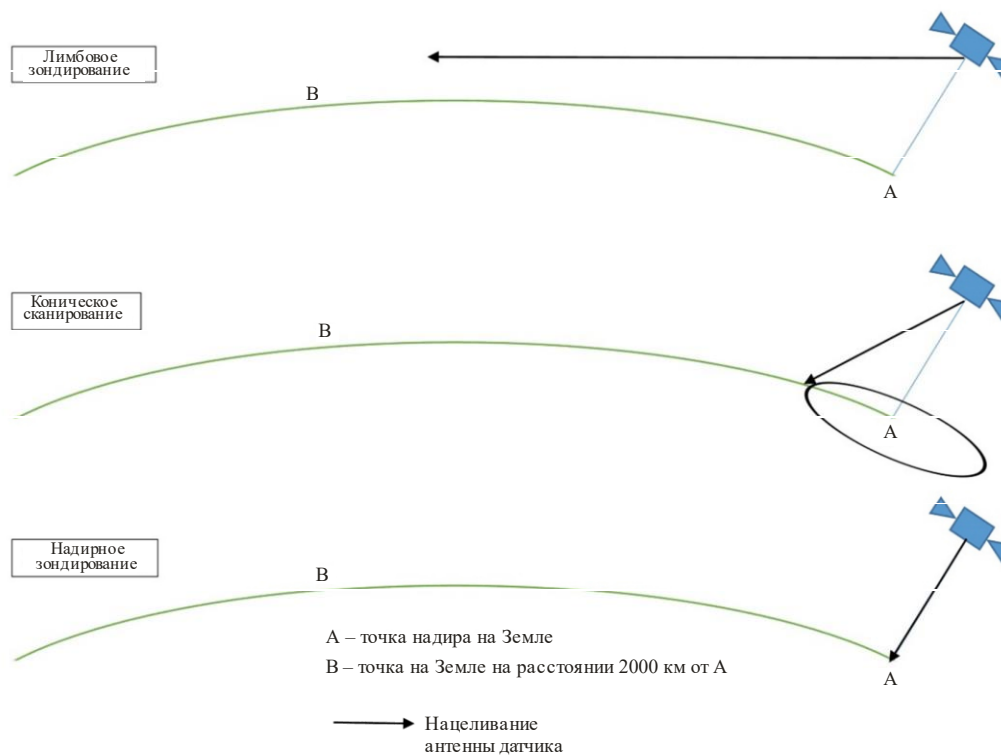
Что касается различных типов датчиков службы ССИЗ (пассивной), которые следует рассматривать в этих исследованиях, они определяются следующим образом.

- N – режимы надирного сканирования (сканирования в надир) ориентированы на зондирование или наблюдение поверхности Земли при углах, почти равных углу нормального падения. Сканирование завершается на поверхности или на различных уровнях атмосферы в соответствии с весовыми функциями, используемыми для оценки конкретного параметра атмосферы.
- L – в режимах лимбового сканирования атмосфера наблюдается "на краю" и наблюдение завершается в космосе, а не на поверхности Земли. Таким образом весовая функция имеет нулевое значение на поверхности и максимальное – на высоте точки касания.
- C – в режимах конического сканирования обзор поверхности Земли осуществляется путем поворота антенны на угол отклонения от надира.

Эти три типа датчиков представлены на рисунке 4. Следует также отметить, что датчики надирного типа включают в себя все возможные реализации датчиков, имеющие по меньшей мере один компонент сканирования в надир, такой как модули поперечного и веерного сканирования.

РИСУНОК 4

Режимы надирного, лимбового и конического сканирования датчика ССИЗ (пассивной)



Report SM.2450-0 4

В таблице 13 приведена краткая информация о системах ССИЗ (пассивной) в разбивке по полосам частот, которую необходимо учитывать при проведении исследований совместного использования частот в диапазоне 275–450 ГГц. Параметры, необходимые для проведения исследований, даны в таблице 14. Подробные характеристики указанных систем ССИЗ (пассивной) представлены в Отчете МСЭ-R RS.2431.

ТАБЛИЦА 13

**Системы спутникового пассивного дистанционного зондирования для полос частот
в диапазоне 275–450 ГГц⁴**

Полоса (полосы) частот (ГГц)		Режим сканирования	
		Надирный, конический	Лимбовый
275–285,4	<i>L</i>	-----	С учетом характеристик, аналогичных STEAMR (Примечание 1)
296–306	<i>N, L</i>	С учетом характеристик, аналогичных STEAMR (Примечание 1)	MASTER (LEO, п. 6.9)
313,5–355,6	<i>N, C, L</i>	ICI (LEO, п. 6.1) SSM (LEO, п. 6.3) GEM (ГСО, п. 6.5)	STEAMR (LEO, п. 6.4) CAMLS (LEO, п. 6.7) MASTER (LEO, п. 6.9)
361,2–365	<i>N, L</i>	С учетом характеристик, аналогичных ICI (Примечание 1)	С учетом характеристик, аналогичных STEAMR (Примечание 1)
369,2–391,2	<i>N, L</i>	TWICE (LEO, п. 6.2) GEM (ГСО, п. 6.5) GOMAS (ГСО, п. 6.6)	
397,2–399,2	<i>N, L</i>	С учетом характеристик, аналогичных ICI (Примечание 1)	
409–411	<i>L</i>	-----	
416–433,46	<i>N, L</i>	GOMAS (ГСО, п. 6.6)	
439,1–466,3	<i>N, C, L</i>	ICI (LEO, п. 6.1)	

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для некоторых полос, в которых параметры работающих или планируемых систем неизвестны, должны использоваться характеристики систем с тем же режимом сканирования, работающих в других полосах.

⁴ Ссылки на пункты в данной таблице относятся к пунктам Отчета МСЭ-R RS.2431.

ТАБЛИЦА 14

Краткий обзор технических характеристик систем ССИЗ (пассивной) в диапазоне частот 275–450 ГГц (см. Отчет МСЭ-R RS.2431)

Измерительный прибор	ICI	TWICE	SMM	STEAMR	GOMAS	GEM	CAMLS	MASTER	GMS
Тип орбиты	ССО (солнечно- синхронная разновидность LEO)	ССО	ССО	ССО	ГСО	ГСО	LEO (низкая околоземная)	ССО	ГСО
Высота (км)	817	400	Нет данных	817	35 684	35 684	Нет данных	817	35 684
Наклонение (градусы)	98,7	Большой угол наклонения	Большой угол наклонения	98,7	0	0	Нет данных	98,7	0
Режим сканирования	Коническое (рисунок 10)	Коническое (рисунок 11)	Коническое или поперечное (рисунок 13)	Лимбовое (рисунок 15)	Коническое (рисунок 17)	Коническое	Лимбовое	Лимбовое	Комбинирован- ное сканиро- вание "широкая полоса" и "точный круг" (рисунок 9)
Зенитный угол наблюдения (OZA) (градусы) для конического сканирования или минимальная высота наведения (км) для лимбового сканирования	Коническое сканирование 53 ± 2	Коническое сканирование 53	Нет данных	Лимбовое сканирование 6	Нет данных	Нет данных	Лимбовое сканирование 10	Лимбовое сканирование 3	Нет данных
Центральная частота РЧ (ГГц)	325,15 448	310 380,2	325	319,5 349,6	380,197 424,763	380,197 425,763	340	299,75 320,0 345,6	338 380,197 424,763
Ширина полосы РЧ (ГГц)	3,2–6 2,4–6 (таблица 4)	10 7,2	Нет данных	12 12	0,3–4 0,06–1 (таблица 12)	0,05–18 (LSB)	16	11,5 9,0 6,5	0,03–8 0,01–1
Тип антенны	Зеркальная, со смещенным многоэлемент- ным облучателем	Широкополос- ный многосек- ционный рупор	Нет данных	Отражательная антенна	Сканирующая с заполненной апертурой	Сканирующая с заполненной апертурой	Нет данных	Эллиптический отражатель со смещением	Отражательная антенна
Пиковое усиление антенны (дБи)	55	46–48 (будет подтверждено дополнительно)	Нет данных	70	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	76

ТАБЛИЦА 14 (окончание)

Измерительный прибор	ICI	TWICE	SMM	STEAMR	GOMAS	GEM	CAMLS	MASTER	GMS
Диаметр антенны (м)	~ 0,5	Нет данных	Нет данных	Нет данных	3	2	Нет данных	1 × 2	3
Ширина луча антенны (градусы)	Нет данных	0,64° 0,56°	Нет данных	См. рисунок 15	0,019° 0,017°	0,029° 0,026°	Нет данных	Нет данных	0,027°
Зона обзора (км) Площадь зоны обслуживания (кв. км)	16 Площадь ≈ 200 кв. км (таблица 3)	Зона обзора 6,5 × 9,9 Площадь ≈ 50 кв. км ----- Зона обзора 5,8 × 8,7 Площадь ≈ 40 кв. км (рисунок 6.2-2)	Нет данных	Нет данных (см. рисунок 15)	Мгновенная зона обзора 12 Площадь ≈ 110 кв. км ----- Мгновенная зона обзора 10 Площадь ≈ 75 кв. км	Зона обзора 20,5 Площадь ≈ 330 кв. км ----- Зона обзора 16,4 Площадь ≈ 210 кв. км	Нет данных (см. таблицу 13)	Нет данных (см. таблицу 17)	Мгновенная зона обзора 16

Следует отметить, что уравнения эталонных диаграмм направленности антенны ССИЗ (пассивной), приведенные в Рекомендации МСЭ-R RS.1813, в настоящее время ограничиваются диапазоном 1,4–100 ГГц. Однако ответственная Рабочая группа экспертов МСЭ-R рекомендует, чтобы уравнения диаграммы направленности антенны из Рекомендации МСЭ-R RS.1813 также использовались в этих исследованиях в диапазоне 275–450 ГГц.

6 Аспекты исследований совместного использования частот и совместимости

6.1 РАС

Потенциально возможные помехи радиоастрономической службе со стороны предлагаемой активной службы, использующей полосу частот 275–450 ГГц, отличаются от других случаев помех между службами из-за особенностей атмосферного поглощения (см. рисунки 3, 4 и А5-1), а также географического расположения радиоастрономических станций, использующих данную полосу частот (таблица 11). Эти станции, как правило, расположены на высоте от 3 до 5 км в засушливых районах, что позволяет свести к минимуму поглощение в осадках и атмосфере вокруг антенны радиоастрономической станции и над ней.

В полосе частот 275–450 ГГц небольшие антенны активной службы обладают малой шириной луча, которая невозможна в полосах более низких частот. Хотя, как ожидается, для систем ФС будут характерны узкие лучи и преимущественно небольшие углы места, могут потребоваться выбор надлежащих антенн и тщательное планирование направлений линий связи, чтобы избежать создания вредных помех радиоастрономической службе.

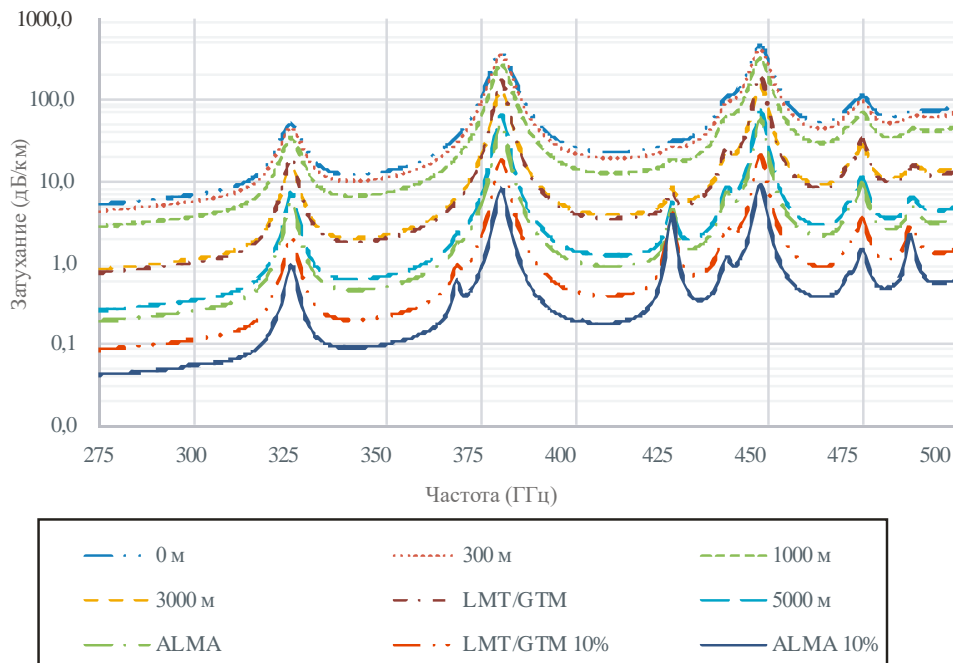
На частотах выше 275 ГГц на распространение сигналов в атмосфере Земли значительное влияние оказывают характеристики поглощения атмосферных молекул, прежде всего кислорода и водяного пара. Атмосферное затухание (ослабление в атмосфере) может обеспечить дополнительную защиту работы РАС на определенных частотах, однако сильные изменения в атмосферных молекулах в зависимости от высоты приводят к появлению на больших высотах "окон" пропускания, приближающихся к потерям в свободном пространстве.

В Отчете МСЭ-R RA.2189-1 содержится вывод о том, что при рассматриваемых в нем уровнях мощности излучения совместное использование частот радиоастрономической службой и активными службами в диапазоне 275–3000 ГГц возможно при учете атмосферных характеристик в зависимости от высоты над уровнем моря и направленности передающей антенны. Вредных помех радиоастрономическим станциям можно избежать, если использовать географические зоны исключения, окружающие объекты РАС. Прямое облучение обсерваторий РАС, в первую очередь на высотах, сопоставимых с высотами обсерваторий или превышающих их, может создавать помехи системам РАС.

Помимо зон исключения для защиты РАС в этих полосах частот от излучений систем фиксированной службы могут применяться две основные стратегии. Первая заключается в применении антенн с малой мощностью и узким лучом, а вторая – в том, чтобы избегать нацеливания на объекты РАС. Данные методы эффективны для большинства систем фиксированной связи пункта с пунктом, однако неприменимы для некоторых других наземных систем, в частности систем подвижной связи.

РИСУНОК 5

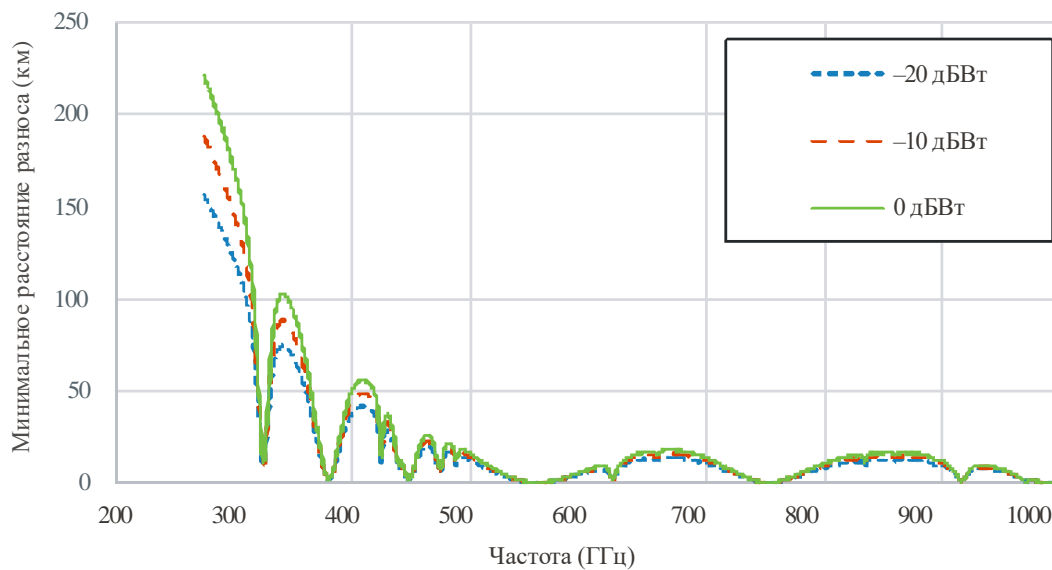
Атмосферное затухание, рассчитанное на горизонтальных трассах протяженностью 1 км на пяти различных высотах над уровнем моря, а также для среднегодовых условий наблюдений и 10-го перцентиля таких условий в радиоастрономических обсерваториях ALMA и LMT/GTM, исходя из свойств атмосферы, указанных в таблице 1 Отчета RA.2189-1



Report SM.2450-0 5

РИСУНОК 6

Горизонтальное расстояние на высоте 5000 м над уровнем моря, за пределами которого передаваемый сигнал на частотах от 275 до 1000 ГГц не будет превышать пороговые уровни помех радиоастрономической службе, приведенные в Отчете МСЭ-R RA.2189-1, где подчеркивается необходимость сочетания географических зон исключения с недопущением прямого облучения в целях защиты работы РАС



Report SM.2450-0 6

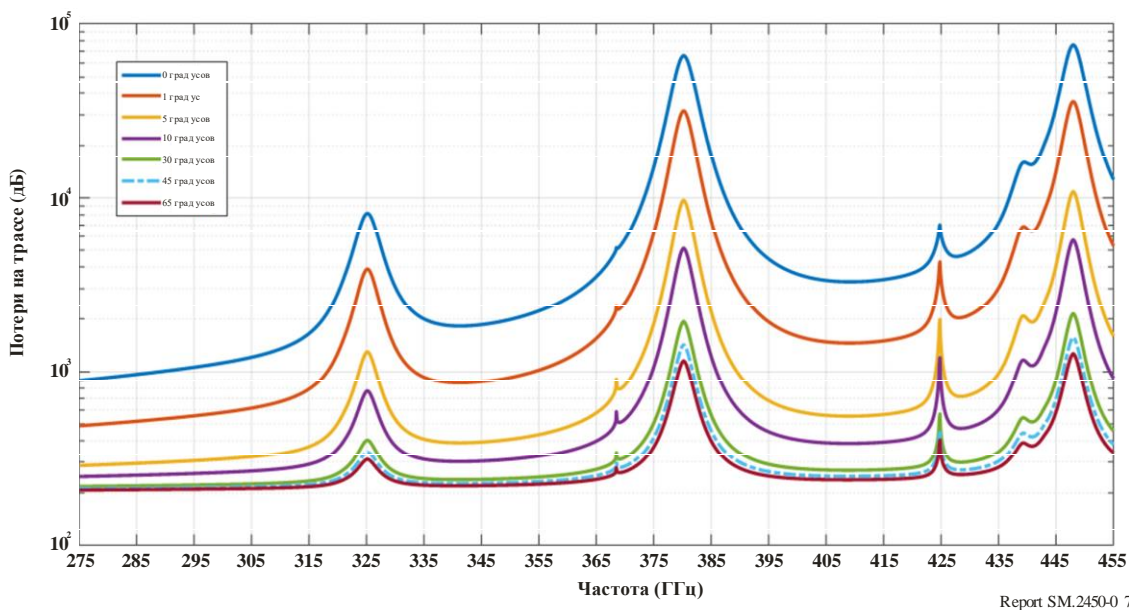
6.2 ССИЗ (пассивная)

Суммарные потери на трассе от линии фиксированной службы с малым углом места до спутника ССИЗ на негеостационарной орбите (спутника НГСО ССИЗ), поднимающегося над горизонтом по азимуту линии ФС, рассчитать достаточно сложно как из-за преломления траектории сигнала при изменении его высоты над землей, так и изменения затухания в зависимости от атмосферного давления, температуры и водяного пара. В п. 2.2 Приложения 1 к Рекомендации Р.676-11 приведен алгоритм для подобных расчетов. Однако при расчете не учитывается блокировка сигнала естественными препятствиями или препятствиями, создаваемыми зданиями, которые в ряде случаев снижают или устраняют помехи датчикам ССИЗ (пассивной). Таким образом при динамическом моделировании помех, создаваемых ФС и сухопутной подвижной службой датчикам ССИЗ (пассивной), необходимо учитывать вероятность наличия естественных препятствий и препятствий в виде зданий, способных ослабить воздействие помех. Аналогичным образом при оценке суммарных помех, создаваемых системами ФС, следует учитывать блокировку части источников.

На рисунках 7 и 8 показаны средние потери на трассе от наземного передатчика ФС с разными углами места до спутника на орбите высотой 817 км⁵.

РИСУНОК 7

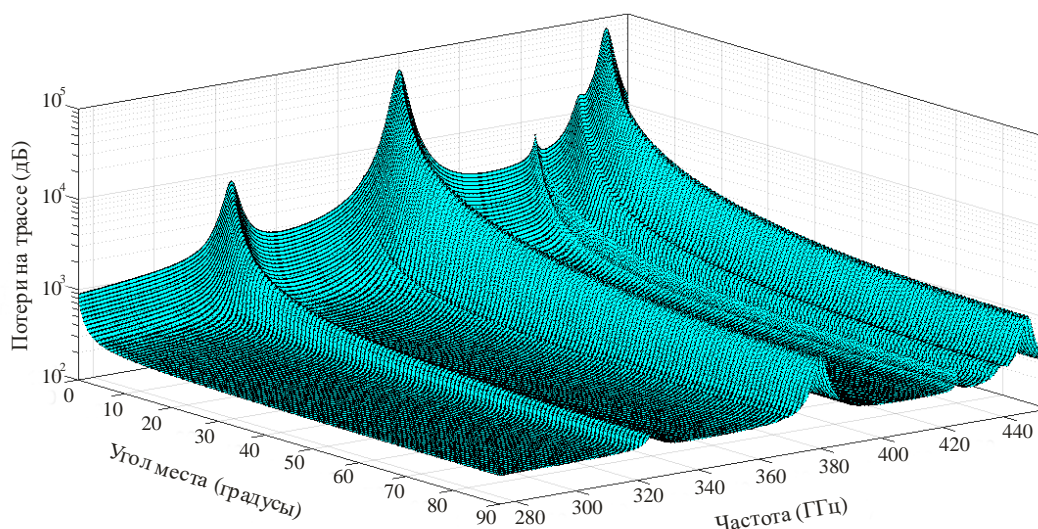
Средние потери на трассе от наземной точки до спутника ($H = 817$ км) в зависимости от угла места



Report SM.2450-0 7

⁵ Высота 817 км является типичной для негеостационарной орбиты спутников ССИЗ. Для других значений высоты результаты будут незначительно отличаться.

РИСУНОК 8
Трехмерное представление рисунка 7



Report SM.2450-0 8

Рисунки 7 и 8 основаны на сумме постоянных (то есть всегда присутствующих) потерь двух типов:

- средние потери, обусловленные атмосферными газами; и
- потери вследствие геометрического распространения энергии (потери на трассе в свободном пространстве).

Потери, обусловленные атмосферными газами, рассчитывались с использованием как метода суммирования спектральных линий, приведенного в Приложении 1 и п. 2.2 Рекомендации МСЭ-R P.676-11, так и характеристик среднегодовой глобальной эталонной атмосферы, определенных в Рекомендации МСЭ-R P.835. Исходя из характеристик такой эталонной атмосферы, на поверхности Земли давление сухого воздуха составляет 1013,25 гПа, температура равна 288,15 К, а плотность водяного пара – 7,5 г/м³.

Потери вследствие геометрического распространения энергии (потери на трассе в свободном пространстве), L_{sp} в дБ, рассчитываются исходя из частоты f (ГГц) и расстояния распространения d (км) следующим образом:

$$L_{sp} = 92,45 + 20 \log(f \cdot d). \quad (1)$$

Для спутника, находящегося на высоте H , и угла места φ расстояние распространения d можно получить из уравнения (2):

$$d = \sqrt{(a \sin \varphi)^2 + 2aH + H^2} - a \sin \varphi, \quad (2)$$

где a – эквивалентный радиус Земли, равный 6371 км.

Помимо упомянутых выше потерь могут также возникать потери вследствие рассеяния или поглощения, вызванного осадками.

Ограничение линий ФС низкими углами места может служить эффективным методом ослабления помех датчикам ССИЗ, однако любые ограничения по углу места для станций ФС должны стать обязательным регламентарным положением, обеспечивающим эффективность метода ослабления. Эту задачу дополнительно усложняет факт использования множества типов датчиков ССИЗ, обладающих разными характеристиками луч-Земля. В некоторых случаях эти датчики направлены вперед и возможна регулировка главного луча между фиксированными линиями связи под небольшим углом и датчиками ССИЗ (впрочем, она компенсируется более высоким уровнем атмосферного затухания). Возможные сценарии помех и их влияние должны проверяться путем исследований совместного использования частот и совместимости.

Для систем ФС и сухопутной подвижной службы, где невозможно обеспечить передачу с низким углом места, необходимо использовать альтернативные стратегии защиты, позволяющие добиться совместимости с пассивными службами, указанными в п. 5.565 РР. Сюда можно отнести тщательный выбор полос для систем активной службы на основе того, определены ли они для использования службой ССИЗ (пассивной) или нет. Многие полосы, определенные для использования ССИЗ (пассивной) согласно п. 5.565 РР, отделены друг от друга полосами умеренной ширины. Например, 286–296 ГГц и 399–409 ГГц – это две полосы шириной 10 ГГц, которые находятся между полосами, определенными для использования ССИЗ (пассивной). Таким образом эти две полосы целесообразно активно использовать в системах, где не могут применяться узконаправленные лучевые антенны с малым углом места. Теоретически возможно разработать антенны с многоканальным входом и многоканальным выходом (ММО), которые одновременно учитывают бюджеты линий связи для предполагаемого использования и ограничивают излучения при больших углах места. Однако технология ММО в настоящее время недоступна и поэтому не может служить основой для доступа к спектру в настоящее время.

Еще один метод защиты работы пассивных датчиков ССИЗ на негеостационарной орбите, которые могут столкнуться с возникновением связи между главными лучами с наземными активными службами при больших углах места, аналогичен методам, используемым при совместном использовании частот для спутников связи ФСС на геостационарных и негеостационарных орбитах (ГСО и НГСО). Данный метод позволяет предугадать проблемы с согласованием, которые создают угрозу ухудшения рабочих характеристик спутника НГСО ССИЗ и модифицировать параметры наземной системы в период воздействия возможных помех. Однако при использовании данного метода весь риск неудачи с его применением ложится на службу ССИЗ (пассивную) и потребует использования глобальной базы данных, детали которой не определены. Кроме того, отсутствует опыт успешного применения этого метода в отношении любых двух служб, любого географического масштаба или любого частотного диапазона.

Завершающим аспектом исследований совместимости между ССИЗ (пассивной), ФС и сухопутной подвижной службой является необходимость учета суммарных помех, создаваемых множеством активных систем, развернутых и излучающих сигналы в тех же полосах частот. Такие исследования суммарных помех должны учитывать препятствия, создаваемые как рельефом местности, так и зданиями для излучений ФС и СПС.

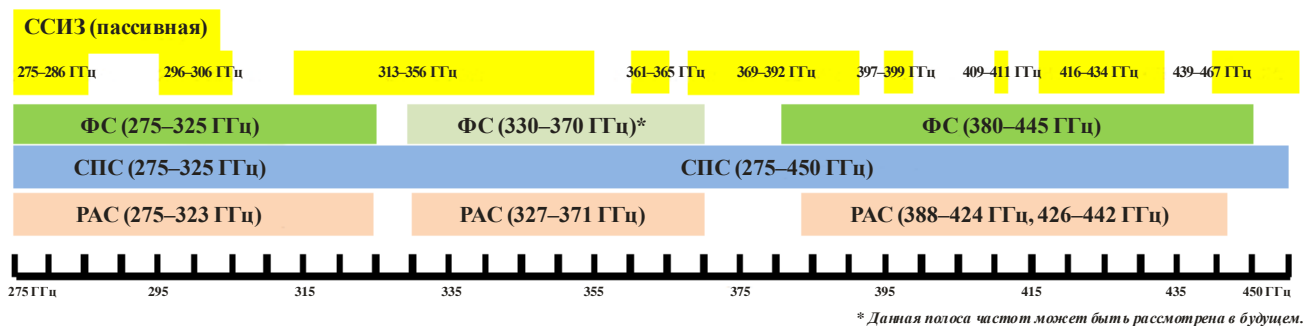
7 Сценарии помех, создаваемых системами сухопутной подвижной и фиксированной служб, работающими в полосе 275–450 ГГц, системам пассивных служб, использующих спектр, определенный в п. 5.565 РР

Согласно п. 5.565 РР полосы частот 275–323 ГГц, 327–371 ГГц, 388–424 ГГц и 426–442 ГГц определены для использования системами РАС, а полосы 275–286 ГГц, 296–306 ГГц, 313–356 ГГц, 361–365 ГГц, 369–392 ГГц, 397–399 ГГц, 409–411 ГГц, 416–434 ГГц и 439–467 ГГц – системами ССИЗ (пассивной). Рассмотрены следующие исследования совместного использования частот и совместимости:

- 1) система СПС, работающая в полосе 275–450 ГГц, в отношении защиты станций ССИЗ, работающих в полосах 275–286 ГГц, 296–306 ГГц, 313–356 ГГц, 361–365 ГГц, 369–392 ГГц, 397–399 ГГц, 409–411 ГГц, 416–434 ГГц и 439–467 ГГц;
- 2) система ФС, работающая в полосе 275–450 ГГц, в отношении защиты станций ССИЗ, работающих в полосах 275–286 ГГц, 296–306 ГГц, 313–356 ГГц, 361–365 ГГц, 369–392 ГГц, 397–399 ГГц, 409–411 ГГц, 416–434 ГГц и 439–450 ГГц;
- 3) система ФС, работающая в полосе 275–450 ГГц, в отношении защиты станций РАС, работающих в полосах 275–323 ГГц, 327–371 ГГц, 388–424 ГГц и 426–442 ГГц.

РИСУНОК 9

Полосы частот, рассмотренные в исследованиях совместного использования частот



Report SM.2450-0 9

7.1 Сценарии помех, создаваемых системами СПС, работающими в полосе 275–450 ГГц, системам ССИЗ (пассивной) и РАС

Два сценария помех, приведенные в таблице 15, показаны на рисунке 10 и могут рассматриваться в контексте взаимодействия систем СПС и пассивных служб.

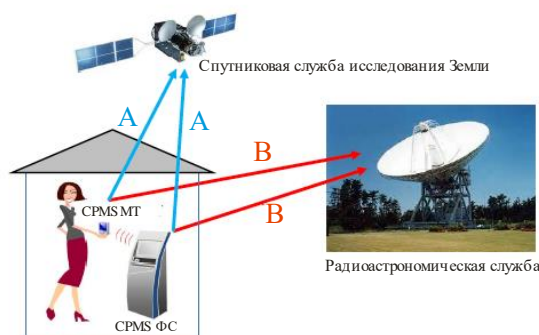
ТАБЛИЦА 15
Сценарии помех

Сценарий	Источник помех	Объект воздействия помех	Модель распространения радиоволн (см. Приложение 2)
А	Мобильный терминал СПС Фиксированная станция	Датчик ССИЗ	Рек. МСЭ-R P.619, Рек. МСЭ-R P.2108 ⁽¹⁾ , Рек. МСЭ-R P.2109 ⁽²⁾
В	Мобильный терминал СПС Фиксированная станция	Станция РАС	Рек. МСЭ-R P.452, Рек. МСЭ-R P.2108 ⁽³⁾ , Рек. МСЭ-R P.2109 ⁽²⁾

- (1) Потери, вызываемые отражением от препятствий, на спутниковой трассе в полосе 300 ГГц, равные 0 дБ, получены экстраполяцией на основе данной Рекомендации.
- (2) Потери на входе в здание в полосе 300 ГГц, равные 73 дБ, получены экстраполяцией на основе данной Рекомендации.
- (3) Потери, вызываемые отражением от препятствий, на наземной трассе в полосе 300 ГГц, равные 47 дБ, получены экстраполяцией на основе данной Рекомендации.

РИСУНОК 10

Иллюстрация сценариев помех между системами СПС и пассивными службами



Report SM.2450- 10

7.2 Сценарии помех, создаваемых системами ФС, работающими в полосе 275–450 ГГц, системам ССИЗ (пассивной) и РАС

Два сценария помех, приведенные в таблице 16, рассматриваются в контексте взаимодействия систем ФС (периферийных/транзитных линий связи) и пассивных служб.

ТАБЛИЦА 16
Сценарии помех

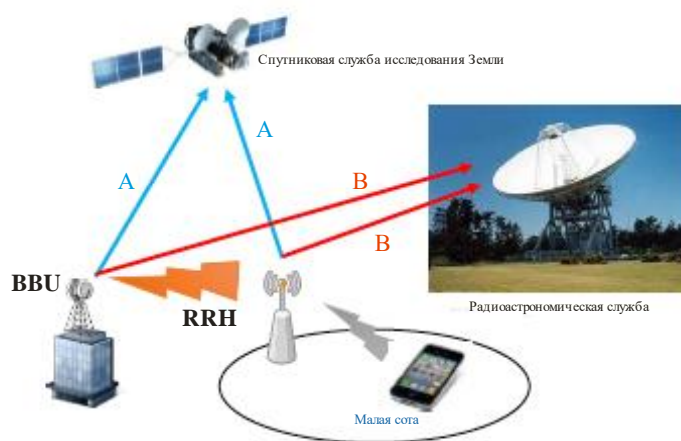
Сценарий	Источник помех	Объект воздействия помех	Модель распространения радиоволн (см. Приложение 2)
А	Периферийные/ транзитные линии связи	Датчики ССИЗ	Рек. МСЭ-R P.619, Рек. МСЭ-R P.2108 ⁽¹⁾
В	Периферийные/ транзитные линии связи	Станция РАС	Рек. МСЭ-R P.452, Рек. МСЭ-R P.2108 ⁽²⁾

(1) Потери, вызываемые отражением от препятствий, на спутниковой трассе в полосе 300 ГГц, равные 16 дБ при угле места 12°, получены экстраполяцией на основе данной Рекомендации.

(2) Потери, вызываемые отражением от препятствий, на наземной трассе в полосе 300 ГГц, равные 47 дБ, получены экстраполяцией на основе данной Рекомендации.

РИСУНОК 11

Иллюстрация сценариев помех между системами ФС и пассивными службами



8 Исследования совместного использования частот и совместимости, относящиеся к службе ССИЗ (пассивной)

8.1 Исследования совместного использования частот и совместимости между системами СПС и спутниковой службы исследования Земли (пассивной)

Подробная информация об исследованиях совместного использования частот системами СПС и ССИЗ (пассивной) приведена в Приложении 4.

В рамках 3-го исследования была проанализирована потенциальная возможность создания помех системами СПС, работающими в диапазоне частот 275–450 ГГц, системам ССИЗ (пассивной).

При проведении исследования применялся подход, заключающийся в выполнении отдельного анализа мгновенной зоны обзора (IFOV) для каждого типа пассивного датчика. Согласно результатам этого исследования была достигнута совместимость в полосах частот 275–296 ГГц, 306–313 ГГц, 320–330 ГГц и 356–450 ГГц без необходимости введения обязательных регламентарных положений. Было также отмечено, что в полосе частот 275–286 ГГц системы СПС создавали проблемы для датчиков как конического, так и надирного сканирования, однако в настоящее время данная полоса используется только для лимбового зондирования.

По результатам 4-го исследования был сделан вывод о том, что полосы частот 275–296 ГГц, 306–313 ГГц, 319–332 ГГц и 356–450 ГГц могут использоваться системами СПС без каких-либо особых условий. Были также изучены сценарии использования внутри и вне помещений в целях определения возможных диапазонов частот для применения устройств CPMS в СПС.

8.2 Исследования совместного использования частот и совместимости между системами ФС и ССИЗ (пассивной)

Было проведено несколько исследований совместного использования частот и совместимости в целях поиска полос частот, которые могли бы использоваться системами ФС. Подробная информация об этих исследованиях приведена в Приложении 4.

2-е исследование было посвящено как анализу помех от одного источника для станций ФС и ССИЗ (пассивной) в случае трех различных сценариев нацеливания в диапазоне частот 275–450 ГГц, так и анализу суммарных помех, выполненному для распределений углов места ФС $\pm 20^\circ$ и $\pm 12^\circ$. Согласно результатам данного исследования совместимость возможна в полосах частот 275–286 ГГц, 318–334 ГГц, 350–356 ГГц, 361–365 ГГц, 369–392 ГГц, 397–399 ГГц, 409–411 ГГц, 416–434 ГГц и 439–450 ГГц.

В рамках 3-го исследования был проведен анализ потенциальных помех, которые могут быть созданы системами СПС, работающими в диапазоне частот 275–450 ГГц, системам ССИЗ (пассивной). При проведении анализа применялся подход, заключающийся в выполнении отдельного анализа мгновенной зоны обзора (IFOV) для каждого типа пассивного датчика. Согласно результатам исследования была достигнута совместимость в полосах частот 275–296 ГГц, 306–313 ГГц, 320–330 ГГц и 356–450 ГГц. Было также отмечено, что в полосе 275–286 ГГц системы ФС создавали проблемы для датчиков как конического, так и надирного сканирования, однако в настоящее время данная полоса используется только для лимбового зондирования.

В рамках 4-го исследования был проведен анализ суммарных помех в диапазоне частот 275–450 ГГц, в ходе которого была выполнена оценка совместимости между станцией ФС и датчиками ССИЗ (пассивной). По результатам данного исследования был сделан вывод о том, что станции ФС не будут создавать помех датчикам ССИЗ (пассивной) в полосах частот 275–296 ГГц, 306–313 ГГц, 318–336 ГГц и 348–450 ГГц. Несмотря на то что диапазон частот 275–450 ГГц разделен на четыре частотных сегмента, возможно получение непрерывной полосы 50 ГГц.

По результатам 5-го исследования был сделан вывод о том, что для ФС не могут использоваться следующие полосы частот, которые в настоящее время определены для ССИЗ (пассивной) в п. 5.565 РР: 296–306 ГГц, 313–320 ГГц и 331–356 ГГц. В остальных частях диапазона 275–450 ГГц может быть предусмотрено использование полос службой ФС. Этих полос будет достаточно для удовлетворения потребностей ФС в спектре объемом 50 ГГц.

8.3 Резюме результатов исследований совместного использования частот и совместимости, относящихся к ССИЗ (пассивной)

В таблице 17 приведены полосы частот, предложенные для систем ФС/СПС по результатам 2-го, 3-го, 4-го и 5-го исследований. По результатам этих исследований был сделан вывод о том, что некоторые полосы частот могут использоваться сухопутной подвижной и фиксированной службами. Притом что результаты исследований слегка различаются (как показано в таблице), был сделан общий вывод: следующие полосы частот могут использоваться применениями ФС/СПС без особых условий при сохранении защиты пассивных служб:

- применения ФС/СПС: 275–296 ГГц, 306–313 ГГц, 320–330 ГГц и 356–450 ГГц.

Эти результаты не включают совместимость с радиоастрономической службой, которая рассматривается в следующем разделе.

ТАБЛИЦА 17

Краткий обзор результатов исследований

Исследование	Служба	Совместимые полосы для ФС/СПС (при отсутствии необходимости в особых условиях для защиты ССИЗ (пассивной))			
		Полоса 1 (ГГц)	Полоса 2 (ГГц)	Полоса 3 (ГГц)	Полоса 4 (ГГц)
2	ФС и СПС	275–296	306–313	318–333	356–450
3	ФС и СПС	275–296	306–313	320–330	356–450
4	ФС и СПС	275–296	306–313	319–332	356–450
5	ФС и СПС	275–296	306–313	318–333	356–450

9 Исследования совместного использования частот и совместимости, относящиеся к РАС

9.1 Исследования совместного использования частот и совместимости между системами СПС и радиоастрономической службой

Исследования совместного использования частот и совместимости между системами СПС и радиоастрономической службой не проводились. Однако результаты, приведенные в Отчете МСЭ-R RA.2189-1, не зависят от типа службы, поскольку в этом Отчете учитывается только уровень мощности одиночного передатчика и его расстояние от станции РАС. В Отчете МСЭ-R RA.2189-1 содержится вывод о необходимости проведения исследований совместного использования частот в конкретных географических точках в каждом отдельном случае. Для систем СПС следует учитывать суммарные помехи.

9.2 Исследования совместного использования частот системами ФС и радиоастрономической службой

Было проведено несколько исследований совместного использования частот и совместимости в целях поиска полос частот, которые могли бы использоваться системами ФС. Подробная информация об этих исследованиях приведена в Приложении 5.

Первое исследование содержит два примера типичных условий вблизи мест, используемых для радиоастрономических наблюдений. Исследованы две геометрии расположения – линия ФС и станция РАС в одной плоскости с изменяющимся углом азимута и мощностью линии ФС и линия ФС и станция РАС на разных высотах, при этом луч ФС зафиксирован по азимуту станции РАС, а его расстояние и угол места изменяются. В этих исследованиях использовались три частоты: 275 ГГц, 345 ГГц и 412 ГГц. По результатам исследований был сделан вывод о том, что для защиты станций РАС могут потребоваться расстояния разноса, а также углы избежания азимута и угла места, поскольку одних только потерь в атмосфере недостаточно для обеспечения совместимости.

Результаты 2-го исследования содержат несколько расчетов необходимых расстояний разноса для разных высот расположения станции ФС и станции РАС. Исследование показало, что необходимые расстояния разноса составляют 150 км, а минимальные расстояния разноса достигаются при пиковых значениях атмосферного поглощения. Если учитывать потери, вызываемые отражением от препятствий, эти расстояния могут быть уменьшены.

9.3 Резюме результатов исследований совместного использования частот и совместимости, относящихся к РАС

Исследования совместимости между системами РАС и ФС показали, что недостаточно учитывать только атмосферное поглощение, не зависящее от потерь в свободном пространстве, в полосе 275–450 ГГц для обеспечения совместимости работы ФС и РАС в отсутствие других факторов. В полосах, определенных для использования системами РАС в п. 5.565 РР (275–323 ГГц, 327–371 ГГц, 388–424 ГГц и 426–442 ГГц), в зависимости от условий развертывания станций ФС необходимо учитывать расстояние разноса и/или углы избежания пересечения луча между станциями РАС и ФС.

При работе станций на одной и той же географической высоте необходимо, чтобы лучи ФС не были нацелены слишком близко к станции РАС. Величина угла избежания, помимо других переменных, будет зависеть от особенностей фактической диаграммы направленности ФС, которая используется в той или иной ситуации. При работе станций РАС на больших высотах в прямой видимости станций ФС, работающих на значительно меньших высотах, лучи ФС могут быть направлены по азимуту к станции РАС на частотах вблизи верхней границы полосы или при достаточных горизонтальных расстояниях разноса, однако это необходимо изучать в каждом конкретном случае в зависимости от уровня мощности передатчика.

Сценарии, включающие суммарные помехи от множества работающих систем ФС, потребуют подробного моделирования с учетом особенности ситуации и должны оцениваться для каждого случая отдельно.

Приложение 1

ТАБЛИЦА А1-1

Полосы частот, представляющие интерес для ССИЗ (пассивной), между 275 и 450 ГГц (выдержки из Отчета МСЭ-R RS.2194)

Полоса (полосы) частот (ГГц)	Общая требуемая ширина полосы (МГц)	Спектральная линия (линии) (ГГц)	Результат измерений			Типовой режим сканирования	Существующие или планируемые измерительные приборы	Вспомогательная информация
			Метеорология – климатология	Окно (ГГц)	Химический состав			
275–285,4	10 400	276,33 (N ₂ O), 278,6 (ClO)		276,4–285,4	N ₂ O, ClO	Лимбовый		Химический состав (275–279,6), окно (276,4–285,4)
296–306	10 000	Окно для 325,1, 298,5 (HNO ₃), 300,22 (HOCl), 301,44 (N ₂ O), 303,57 (O ₃), 304,5 (O ¹⁷ O), 305,2 (HNO ₃)	Крыльевой канал для температурного зондирования	296–306	КИСЛОРОД, N ₂ O, O ₃ , O ¹⁷ O, HNO ₃ , HOCl	Надирный, лимбовый		Окно (296–306), химический состав (298–306)
313,5–355,6	42 100	313,8 (HDO), 315,8, 346,9, 344,5, 352,9 (ClO), 318,8, 345,8, 344,5 (HNO ₃), 321,15, 325,15 (H ₂ O), 321, 345,5, 352,3, 352,6, 352,8 (O ₃), 322,8, 343,4 (HOCl), 345,0, 345,4 (CH ₃ Cl), 345,0 (O ¹⁸ O), 345,8 (CO), 346 (BrO), 349,4 (CH ₃ CN), 351,67 (N ₂ O), 354,5 (HCN)	СОСТАВЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ ВОДЯНОГО ПАРА ОБЛАЧНОСТЬ, крыльевой канал для температурного зондирования	339,5–348,5	H ₂ O, CH ₃ Cl, HDO, ClO, O ₃ , HNO ₃ , HOCl, CO, O ¹⁸ O, HCN, CH ₃ CN, N ₂ O, BrO	Надирный, конический, лимбовый	STEAMR (PREMIER), CLOUDICE, MWI (ICI), GOMAS, GEM	Линия водяного пара на 325,15 (314,15–336,15, ширина полосы (ШП) 3 ГГц, макс. смещение 9,5 ГГц), Измерения облачности (331,65–337,65, 314,14–348,339–348, 314,14–317,15, 320,45–324,45, 325,8–329,85, 336–344, 339–348), CLOUDICE (314,15–336,15), MWI (ICI) (313,95–336,35) Окно (339,5–348,5), GEM – химический состав (342–346), STEAMR ⁽⁴⁾ (PREMIER) – химический состав (310,15–359,85)
361,2–365	3 800	364,32 (O ₃)	Крыльевой канал для составления профиля водяного пара		O ₃	Надирный, лимбовый	GOMAS	GOMAS – водяной пар (361–363), химический состав (363–365)

ТАБЛИЦА А1-1 (окончание)

Полоса (полосы) частот (ГГц)	Общая требуемая ширина полосы (МГц)	Спектральная линия (линии) (ГГц)	Результат измерений			Типовой режим сканирования	Существующие или планируемые измерительные приборы	Вспомогательная информация
			Метеорология – климатология	Окно (ГГц)	Химический состав			
369,2–391,2	22 000	380,2 (H ₂ O)	СОСТАВЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ ВОДЯНОГО ПАРА			Надирный, лимбовый	GEM, GOMAS	Линия водяного пара (369,2–391,2, ШП 3 ГГц, макс. смещение 9,5 ГГц), GEM – зондирование водяного пара (379–381), составление профиля водяного пара (371–389), спутники на полярной и геостационарной орбите (FY4) для осадков над заснеженными горами и равнинами (около 380) GOMAS (370,2–390,2)
397,2–399,2	2 000		СОСТАВЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ ВОДЯНОГО ПАРА				GOMAS	GOMAS (397,2–399,2)
409–411	2 000		Температурное зондирование			Лимбовый		
416–433,46	17 460	424,7 (O ₂)	КИСЛОРОД, составление температурного профиля			Надирный, лимбовый	GEM, GOMAS	Линия кислорода (416,06–433,46, ШП 3 ГГц, макс. смещение 7,2 ГГц), GEM – кислород (416–433) GOMAS (420,26–428,76)
439,1–466,3	27 200	442 (HNO ₃), 443,1, 448 (H ₂ O), 443,2 (O ₃)	СОСТАВЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ ВОДЯНОГО ПАРА, ОБЛАЧНОСТЬ	458,5–466,3	O ₃ , HNO ₃ , N ₂ O, CO	Надирный, лимбовый, конический	MWI (ICI), CLOUDICE	Линия воды (439,3–456,7, ШП 3 ГГц, макс. смещение 7,2 ГГц), измерения облачности (452,2–458,2, 444–447,2, 448,8–452, 459–466), CLOUDICE (439,3–456,7), MWI (ICI) (439,1–456,9), химический состав (442–444), окно (458,5–466,64)

⁽⁴⁾ Поскольку для достижения оптимальной точности измерений требуется настройка гетеродина приемника, то полоса частот, указанная для этого прибора (STEAMR), превышает указанную в соответствующем первом столбце.

Приложение 2

Экстраполяция потерь на входе в здание и потерь, вызываемых отражением от препятствий, на основе Рекомендаций МСЭ-R P.2108 и МСЭ-R P.2109 для исследований совместного использования частот и совместимости

В настоящем Приложении приведена оценка медианных потерь на входе в здание (VEL) и потерь, вызываемых отражением от препятствий, в полосе 300 ГГц, с использованием экстраполяции результатов, приведенных в Рекомендациях МСЭ-R P.2109 и МСЭ-R P.2108. На рисунке A2-1 показаны экстраполированные потери на входе в здание в полосе 300 ГГц величиной около 73 дБ в условиях теплоэффективного здания и 27,7 дБ для традиционных зданий без учета дополнительных потерь на фасаде здания в целях упрощения. Однако несмотря на возможность экстраполяции медианного значения VEL на основе модели для использования данной информации в исследованиях совместного использования частот потребуется полное распределение VEL; на основе имеющейся в настоящее время модели VEL можно получить распределения VEL только для частот до 100 ГГц. В будущем возможно будет доступна подробная информация о потерях на входе в здание на этих частота без необходимости в экстраполяции значений.

На рисунке A2-2 показаны экстраполированные медианные потери, вызываемые отражением от препятствий для спутниковой трассы при $p = 50\%$ при различных углах места. Однако медианное значение потерь, вызываемых отражением от препятствий, не может применяться в исследованиях совместного использования частот и совместимости; необходимо использовать полное распределение значений потерь, вызываемых отражением от препятствий, для заданной частоты и высоты. Данное распределение может быть рассчитано на основе модели отражения от препятствий. Поскольку потери, вызываемые отражением от препятствий, для спутниковой трассы с углом места 90° близки к нулю, такие потери не используются дополнительно для исследований совместимости между системами СПС и ССИЗ (пассивной). На рисунке A2-3 показаны экстраполированные потери, вызываемые отражением от препятствий, для наземных трасс, полученные из Рекомендации МСЭ-R P.2109.

РИСУНОК A2-1

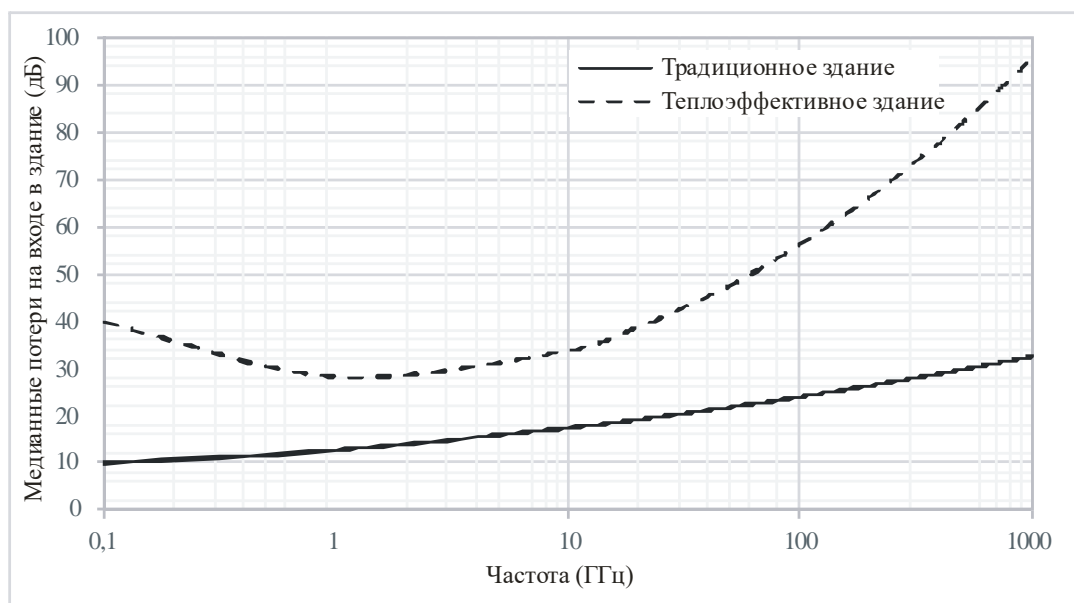
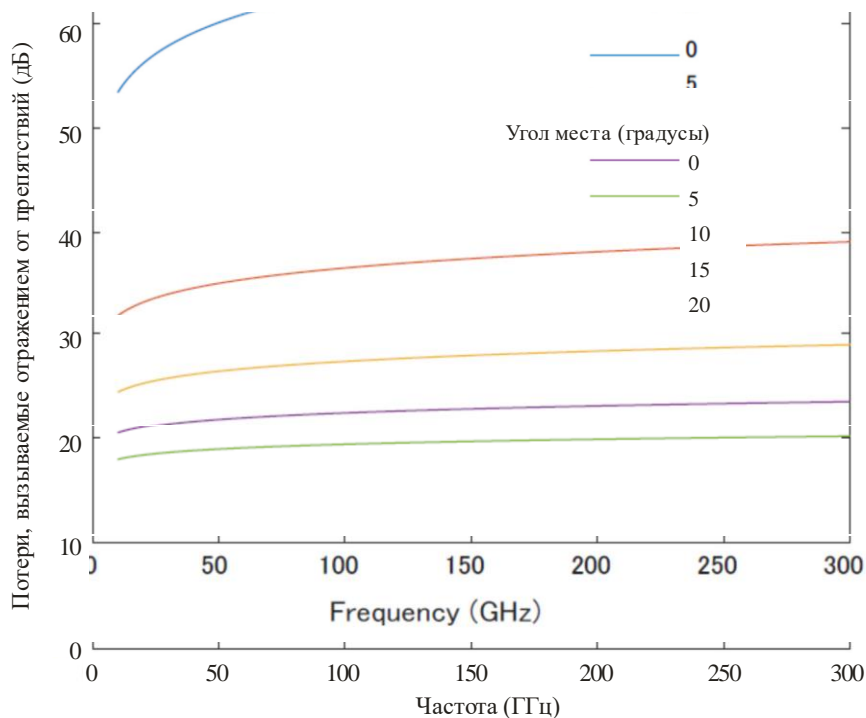
Экстраполяция медианных потерь на входе в здание на основе Рекомендации МСЭ-R P.2109

РИСУНОК A2-2

Экстраполяция медианных потерь, вызываемых отражением от препятствий ($p = 50\%$), для спутниковой трассы на основе Рекомендации МСЭ-R P.2108

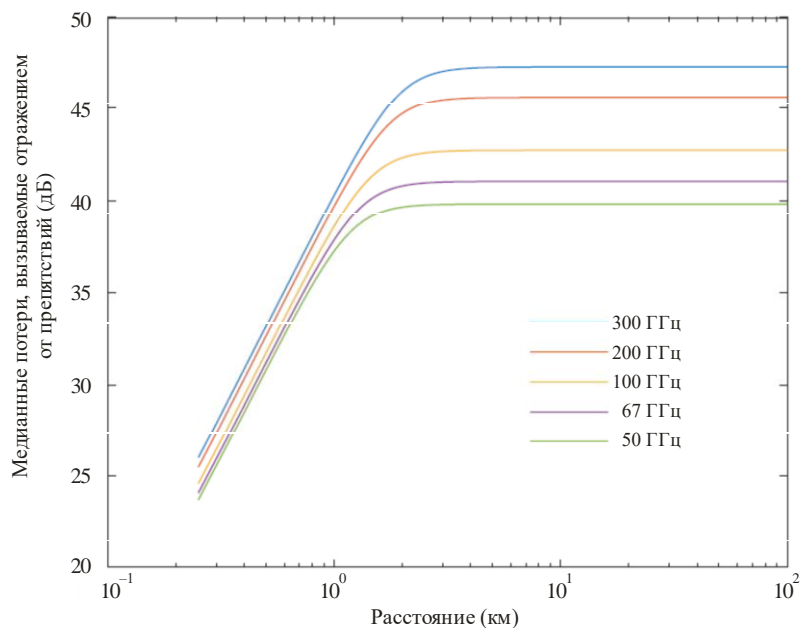


Report SM.2450- A2-02

ПРИМЕЧАНИЕ. – При анализе совместного использования частот и совместимости необходимо использовать полное распределение модели потерь, вызываемых отражением от препятствий.

РИСУНОК A2.3

Потери, вызываемые отражением от препятствий, для наземной трассы, экстраполированные с использованием Рекомендации МСЭ-R P.2108



Report SM.2450- A2-03

Приложение 3

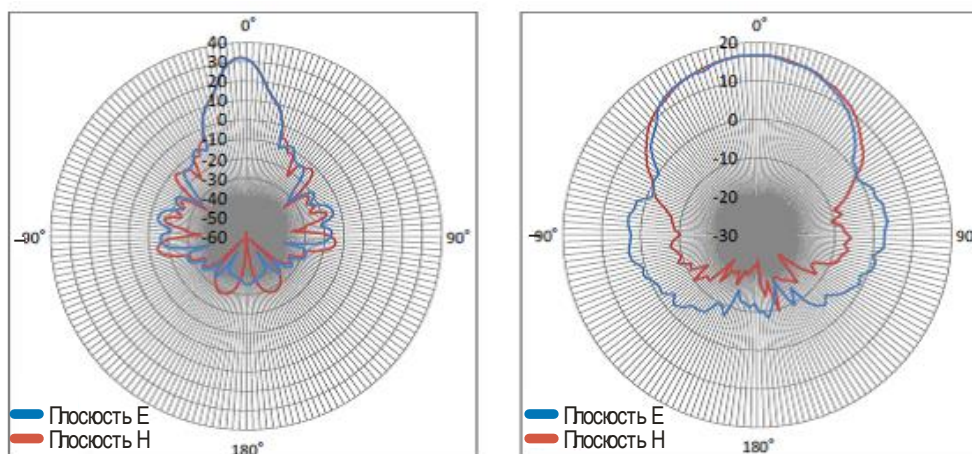
Результаты измерения диаграммы направленности антенны
на частоте 300 ГГц

В настоящем Приложении представлена диаграмма направленности излучения антенны, использованная в некоторых исследованиях, описанных в Приложении 4.

РИСУНОК А3-1

Измеренные характеристики антенн с усилением 30 дБи и 15 дБи

а) Рупорная антенна с усилением 30 дБи б) Антенна CPMS с усилением 15 дБи

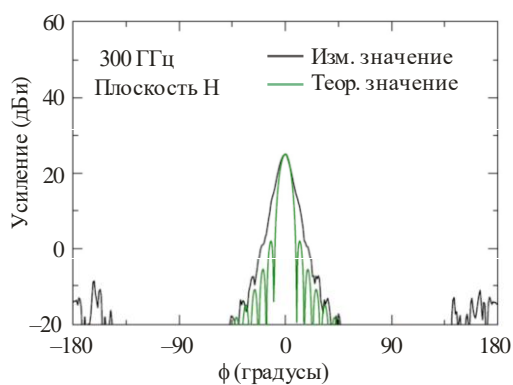


Report SM.2450- A 3-01

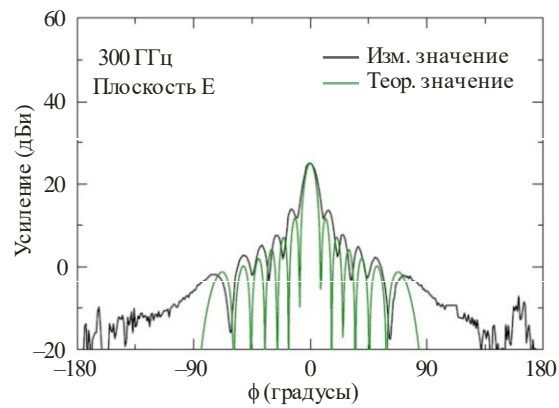
РИСУНОК А3-2

Результаты измерения диаграммы направленности рупорной антенны с усилением 25 дБи

а) Плоскость Н



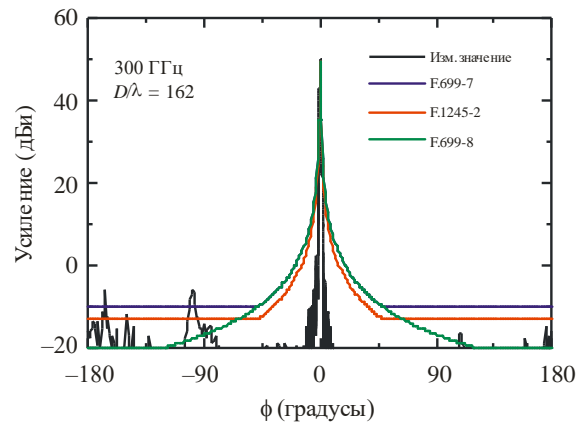
b) Плоскость E



Report SM.2450- A3-02

РИСУНОК А3-3

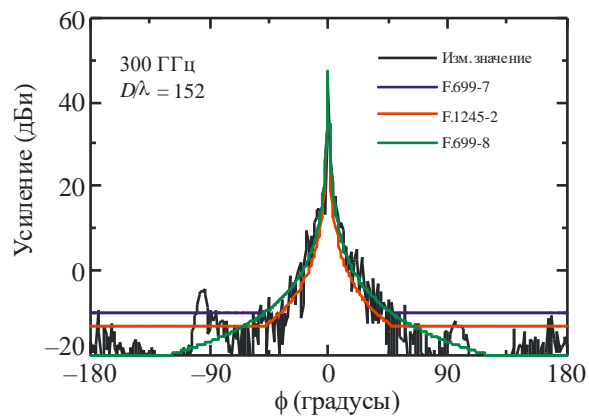
Измеренные характеристики параболической антенны со смещенным облучателем и максимальным усилением 49 дБи



Report SM.2450- A3-03

РИСУНОК А3-4

Измеренные характеристики антенны Кассегрена с максимальным усилением 47 дБи



Report SM.2450- A3-04

Приложение 4

Исследования совместного использования частот системами СПС и ФС и спутниковой службой исследования Земли

А4.1 Введение

В настоящем Приложении представлены результаты четырех исследований совместного использования частот (2-е, 3-е, 4-е и 5-е исследования) системами ССИЗ (пассивной) и системами ФС и СПС в полосах, определенных для ССИЗ (пассивной) в диапазоне частот 275–450 ГГц.

Исследуемые полосы частот указаны в п. 5.565 РР, а именно: 275–286 ГГц, 296–306 ГГц, 313–356 ГГц, 361–365 ГГц, 369–392 ГГц, 397–399 ГГц, 409–411 ГГц, 416–434 ГГц и 439–467 ГГц.

Следует отметить, что использование полос 275–286 ГГц и 409–411 ГГц ограничено устройствами лимбового зондирования ССИЗ (пассивной), поэтому в принципе их предполагается использовать для систем сухопутной подвижной и фиксированной служб.

Можно также отметить, что 1-е исследование представляет собой начальный статический анализ совместного использования частот ФС и ССИЗ (пассивной) и было проведено до того, как были окончательно определены характеристики ФС. Однако было сочтено, что результаты этого исследования представляют ценность и должны быть сохранены в качестве справочного материала.

А4.2 1-е исследование. Статический анализ помех между ФС/СПС и ССИЗ (пассивной)

В этом исследовании рассматривается статический анализ помех между станцией ФС/СПС, нацеленной прямо на спутник ССИЗ (пассивной), и рассчитывается максимальный уровень единичных помех, принимаемых датчиком ССИЗ (пассивной).

А4.2.1 Максимально допустимые уровни единичных помех

При рассмотрении излучений от источника ФС/СПС в заданной точке на поверхности Земли комплексное затухание на датчике ССИЗ (пассивной) может быть рассчитано с учетом трех факторов:

- затухание в свободном пространстве Att_{FS} , регулируемое длиной наклонной трассы между спутником и точкой на поверхности Земли;
- затухание в газах Att_{GAS} (см. Рекомендацию МСЭ-R P.676), регулируемое углом места, под которым спутник виден с точки на поверхности Земли;
- относительное усиление антенны датчика G_{discr} , регулируемое углом, под которым точка на поверхности Земли видна со спутника, по сравнению с углом нацеливания датчика.

Отмечено, что ослабление сигнала, излучаемого с поверхности Земли в направлении датчика ССИЗ (пассивного), может с течением времени превышать сумму перечисленных выше элементов комплексного затухания с учетом атмосферной рефракции. Однако следует отметить, что траектория передачи от источника излучения на поверхности Земли к датчику ССИЗ (пассивной) с такой же вероятностью будет преломляться в направлении датчика ССИЗ (пассивной), как и в направлении от датчика ССИЗ (пассивной). Как следствие, влияние атмосферной рефракции на результаты статического анализа окажется нейтральным, и ею можно будет также пренебречь при проведении динамического анализа, который может потребоваться.

В таком случае помехи, принимаемые приемником спутникового датчика от одиночного наземного передатчика (с излучаемой мощностью P в направлении спутника) в заданной точке на поверхности Земли, составляют:

$$I = P - Att_{FS} - Att_{GAS} + G_{discr} = P - Att_{composite},$$

где:

$$Att_{composite} = Att_{FS} + Att_{GAS} - G_{discr} = \text{Комплексное затухание.}$$

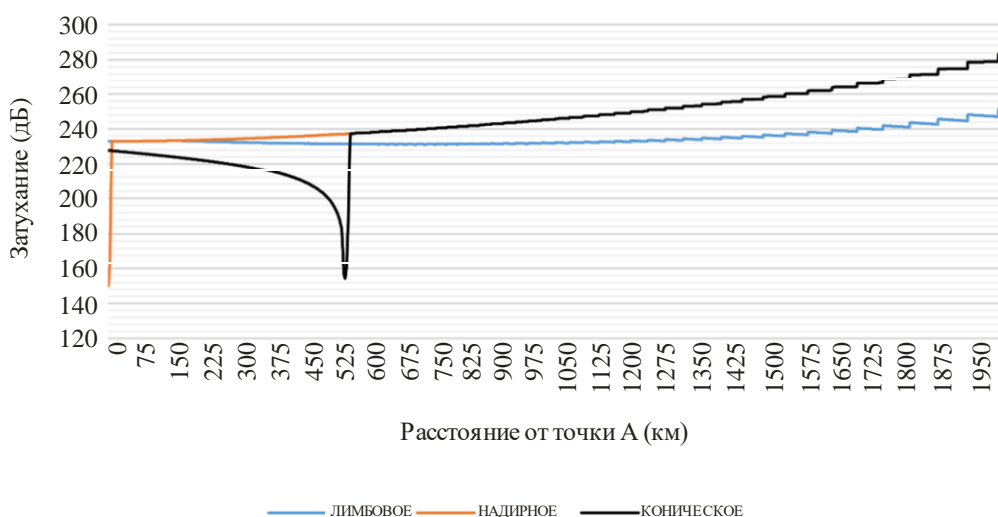
На рисунке А4-1, где в качестве примера взята полоса 296–306 ГГц, представлены результаты расчетов комплексного затухания между точкой на поверхности Земли и пассивными датчиками ССИЗ трех типов.

Анализ проводится от точки А (надир спутника) до точки В, расположенной в 2000 км от точки А. Это наибольшее расстояние, на котором может находиться источник помех от точки надира спутника на высоте 817 км с учетом зоны измерений, указанной в Рекомендации МСЭ-R RS.2017:

- высота спутника 817 км;
- усиление антенны спутникового датчика 60 дБи;
- диаграмма направленности антенны спутникового датчика (Рекомендация МСЭ-R RS.1813);
- затухание в газах на частоте 301 ГГц (Рекомендация МСЭ-R Р.676, Приложение 2 (упрощенная модель));
- высота нацеливания для датчика лимбового сканирования 25 км;
- угол надира для датчика конического сканирования 32,2°.

РИСУНОК А4-1

Комплексное затухание излучений служб ФС/СПС, создающих помехи ССИЗ (пассивной) для режимов надирного, лимбового и конического сканирования



Report SM.2450- A4 -01

Учитывая вышеизложенные допущения и основываясь на данном рисунке, можно отметить, что:

- комплексное затухание при рассмотрении датчиков лимбового сканирования всегда составляет от 230 до 250 дБ;
- комплексное затухание при рассмотрении датчиков надирного и конического сканирования достигает минимальных значений 150 и 154 дБ соответственно при угле падения луча антенны датчика на поверхность Земли.

Комплексное затухание возрастает в зависимости от частоты и с увеличением расстояния от надира (то есть с уменьшением углов места относительно местоположения устройства и датчика ССИЗ). Однако поскольку датчики ССИЗ (пассивной) устанавливаются на спутниках НГСО, угол места устройства относительно датчика будет изменяться по мере движения спутника по орбите, и в общих помехах будут доминировать помехи устройств, расположенных вблизи точки, в которой луч ССИЗ пересекает Землю под углом падения.

На практике суммарные помехи, принятые датчиком ССИЗ (пассивной), будут представлять собой сумму всех помех, рассчитанных для всех источников в пределах видимости спутника, включая источники помех, принимаемых датчиком через боковые лепестки его антенны. С учетом высокого

уровня комплексного затухания, рассчитанного для датчиков лимбового сканирования, для расчета основного луча, как показывает опыт, достаточно описать помехи, которые могут создаваться датчикам надирного и конического сканирования, поскольку помехами, полученными через боковые лепестки, можно пренебречь из-за имеющегося уровня избирательности антенны.

На этой основе с учетом типовой конструкции датчиков ССИЗ (пассивной), представленных в таблице А1-1, в следующей таблице дается расчет допустимых уровней одиночных излучений ФС или СПС в направлении датчика ССИЗ (пассивной) в контрольной зоне, которая потребуется для обеспечения защиты датчиков ССИЗ (пассивной) в полосе частот 296–306 ГГц.

Следует признать, что любой вывод о совместном использовании частот ССИЗ (пассивной), ФС и СПС в полосе 275–450 ГГц должен быть сделан с учетом суммарных помех, создаваемых службами ФС и СПС в зоне обслуживания (контрольной зоне) ССИЗ (пассивной), наряду с учетом критериев доступности данных, приведенных в Рекомендации МСЭ-R RS.2017, в назначенной зоне измерений. В таблице А4-1 не учтены ни суммарные помехи, создаваемые службами ФС и СПС, ни критерии доступности данных.

ТАБЛИЦА А4-1

**Максимально допустимые уровни одиночных излучений ФС/СПС
в направлении ССИЗ (пассивной)⁶**

Параметр	Единица измерения	Idx	Режим надирного сканирования	Режим конического сканирования	Режим лимбового сканирования
Орбита спутника	км		817	817	817
Угол падения луча антенны на поверхность Земли	градусы		0	53	Н/д
Длина наклонной трассы (центр зоны обслуживания)	км		817	991	
Потери в свободном пространстве Att_{FS}	дБ	a	200,3	201,9	
Атмосферные потери (Р.676) Att_{GAS}	дБ	b	9,8	12,2	
Усиление антенны датчика	дБи	c	60	60	
Комплексное затухание $Att_{composite}$	дБ	$d = a + b - c$	150,1	154,1	От 230 до 250
Критерии защиты от суммарных помех (RS.2017)	дБВт	e	-160	-160	-194
Эталонная ширина полосы	МГц		200	200	3
Распределение критериев защиты (50% ФС и 50% СПС)	дБ	f	3	3	3

⁶ Максимально допустимые уровни одиночных излучений ФС/СПС, которые могут быть направлены в сторону ССИЗ (пассивной), основаны на сценариях помех наихудшего случая, который может быть реализован между ФС/СПС и датчиком ССИЗ (пассивной).

ТАБЛИЦА А4-1 (окончание)

Параметр	Единица измерения	Idx	Режим надирного сканирования	Режим конического сканирования	Режим лимбового сканирования
Максимальный уровень одиночного излучения в направлении ССИЗ (пассивной) в контрольной зоне	дБВт/200 МГц	$e - f + d$	-12,9	-8,9	От 33 до 53 дБВт/3 МГц
Контрольная зона (размер зоны обслуживания для надирного и конического сканирования, зона видимости для лимбового)	кв. км		10(N)/20(C)	10(N)/20(C)	29,5 М

А4.2.2 Максимальные уровни одиночного излучения систем ФС

Параметры ФС в диапазоне 275–450 МГц приведены в Отчете МСЭ-R F.2416 и представлены в таблице 7 настоящего Отчета.

С учетом э.и.и.м. передатчика ФС, равной 0 дБВт, в таблице А4-2 приведены расчеты плотности э.и.и.м. (дБВт/200 МГц) ФС для двух крайних значений усиления антенны ФС и всех предложенных значений ширины полосы из таблицы 7 и таблицы А4-2.

ТАБЛИЦА А4-2

Плотность э.и.и.м. ФС (дБВт/200 МГц)

Ширина полос ФС (ГГц)	Коэффициент расширения полосы на 200 МГц	Плотность э.и.и.м. (дБВт/200 МГц) для антенны 24 дБи	Плотность э.и.и.м. (дБВт/200 МГц) для антенны 50 дБи
2,16	-10,3	13,7	39,7
4,32	-13,3	10,7	36,7
8,64	-16,4	7,6	33,6
12,96	-18,1	5,9	31,9
17,28	-19,4	4,6	30,6
25,92	-21,1	2,9	28,9
51,84	-24,1	-0,1	25,9
69,12	-25,4	-1,4	24,6

Результаты, приведенные в таблице А4-2, в совокупности с результатами из таблицы А4-1, показывают, что плотность э.и.и.м. ФС в полосе шириной 200 МГц превышает допустимые уровни одиночных излучений ФС на следующие величины:

- приборы конического сканирования (предельное значение -8,9 дБВт/200 МГц):
 - от 7,5 до 22,6 дБ (для антенны 24 дБи);
 - от 33,5 до 48,6 дБ (для антенны 50 дБи);

- приборы надирного сканирования (предельное значение –12,9 дБВт/200 МГц):
 - от 11,5 до 26,6 дБ (для антенны 24 дБи);
 - от 37,5 до 52,6 дБ (для антенны 50 дБи).

A4.2.3 Резюме результатов 1-го исследования

Результаты данного исследования показывают, что излучение одиночного передатчика ФС/СПС, направленного непосредственно на спутник ССИЗ (пассивной) с датчиком надирного или конического сканирования, превышает пороговый уровень помех. Это говорит о том, что при учете только характеристик единичных помех ФС/СПС и комплексного затухания при совместном использовании частот ФС/СПС и приборами надирного и конического сканирования ССИЗ (пассивной) в полосе 296–306 ГГц (а также во всех других полосах диапазона 275–450 ГГц, используемых приборами надирного и конического сканирования) совместное использование частот может оказаться проблематичным. В этом первоначальном исследовании не рассматривались суммарные помехи, возникающие вследствие плотного развертывания систем СПС и ФС. Потери на трассе в значительной мере зависят от частоты и угла места и обычно возрастают с увеличением частоты и уменьшением угла места. Таким образом при дальнейшем анализе должны учитываться рабочие углы места таких систем ФС.

Кроме того, при дальнейших исследованиях датчиков лимбового сканирования необходимо провести анализ сценария суммарных помех. В конечном счете необходимо также описание сценариев развертывания систем ФС, в том числе плотности размещения оборудования на квадратный километр в различных условиях (сельские, пригородные и городские районы).

Для совместного использования частот ФС и ССИЗ (пассивной) в диапазоне 275–450 ГГц потребуются дополнительные исследования с учетом сценариев как единичных, так и суммарных помех для различных типов датчиков ССИЗ (пассивной) и диапазонов частот.

Однако для того, чтобы сделать окончательные выводы, необходимы пояснения по следующим пунктам:

- описание распределения углов места станций ФС, ожидаемого в полосе выше 275 ГГц;
- описание диаграммы (диаграмм) направленности антенн ФС;
- описание сценариев развертывания ФС (плотности размещения оборудования на квадратный километр) в различных условиях (сельские, пригородные и городские районы).

Аналогичные элементы также потребуются для рассмотрения возможности совместного использования частот СПС и ССИЗ (пассивной).

Наконец, в ряде случаев, в частности при работе с системами с очень широкой полосой, должна учитываться совместимость ССИЗ (пассивной) в полосах, смежных с полосами планируемой работы ФС и СПС. Для этого также необходима информация о соответствующих масках излучений ФС и СПС.

A4.3 2-е исследование. Оценка помех, создаваемых ФС ССИЗ (пассивной)

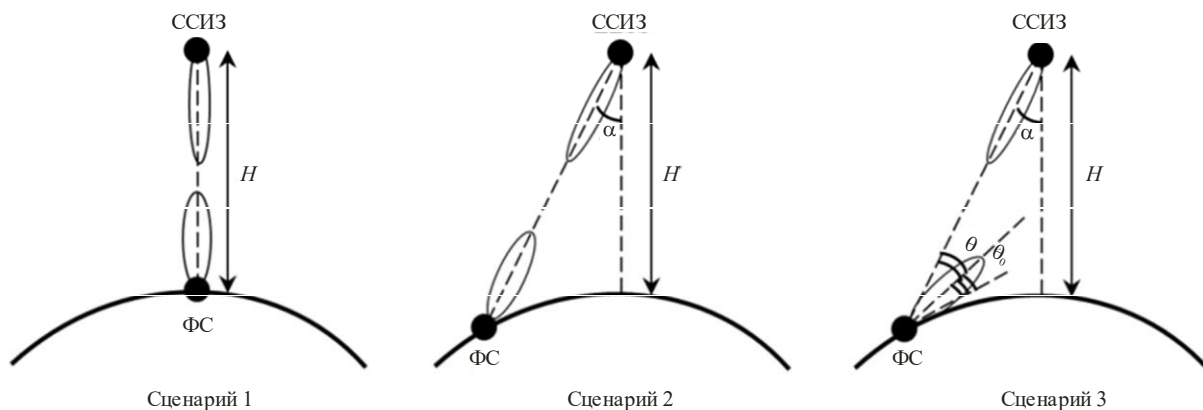
A4.3.1 Оценка единичных помех, создаваемых ФС ССИЗ (пассивной)

В данном исследовании представлен статический анализ между станцией ФС и спутником ССИЗ (пассивной) для трех различных сценариев нацеливания в диапазоне частот 275–450 ГГц.

На рисунке А4-2 показаны три сценария, рассмотренные в ходе данного анализа. Сценарий 1: максимум усиления антенны ФС совпадает с максимумом спутниковой антенны ССИЗ, работающей в режиме надирного сканирования. Сценарий 2: максимум усиления антенны ФС совпадает с максимумом спутниковой антенны ССИЗ, работающей в режиме конического сканирования. Сценарий 3: станция ФС, использующая типовые значения угла места в соответствии с таблицей 7 основного текста Отчета. В этом случае предполагается некоторая избирательность антенны.

РИСУНОК А4-2

Сценарии помех между одиночным передатчиком ФС и ССИЗ



Report SM.2450- A4 -02

ТАБЛИЦА А4-3

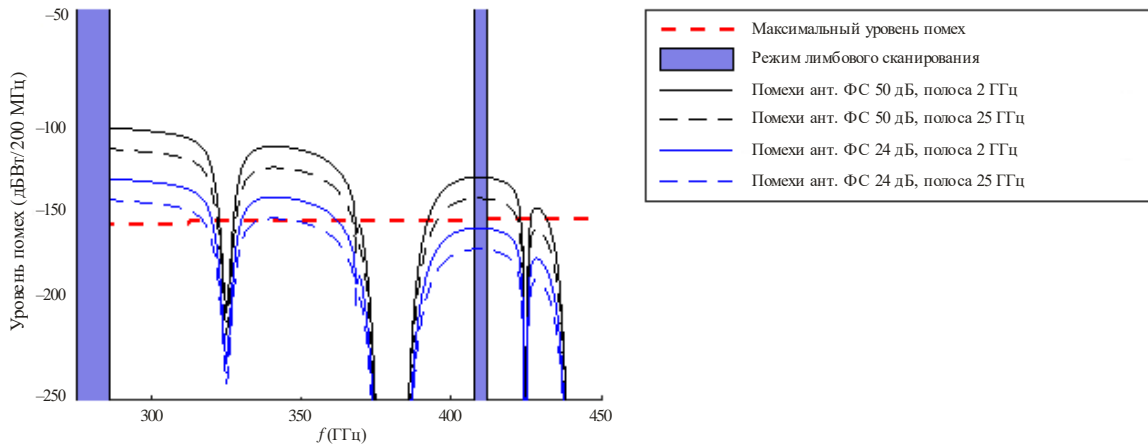
Таблица параметров ФС, используемых в исследовании единичных помех

	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
э.и.и.м. станции ФС (дБм)	20	20	20
Усиление ФС в направлении спутника ССИЗ	24/50	24/50	10,8/-2,4
Ширина полосы ФС (ГГц)	2/25	2/25	2/25
Высота ССИЗ (км)	400	400	400
Угол нацеливания ССИЗ α (градусы)	0	45	45

На рисунках А4-3 – А4-5 представлены уровни единичных помех в диапазоне частот 275–450 ГГц. На этих рисунках частоты, выделенные синим цветом, используются только устройствами лимбового зондирования ССИЗ (пассивной). Максимально допустимый уровень помех обозначен пунктирной красной линией.

РИСУНОК А4-3

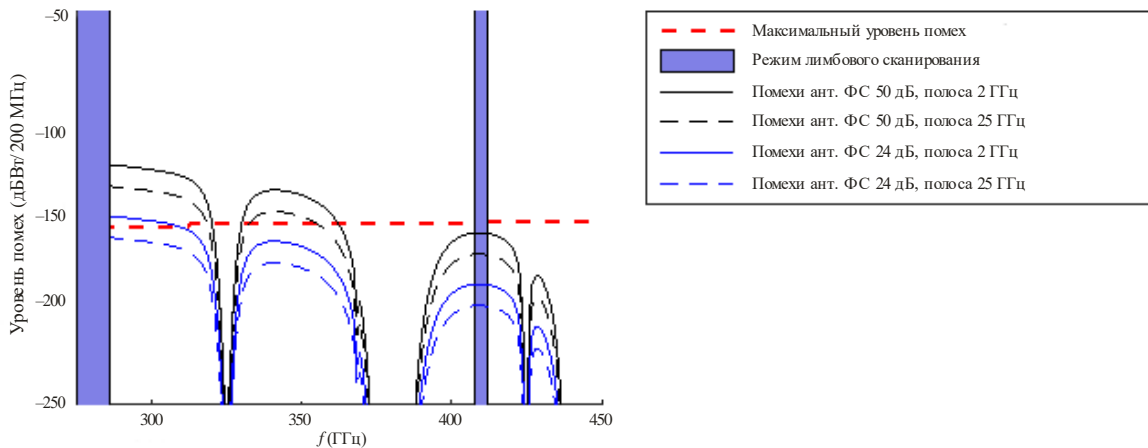
Помехи между станцией ФС и спутником ССИЗ, работающим в режиме надирного сканирования (сценарий 1)



Report SM.2450- A4 -03

РИСУНОК А4-4

Помехи между станцией ФС и спутником ССИЗ, работающим в режиме конического сканирования (сценарий 2)



Report SM.2450- A4 -04

На рисунке А4-5 представлен анализ помех между станцией ФС и датчиком конического сканирования ССИЗ для сценария 3, аналогичный анализу на рисунке А4-4, но соответствующий станции ФС с углом места 20° ($\theta_0 = 20^\circ$), то есть при угле избирательности антенны, равном 21° (согласно уравнению (1)):

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{(a+H) \sin \alpha}{a}\right) - \theta_0, \quad (1)$$

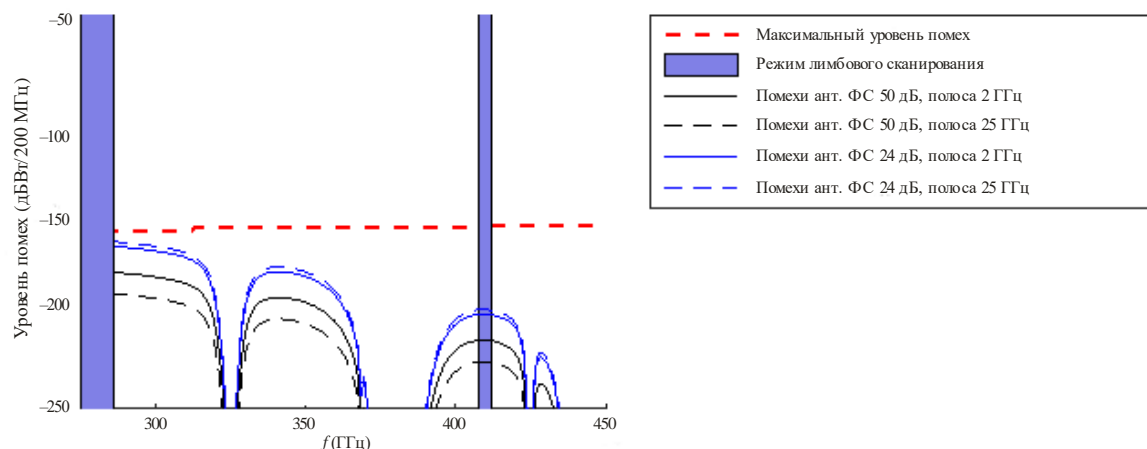
где:

- a : радиус Земли;
- H : высота спутника ССИЗ;
- α : угол от направления на надир;
- θ_0 : угол места ФС.

Таким образом усиление антенны в направлении спутника составляет $-2,4$ дБи для антенны 50 дБи и $10,8$ дБи для антенны 24 дБи в соответствии с эталонной диаграммой направленности из действующей в настоящее время версии Рекомендации МСЭ-R F.699.

РИСУНОК А4-5

Помехи между станцией ФС и спутником ССИЗ, работающим в режиме конического сканирования (сценарий 3) с избирательностью антенны



Report SM.2450- A4 -05

Результаты анализа единичных помех для трех рассмотренных сценариев позволяют сделать предварительный вывод о возможности совместного использования частот ФС и ССИЗ (пассивной) в ряде полос частот с учетом условий распространения.

А4.3.2 Оценка суммарных помех, создаваемых ФС ССИЗ (пассивной)

Для расчета совокупных (суммарных) помех были выбраны частоты 399 ГГц, 416 ГГц и 429 ГГц.

Использовались следующие параметры спутника ССИЗ: ширина главного лепестка $0,64^\circ$, усиление антенны спутника ССИЗ 60 дБи, высота полета спутника 400 км.

Использовались следующие параметры системы ФС: усиление антенны 24 и 50 дБи (эталонные диаграммы направленности в соответствии с действующей в настоящее время версией Рекомендации МСЭ-R F.1245), ширина полосы 2 ГГц, мощность передатчика 20 дБм. Значение плотности ФС взято из п. 5.2.1 (так же, как и ожидаемая плотность ИМТ-2020). Распределение значений угла места принято равным $\pm 20^\circ$ (согласно таблице 7) и $\pm 12^\circ$. Процентная доля одновременно работающих станций составляет 100%; все станции работают на одной частоте.

На рисунке А4-6 представлены результаты расчетов для трех частот и двух распределений значений угла места ($\pm 20^\circ$ и $\pm 12^\circ$) для антенны ФС 24 дБи, а на рисунке А4-7 – для антенны ФС 50 дБи.

Как указано в действующей в настоящее время версии Рекомендации МСЭ-R F.1245, для антенны 50 дБи усиление в направлении, ортогональном к максимальному, составляет -13 дБи, а для антенны 24 дБи оно равно $-7,07$ дБи.

РИСУНОК А4-6

Суммарные помехи, создаваемые ФС спутнику ССИЗ, работающему в режиме надирного сканирования, при усилении антенны ФС 24 дБи

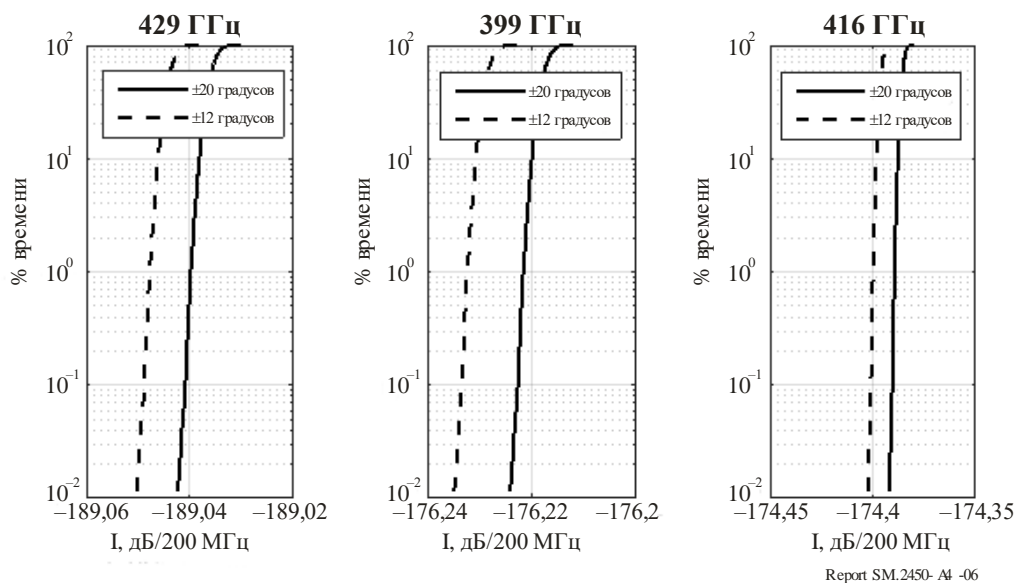
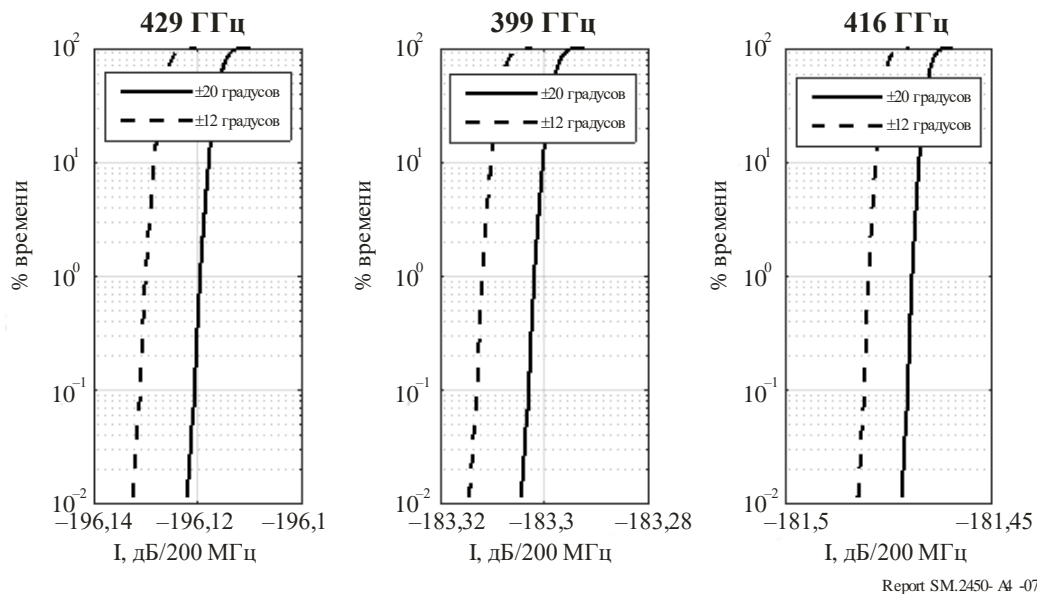


РИСУНОК А4-7

Суммарные помехи, создаваемые ФС спутнику ССИЗ, работающему в режиме надирного сканирования, при усилении антенны ФС 50 дБи



В соответствии с таблицей 12, приведенной в основной части настоящего Отчета, максимальные уровни помех для этих частот имеют следующие значения:

429 ГГц: -157 дБВт/200 МГц;

399 ГГц: -158 дБВт/200 МГц;

416 ГГц: -157 дБВт/200 МГц.

Таким образом, для обеих антенн ФС уровень помех не превышает на выбранных частотах в течение всех процентов времени.

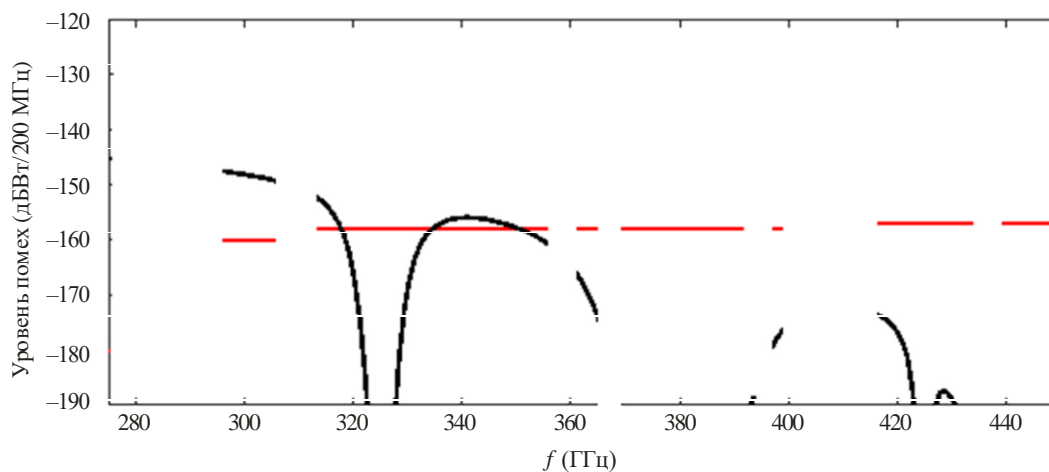
Оценка полос частот, в которых возможно совместное использование частот, может быть осуществлена на основе рисунков А4-8 и А4-9, где указаны приблизительные значения уровней суммарных помех с учетом полос, определенных для ССИЗ (пассивной). Эти значения были рассчитаны следующим образом:

$$I_{aggr} = I_{single}(\theta_0 = 0) + 10 \lg N, \quad (2)$$

где N – количество станций ФС.

РИСУНОК А4-8

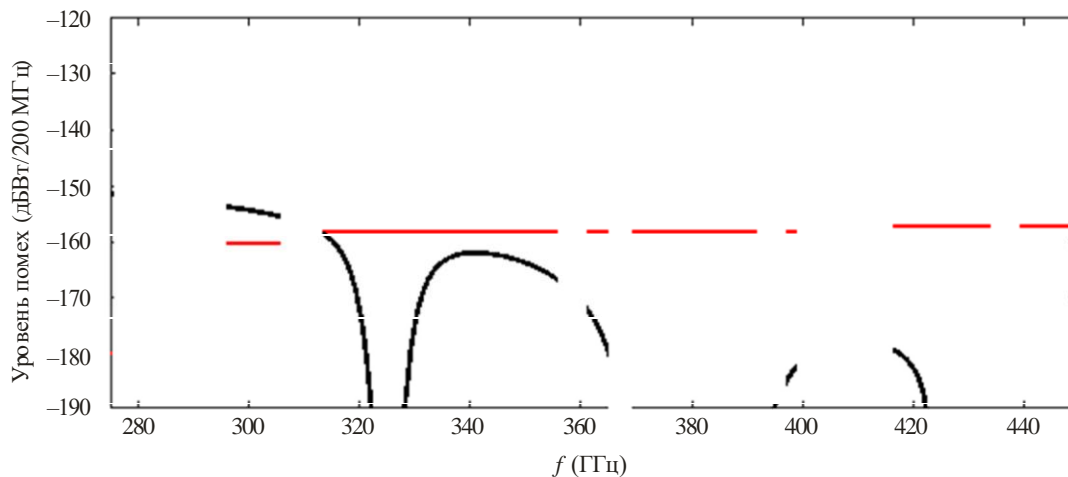
Приблизительные суммарные помехи, создаваемые ФС спутнику ССИЗ (пассивной), работающему в режиме надирного сканирования, при усилении антенны ФС 24 дБи



Report SM.2450- A4 -08

РИСУНОК А4-9

Приблизительные суммарные помехи, создаваемые ФС спутнику ССИЗ (пассивной), работающему в режиме надирного сканирования, при усилении антенны ФС 50 дБи



Report SM.2450- A4 -09

Исходя из рисунков А4-8 и А4-9, совместное использование частот возможно в полосах 275–286 ГГц, 318–334 ГГц, 350–356 ГГц, 361–365 ГГц, 369–392 ГГц, 397–399 ГГц, 409–411 ГГц, 416–434 ГГц и 439–450 ГГц.

A4.3.3 Резюме

Согласно результатам 2-го исследования, в полосах частот 275–286 ГГц, 318–334 ГГц, 350–356 ГГц, 361–365 ГГц, 369–392 ГГц, 397–399 ГГц, 409–411 ГГц, 416–434 ГГц и 439–450 ГГц установлена возможность совместного использования частот между ССИЗ (пассивной) и ФС.

Полосы частот 286–296 ГГц, 356–361 ГГц, 365–369 ГГц, 392–397 ГГц, 399–409 ГГц, 411–416 ГГц и 434–439 ГГц не определены для использования ССИЗ (пассивной) и, следовательно, могут использоваться всеми системами сухопутной подвижной и фиксированной служб без особых условий.

A4.4 3-е исследование. Анализ совместимости между системами ССИЗ (пассивной) и ФС/СПС в диапазоне частот 275–450 ГГц

В настоящем разделе анализируется потенциальная возможность создания помех системами ФС и СПС, работающими в диапазоне частот 275–450 ГГц, системам ССИЗ (пассивной), также работающим в данном частотном диапазоне.

A4.4.1 Методика анализа

При проведении анализа применялся следующий подход.

- 1 Выбор характеристик систем ФС и СПС для наихудшего случая.
- 2 Задание распределения помех среди описанных систем ФС и СПС.
- 3 Проведение отдельного анализа зоны обзора для каждого типа пассивного датчика, который должен быть учтен в каждой из полос частот ССИЗ (пассивной), определенных в п. 5.565 РР. Анализ заключается в определении плотности развертывания устройств систем ФС и СПС, которая необходима для превышения порогового уровня защиты от помех, указанного в Рекомендации МСЭ-R RS.2017.
- 4 Изучение полученных значений плотности развертывания на предмет возможности их реализации.
- 5 Корректировка исследований по мере необходимости на основе результатов.

Устройства лимбового зондирования

Устройства лимбового зондирования не нацелены на Землю, а скорее нацелены тангенциально через атмосферу. Таким образом наихудшим случаем с точки зрения геометрии в отношении помех устройствам лимбового зондирования является расположение источников помех в надире датчика. В процессе анализа в надире датчика были развернуты источники излучения ФС и СПС, плотность которых итерационно и равномерно увеличивалась в целях изучения влияния плотности устройств.

Датчики конического и надирного сканирования

Методика, используемая для датчиков конического и надирного сканирования, аналогична методике, применяемой для анализа в отношении устройств лимбового зондирования. Датчик конического сканирования обладает фиксированным углом отклонения от надира и, следовательно, фиксированной длиной наклонной трассы от мгновенной зоны обзора к датчику. В этой мгновенной зоне обзора были развернуты источники помех ФС/СПС для датчиков конического сканирования. Датчик надирного сканирования обладает переменным углом к надиру, но наихудшим с точки зрения геометрии сценарием является тот, когда луч находится в надире датчика, поэтому источники помех были развернуты в мгновенной зоне обзора надира датчика. В помехах, принимаемых датчиком конического или растрового сканирования, может преобладать один источник излучения ФС, когда между датчиком и источником излучения ФС происходит совмещение главного луча с главным лучом. Сценарий возникновения помех этого типа описан в п. A4-2 в отношении датчиков конического сканирования, однако этот сценарий возникновения помех применим также к датчикам растрового сканирования. Таким образом в процессе анализа изучается, при каком уровне плотности развертывания источников излучения ФС превышает доступность данных, установленная в Рекомендации МСЭ-R RS.2017.

Предполагается, что нацеливание по углу места антенны ФС изменяется равномерно в пределах определенного диапазона углов места антенны. Угол падения луча для датчика конического сканирования в определенной полосе приведен в таблице А4-3. Угол падения луча датчика растрового сканирования может варьироваться от примерно 18° до 60°. Поскольку предполагается, что угол места антенны для системы ФС в худшем случае будет изменяться равномерно от 0° до 67°, вероятность совмещения главного луча с главным лучом между антенной ФС и антенной датчика растрового сканирования одинакова для любого угла падения антенны растрового сканирования; таким образом для целей анализа в настоящем пункте для датчика растрового сканирования выбран угол падения 60°. Однако администрация может использовать регуляторную политику для ограничения углов места источников излучения ФС в полосах, где большие углы места не совместимы с использованием ССИЗ (пассивной).

Моделирование развертывания устройств в пределах зоны обслуживания одного датчика методом Монте-Карло выполняется с увеличением плотности развертывания до тех пор, пока результирующее значение не укажет на превышение критериев доступности данных, указанных в Рекомендации МСЭ-R RS.2017. Плотность развертывания, при которой происходит превышение критериев доступности данных, затем анализируется относительно того, является ли она достижимой плотностью источников излучения. Если плотность развертывания считается достижимой, то можно рассматривать дальнейшую оптимизацию развертывания систем ФС.

При изучении влияния помех, создаваемых системами СПС датчикам конического и растрового сканирования, плотность развертывания источников излучения СПС в пределах зоны обслуживания одного датчика увеличивается вплоть до точки, в которой превышаются критерии порогового уровня помех, установленные Рекомендацией МСЭ-R RS.2017. Плотность развертывания, при которой происходит превышение критериев порогового уровня помех, затем анализируется с точки зрения достижимой плотности источников излучения. Если плотность размещения считается достижимой, то может быть рассмотрена дальнейшая оптимизация развертывания систем СПС. Моделирование развертывания систем СПС методом Монте-Карло не считается необходимой процедурой в связи с большой шириной главного лепестка антенны СПС.

А4.4.2 Характеристики систем ССИЗ (пассивной)

Датчики ССИЗ (пассивной), которые должны использоваться в исследованиях совместного использования частот в полосах, определенных для использования ССИЗ (пассивной) в п. 5.565 РР, перечислены в таблице 12 основного текста настоящего Отчета. Характеристики указанных в таблице 12 датчиков приведены в таблице 13 основного текста настоящего Отчета. Краткая информация по характеристикам датчиков ССИЗ (пассивной), используемая в анализе, приведена в таблице А4-4, ниже.

Для получения параметров антенн датчиков ССИЗ (пассивной) в диапазоне частот 275–450 ГГц, когда эти параметры необходимы для проведения анализа, используется Рекомендация МСЭ-R RS.1813 "Эталонная диаграмма направленности антенны для пассивных датчиков, работающих в спутниковой службе исследования Земли (пассивной), для использования при анализе совместимости в полосе частот 1,4–100 ГГц".

ТАБЛИЦА А4-4
Характеристики ССИЗ (пассивной) для полос частот, определенных в п. 5.565 РР

Параметры	Полоса частот (ГГц)																			
	275–286			296–306			313–356			361–365		369–392		397–399		409–411	416–434		439–467	
	Лимб. скан. ²	Лимб. скан. ³	Конич. скан. ⁴	Лимб. скан. ⁵	Надир. скан. ⁶	Конич. скан. ⁷	Лимб. скан. ⁸	Конич. скан. ^{9, 10}	Лимб. скан. ¹¹	Растр. скан. ^{12, 13}	Лимб. скан. ¹⁴	Конич. скан. ^{15, 16}	Лимб. скан. ¹⁷	Лимб. скан. ¹⁸	Растр. скан. ^{19, 20}	Лимб. скан. ²¹	Надир. скан. ⁶	Конич. скан. ²²		
Высота полета (км)	817	817	817	817	817	817	817	817	817	35 684	817	817	817	817	35 684	817	–	817		
Угол отклонения от надира	–	–	45°	–	0°	45°	–	45°	–	–	–	45°	–	–	–	–	0°	45°		
Угол падения луча	–	–	–	–	–	–	–	–	–	~18°–60°	–	–	–	–	~18°–60°	–	–	–		
Минимальная высота наведения (км)	6	3	–	3	–	–	6	–	6	–	6	–	6	6	–	6	–	–		
Центральная частота (ГГц)	280,5	299,75	301	320,0	–	325,15	363,0	363,0	370,5	380,197	398,0	398,0	410,0	425,0	424,76	453,0	–	448,0		
Ширина полосы	11,0	11,5	5	9,0	3	3	4,0	4,0	3,0	4,0	2,0	3,0	2,0	12,0	1,0	12,0	3	3		
Пиковое усиление антенны	70	80 ²³	55	80 ²³	55	55	70	55	70	(диаметр 3 м)	70	55	70	70	(диаметр 3 м)	70	55	55		
Зона обзора (км)	$h = 5$ $v = 2,5$	2,3 × 4,6	~200 кв. км	2,3 × 4,6	~30 кв. км	~200 кв. км	$h = 5$ $v = 2,5$	~200 кв. км	$h = 5$ $v = 2,5$	12 кв. км	$h = 5$ $v = 2,5$	~200 кв. км	$h = 5$ $v = 2,5$	$h = 5$ $v = 2,5$	10 кв. км	$h = 5$ $v = 2,5$	~30 кв. км	~200 кв. км		

² Получено из характеристик STEAMR.

³ MASTER.

⁴ Получено из характеристик ICI.

⁵ MASTER.

⁶ Получено из результатов 5-го исследования, приведенного в настоящем Отчете.

⁷ ICI.

⁸ Получено из характеристик STEAMR.

⁹ В таблице 12 отмечено как надирный режим, при этом ссылка дана на датчик конического сканирования.

¹⁰ Получено из ICI.

¹¹ Получено из характеристик STEAMR.

¹² В таблице 12 отмечено как надирный режим, при этом ссылка дана на датчик растрового сканирования GEO.

¹³ Получено из характеристик GOMAS.

¹⁴ Получено из характеристик STEAMR.

¹⁵ В таблице 12 отмечено как надирный режим, при этом ссылка дана на датчик конического сканирования.

¹⁶ Получено из ICI.

¹⁷ Получено из характеристик STEAMR.

¹⁸ Получено из характеристик STEAMR.

¹⁹ В таблице 12 отмечено как надирный режим, при этом ссылка дана на датчик растрового сканирования GEO.

²⁰ Получено из характеристик GOMAS.

²¹ Получено из характеристик STEAMR.

²² ICI.

²⁴ Экстраполированное значение на основе усиления антенны и зоны обзора STEAMR.

А4.4.2.1 Критерии защиты от помех для ССИЗ (пассивной)

В таблице А4-5 приведены уровни помех и пороговые значения доступности данных, которые следует использовать при оценке совместимости предполагаемых систем ФС и СПС с ССИЗ (пассивной) в диапазоне частот 275–450 ГГц. Для датчиков растрового сканирования ССИЗ (пассивной) используются пороговые значения датчиков надирного и конического сканирования, и результаты обработки данных сопоставимы с результатами для этих датчиков.

ТАБЛИЦА А4-5

Выдержка из Рекомендации МСЭ-R RS.2017, содержащая критерии помех для спутникового пассивного дистанционного зондирования в диапазоне частот 275–450 ГГц

Полоса (полосы) частот (ГГц)	Эталонная ширина полосы (МГц)	Максимальный уровень помех (дБВт)	Процентная доля зоны или времени, для которых может быть превышен допустимый уровень помех ⁽¹⁾ (%)	Режим сканирования (N, C, L) ⁽²⁾
275–285,4	3	–194	1	L
296–306	200/3 ⁽³⁾	–160/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
313,5–355,6	200/3 ⁽³⁾	–158/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, C, L
361,2–365	200/3 ⁽³⁾	–158/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
369,2–391,2	200/3 ⁽³⁾	–158/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
397,2–399,2	200/3 ⁽³⁾	–158/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
409–411	3	–194	1	L
416–433,46	200/3 ⁽³⁾	–157/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
439,1–466,3	200/3 ⁽³⁾	–157/–194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, C, L

(1) Уровень 0,01% означает зону измерений в виде квадрата на Земле площадью 2 000 000 кв. км, если не оговорено иное; уровень 0,1% означает зону измерений в виде квадрата на Земле площадью 10 000 000 кв. км, если не оговорено иное; уровень 1% означает время измерений, равное 24 ч, если не оговорено иное.

(2) N – надирный режим; L – лимбовый режим; C – конический режим.

(3) Первая цифра для надирного или конического режимов, вторая цифра для применений микроволнового зондирования по лимбу.

А4.4.2.2 Зона измерений

Необходимо оценить зону измерений, которая будет использоваться для оценки помех, создаваемых датчиком, работающим в полосе частот 275–450 ГГц, чтобы отразить размер мгновенной зоны обзора (IFOV) датчика ССИЗ. Эта оценка соответствует фразе "если не оговорено иное" в сноске 1 к таблице 1 Рекомендации МСЭ-R RS.2017.

А4.4.3 Характеристики систем ФС и СПС

В таблице А4-6 приведена краткая информация по характеристикам систем ФС и СПС, использованным при проведении анализа в настоящем разделе. При проведении каждого анализа, описываемого в настоящем разделе, предполагалось 100-процентное перекрытие по частоте с датчиком ССИЗ, используемым в конкретном анализе.

ТАБЛИЦА А4-6

Краткий обзор характеристик систем ФС и СПС (275–450 ГГц)

	Усовершенствованная система CPMS (фиксированное устройство)	Связь внутри устройства	ЦОД	Связь пункта с пунктом (периферийные/ транзитные линии связи)	
				275–325 ГГц	380–445 ГГц
Максимальная э.и.и.м. передатчика (дБм/ГГц)	40	36,7	40	67	57
Ширина луча антенны (градусы)	90	180	Менее 25	–	
Угол места антенны (градусы)	90	0	45	0–65	
Диапазон усиления антенны (дБи)	30	До 20	До 30	24–50	
Диаметр антенны	[Подлежит определению]	[Подлежит определению] ⁽¹⁾	[Подлежит определению]	[Подлежит определению]	
Диаграмма направленности антенны	Гауссова	Гауссова	Гауссова	Рек. МСЭ-R F.699-7 (единичные помехи) Рек. МСЭ-R F.1245-2 (помехи от нескольких источников)	
Потери на входе в здание (где применимо)	–	–	[Подлежит определению]	–	
Перекрытие полос частот с датчиком ССИЗ (%)	100	100	100	100 ⁽²⁾	

¹ Диаметр антенны приведен для типового значения усиления 6 дБи.

² Система связи пункта с пунктом (периферийная/транзитная линия связи) работает в диапазонах частот 275–325 ГГц и 380–445 ГГц. При указанных рабочих частотных диапазонах данная система ФС будет работать в части диапазонов 313–365 ГГц и 369–392 ГГц, определенных в п. 5.565 РР в качестве полос частот для ССИЗ (пассивной). Однако указанный диапазон частот для этого вида работы ФС исключает 100-процентное перекрытие частоты с датчиками ССИЗ (пассивной), которые были определены как типовые датчики, работающие в этих диапазонах частот. В целях проведения анализа в разделе 3 центральная частота датчиков ССИЗ (пассивной), работающих в диапазонах 313–365 ГГц и 369–392 ГГц, будет изменена для обеспечения 100-процентного перекрытия рабочей частоты с этой системой ФС в случае, когда перекрытие в 100% явно не указано. Это сделано для того, чтобы потенциально возможная работа датчиков ССИЗ (пассивной) на другой центральной частоте в этих двух частотных диапазонах могла быть учтена в результатах исследований.

А4.4.3.1 Усовершенствованная система подвижной связи на малых расстояниях (фиксированное устройство)

Система подвижной связи на малых расстояниях (CPMS), описанная в п. 5.1.1, включает в себя две подсистемы – систему CPMS и усовершенствованную систему CPMS. Для целей анализа в п. 3 рассматривается только фиксированное устройство усовершенствованной системы CPMS, поскольку:

- 1) оно предназначено для работы во всем диапазоне частот 275–450 ГГц;
- 2) оно работает с той же мощностью, что и устройство CPMS;
- 3) предполагается, что фиксированное устройство работает одновременно с мобильным устройством и его э.и.и.м. на 15 дБ превышает э.и.и.м. мобильного устройства, поэтому влияние помех от мобильного устройства считается незначительным по сравнению с суммарными помехами, создаваемыми этой системой.

A4.4.3.2 Связь внутри устройств

Применение связи внутри устройств более подробно описывается в п. 5.2.1. Хотя система считается, как правило, экранированной, нет указаний на то, что ее реализация будет экранирована, или на то, при каких обстоятельствах она может или не может быть экранирована. Кроме того, в настоящее время нет информации о степени затухания, которую можно ожидать от подобного экранирования. Необходимо также учитывать, что из описания системы, приведенного в п. 5.1.2, следует, что 50% этих устройств предполагается развертывать вне помещений. По указанным причинам было сочтено необходимым оценить потенциальные помехи, возникающие в результате развертывания этих устройств вне помещений, исходя из предположения, что при изготовлении устройств с внутренними линиями связи экранирование не предусмотрено. Ширина главного лепестка антенны для линий связи внутри устройств была задана равной 180° . В описании линий связи внутри устройств, приведенном в п. 5.1.2, отсутствует информация о нацеливании антенны; поэтому для целей анализа, описанного в п. A4.3, угол места антенны систем связи внутри устройств принимается равным 0° .

A4.4.3.3 Беспроводные линии связи в центрах обработки данных

Применение беспроводных линий связи в центрах обработки данных описывается в п. 5.1.3. Следует отметить, что эти системы применяются исключительно внутри помещений, поэтому при проведении анализа помех, которые могут возникнуть в результате развертывания данной системы, необходимо учитывать потери, связанные с ослаблением в здании. Данная информация для указанного диапазона частот отсутствует в Рекомендации МСЭ-R P.2109. Однако эксперты МСЭ-R по распространению радиоволн указали на то, что нужную информацию можно получить путем экстраполяции значений, приведенных в Рекомендации МСЭ-R P.2109.

A4.4.3.4 Периферийная/транзитная линия связи пункта с пунктом

Применение периферийных/транзитных линий связи пункта с пунктом описывается в п. 5.2.1. В п. 5.2.1 указано, что угол места антенны составляет максимум 20° в зависимости от изменений высоты рельефа в Токио, Япония. Для оценки влияния глобального развертывания данного применения рассматривается максимальный угол места антенны 65° . Следует отметить, что в Отчете МСЭ-R F.2239, посвященном ФС в диапазонах 76–86 ГГц и 92–95 ГГц, рассматриваются значения угла места ФС до 65° .

A4.4.4 Результаты моделирования

В следующем пункте приведены результаты анализа помех между системой ССИЗ и различными типами систем ФС и СПС, которые были предложены в рамках п. 1.15 повестки дня ВКР-19.

A4.4.4.1 Анализ помех усовершенствованной системы CPMS (фиксированное устройство)

Для проведения данного анализа зона измерений спутника ССИЗ была определена как мгновенная зона обзора конкретного моделируемого датчика. В пределах мгновенной зоны обзора датчика ССИЗ устройства CPMS были развернуты случайным образом, и плотность таких устройств увеличивали параметрически, начиная с плотности развертывания, указанной в таблице 1. Важно отметить, что результаты данного анализа не включают в себя процент времени, в течение которого критерии защиты превышаются.

Характеристики усовершенствованной системы CPMS и ССИЗ, использованные в данном исследовании, приведены в таблицах A4-4 и A4-6, выше. В данном анализе значения азимутального угла устройств усовершенствованной CPMS равномерно распределены между 0° и 360° . Однако следует отметить, что ширина главного лепестка антенны усовершенствованной CPMS задана равной 90° , а угол места $\pm 90^\circ$. Для целей данного анализа предполагается, что угол места каждого из устройств усовершенствованной системы CPMS согласован с углом падения луча датчика на землю, поскольку это обеспечивает результаты наихудшего случая, например 90° для датчиков надирного сканирования и 37° для датчиков конического сканирования при угле отклонения от надира, равном 45° . Данное предположение будет пересмотрено в том случае, если первоначальные результаты не укажут на совместимость между усовершенствованной системой CPMS и работой датчиков ССИЗ (пассивной).

РИСУНОК А4-10

Помехи, принимаемые датчиком конического сканирования ССИЗ от устройств СРМС

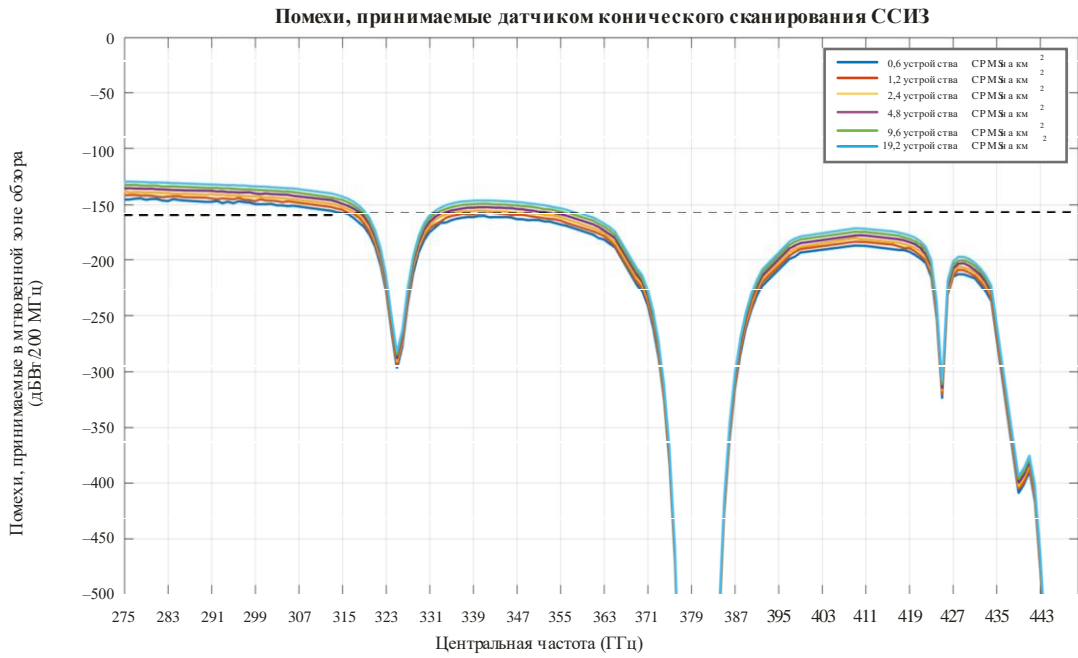


РИСУНОК А4-11

Помехи, принимаемые датчиком надирного сканирования ССИЗ от устройств СРМС

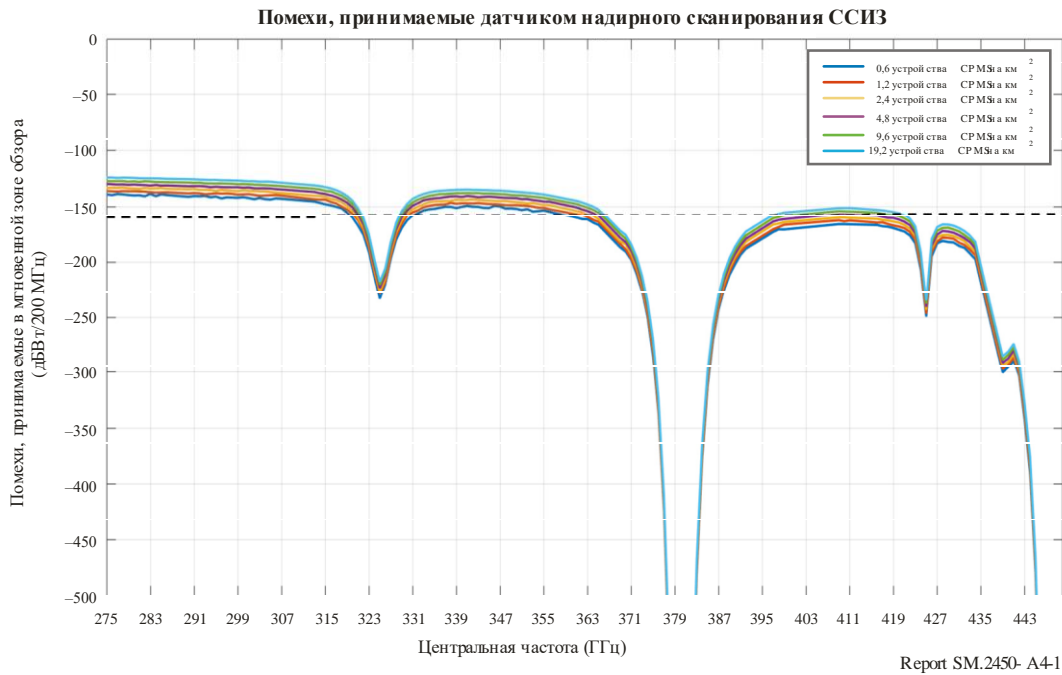


РИСУНОК А4-14

Помехи, принимаемые датчиком надирного сканирования ССИЗ от устройств CPMS

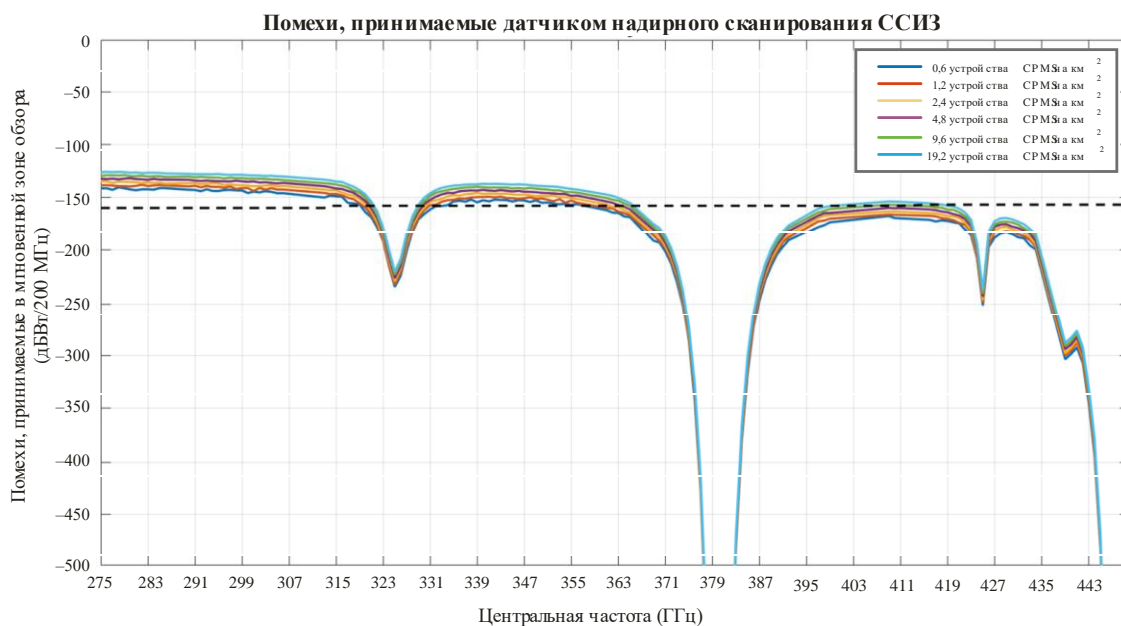
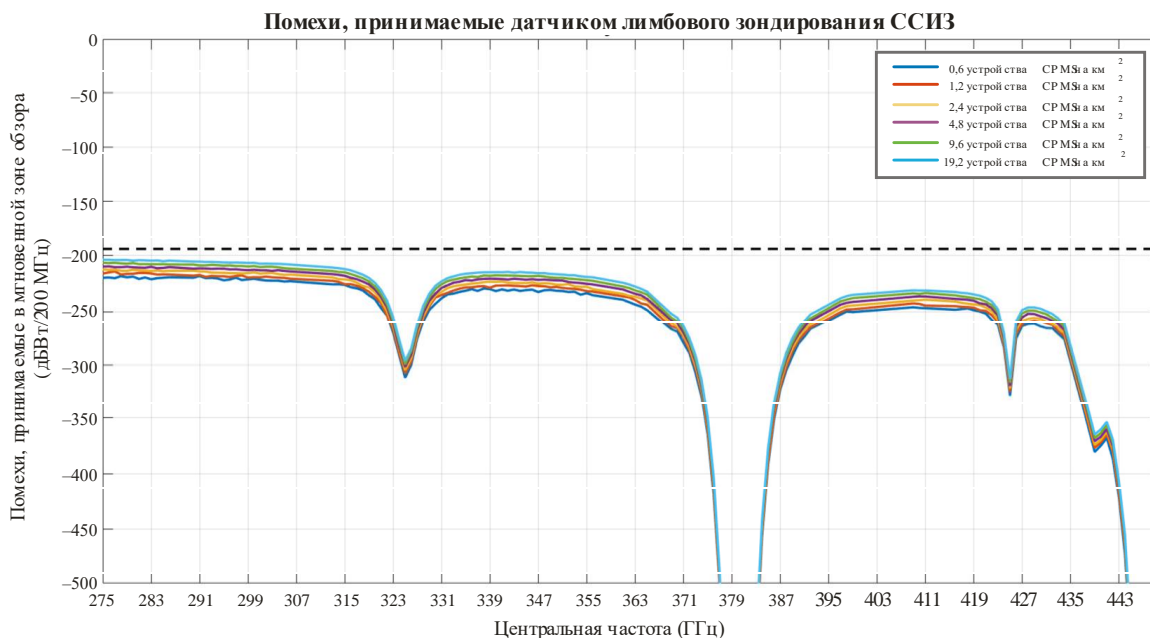


РИСУНОК А4-15

Помехи, принимаемые датчиком лимбового зондирования ССИЗ от устройств CPMS



Исходя из результатов приведенного выше анализа, следующие полосы не могут использоваться системами СПС без специальных ограничений:

- 296–306 ГГц;
- 313–320 ГГц;
- 330–356 ГГц.

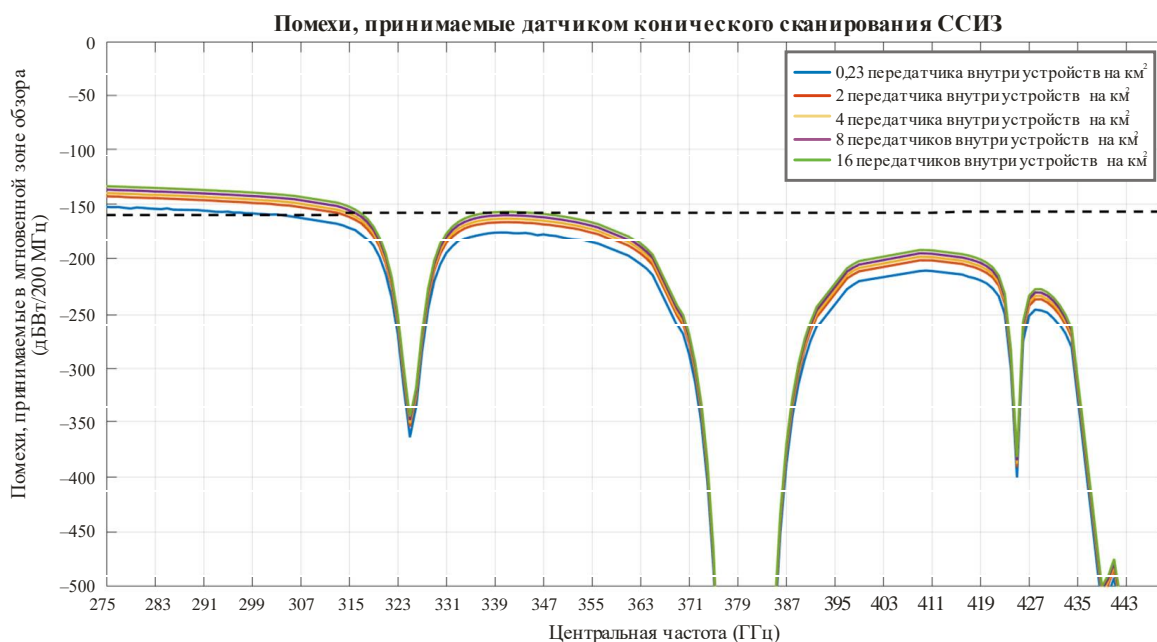
А4.4.4.2 Анализ помех для линий связи внутри устройств

Для проведения данного анализа зона измерений спутника ССИЗ была определена как мгновенная зона обзора (IFOV) конкретного моделируемого датчика. В пределах мгновенной зоны обзора датчика ССИЗ линии связи внутри устройств были развернуты случайным образом, и плотность таких линий увеличивали параметрически, начиная с плотности развертывания, указанной в таблице 1.

Характеристики линий связи внутри устройств и ССИЗ, использованные в данном исследовании, приведены в таблицах А4-4 и А4-6, выше. Следует отметить, что ширина главного лепестка антенны линий связи внутри устройств задана равной 180° , а угол места – 0° . Для целей данного анализа предполагается, что углы места линий связи внутри устройств зафиксированы равными 0° , а азимутальные углы распределены случайным образом в диапазоне от 0° до 360° .

РИСУНОК А4-16

Помехи, принимаемые датчиком конического сканирования ССИЗ от линий связи внутри устройств



Report SM.2450- A4-16

РИСУНОК А4-17

Помехи, принимаемые датчиком надирного сканирования ССИЗ от линий связи внутри устройств

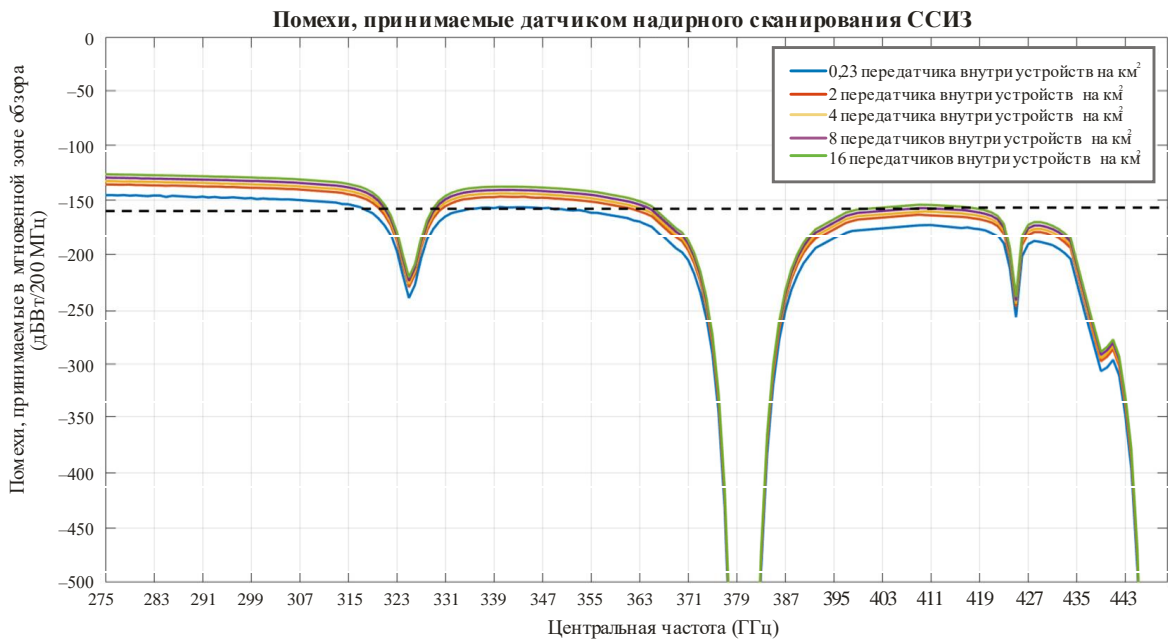
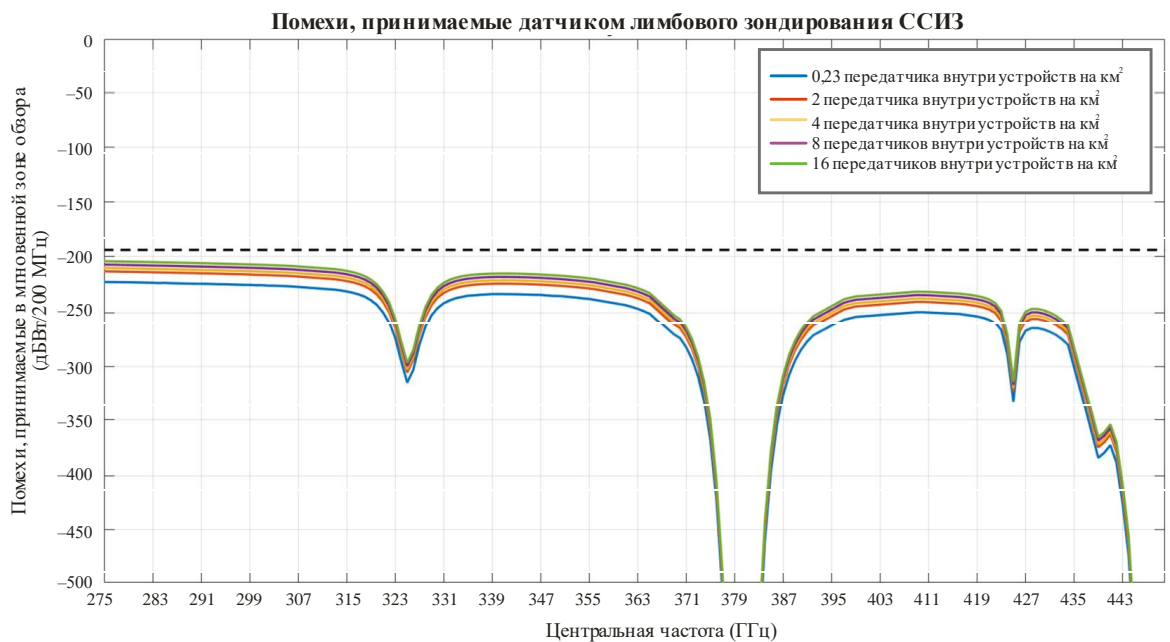


РИСУНОК А4-18

Помехи, принимаемые датчиком лимбового зондирования ССИЗ от линий связи внутри устройств



Исходя из результатов приведенного выше анализа, следующие полосы не могут использоваться системами СПС без дополнительной специальной информации, касающейся значений фактических потерь на входе в здание и параметров экранирования:

- 296–306 ГГц;
- 313–320 ГГц;
- 330–356 ГГц.

А4.4.4.3 Анализ помех беспроводных линий связи в центрах обработки данных

Для проведения данного анализа зона измерений спутника ССИЗ была определена как мгновенная зона обзора (IFOV) конкретного моделируемого датчика. В пределах мгновенной зоны обзора датчика ССИЗ линии связи в центрах обработки данных были развернуты случайным образом, и плотность таких линий увеличивали параметрически, начиная с плотности развертывания, указанной в таблице 1.

Характеристики линий связи в центрах обработки данных и ССИЗ, использованные в данном исследовании, приведены в таблицах А4-4 и А4-6, выше. Для целей данного анализа предполагается, что углы места линий связи в центрах обработки данных распределены случайным образом в диапазоне от 30° до 45° , а азимутальные углы – в диапазоне от 0° до 360° .

РИСУНОК А4-19

Помехи, принимаемые датчиком конического сканирования ССИЗ от линий связи в центрах обработки данных

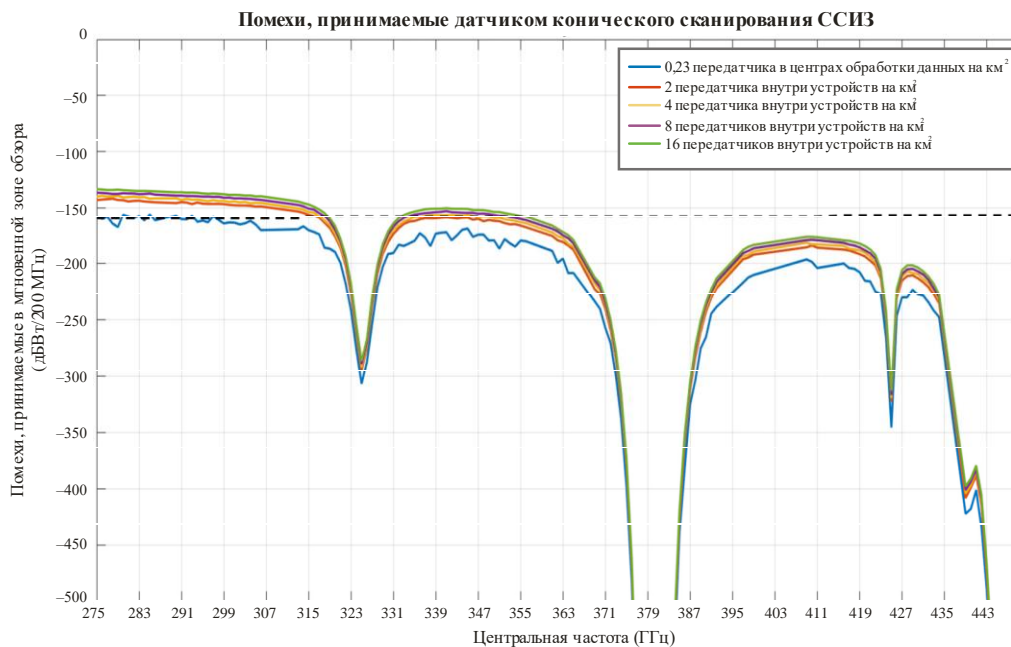


РИСУНОК А4-20

Помехи, принимаемые датчиком надирного сканирования ССИЗ от линий связи в центрах обработки данных

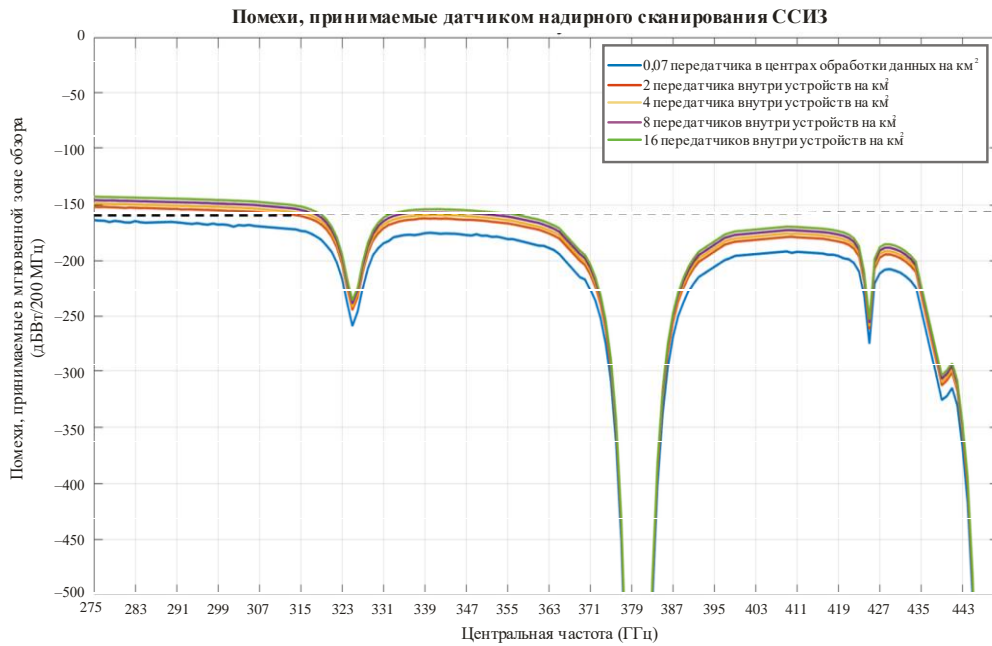
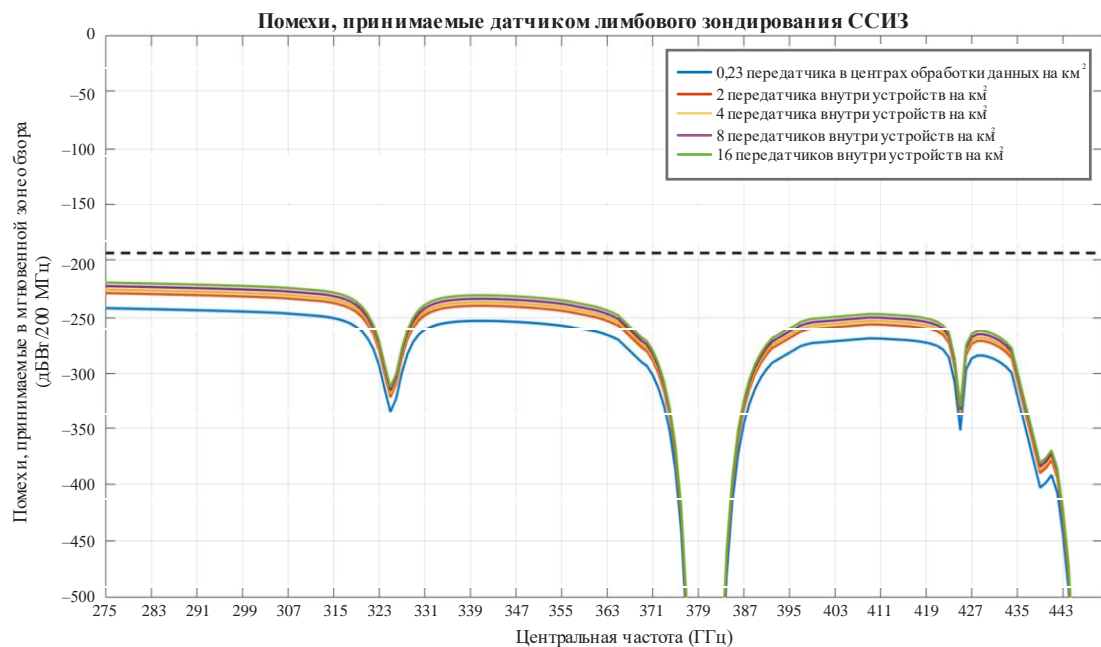


РИСУНОК А4-21

Помехи, принимаемые датчиком лимбового зондирования ССИЗ от линий связи в центрах обработки данных



Исходя из результатов приведенного выше анализа, следующие полосы не могут использоваться системами СПС без дополнительной специальной информации, касающейся значений фактических потерь на входе в здание и параметров экранирования:

- 296–306 ГГц;
- 313–320 ГГц;
- 330–356 ГГц*.

Следует отметить, что при рассмотрении плотности, равной четырем линиям на квадратный километр, верхняя полоса частот 330–356 ГГц оказалась несовместимой без регуляторных ограничений. Хотя минимальная плотность развертывания, указанная рабочей группой экспертов, составляет семь линий на квадратный километр, плотность, равная четырем линиям на квадратный километр, не рассматривается как недостижимая величина.

A4.4.4.4 Анализ помех для периферийных/транзитных линий связи пункта с пунктом

Для проведения данного анализа зона измерений спутника ССИЗ была определена как мгновенная зона обзора (IFOV) конкретного моделируемого датчика. В пределах мгновенной зоны обзора датчика ССИЗ линии связи ФС были развернуты случайным образом, и плотность станций ФС увеличивали параметрически, начиная с плотности развертывания, указанной в п. 5.2.1, выше. Важно отметить, что результаты данного анализа не включают процент времени, в течение которого превышаются критерии защиты.

Характеристики систем ФС и ССИЗ, использованные в данном исследовании, приведены в таблицах А4-4 и А4-6, выше. Для целей данного анализа предполагается, что углы места станций ФС распределены случайным образом в диапазоне от -20° до $+20^\circ$, а азимутальные углы – в диапазоне от 0° до 360° .

РИСУНОК А4-22

Помехи, принимаемые датчиком конического сканирования ССИЗ от линий ФС

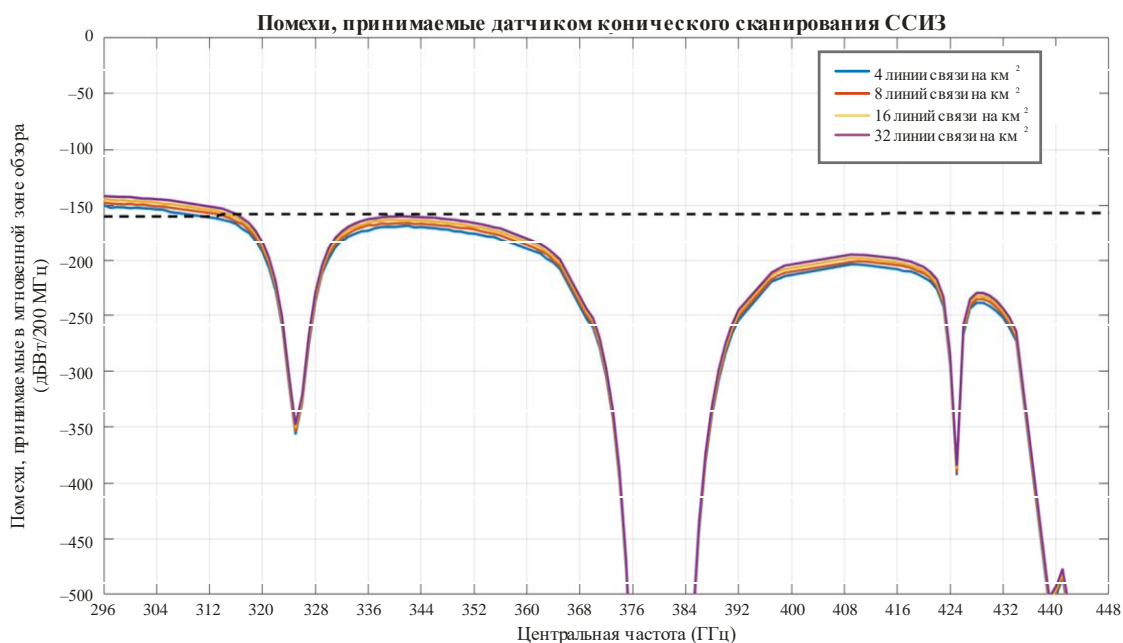


РИСУНОК А4-23

Помехи, принимаемые датчиком надирного сканирования ССИЗ от линий ФС

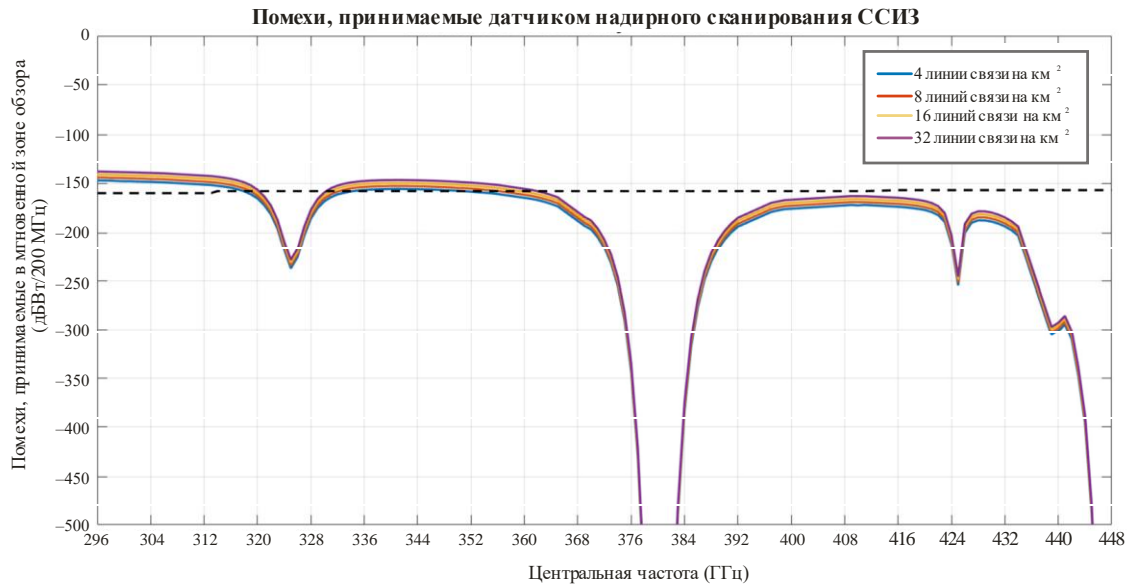
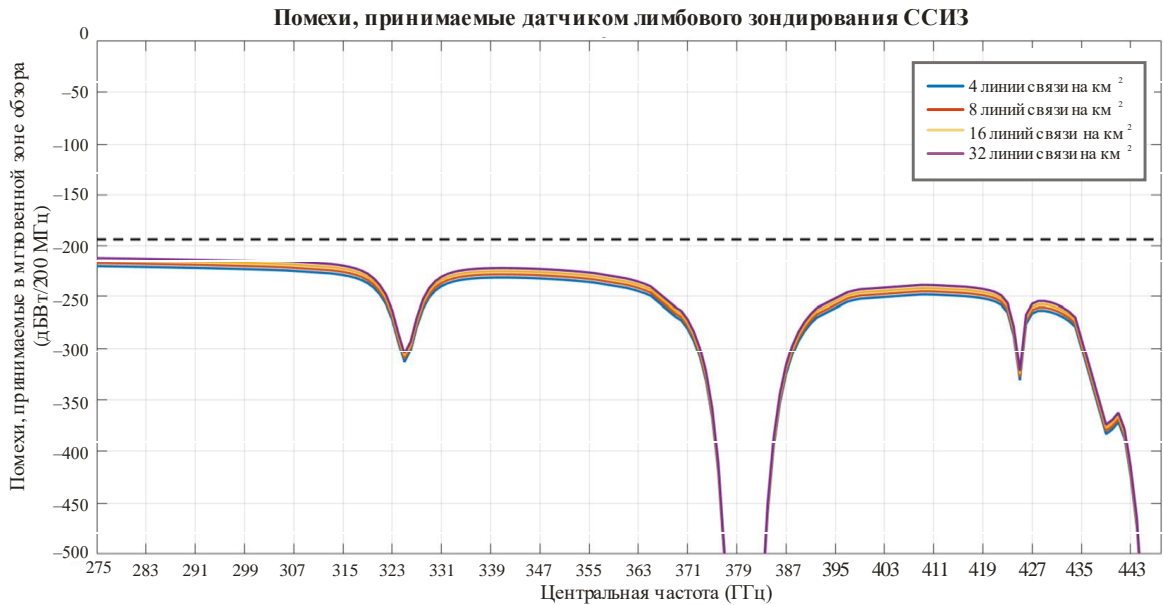


РИСУНОК А4-24

Помехи, принимаемые датчиком лимбового зондирования ССИЗ от линий ФС



Базовое распределение углов места (максимальное значение 20°), использованное в приведенном выше анализе, было предоставлено рабочей группой экспертов. Однако максимальный угол места линий ФС в диапазоне частот 275–450 ГГц не подлежит регулированию до тех пор, пока не будут произведены фактические распределения, следовательно, необходимо учитывать, что определенная процентная доля линий ФС может эксплуатироваться при более высоких углах места. В связи с этим приведенный ниже анализ был выполнен с использованием следующего распределения углов места:

- 90% распределены в диапазоне от -20° до +25°;
- 10% распределены в диапазоне от 25° до 65°.

РИСУНОК А4-25

Помехи, принимаемые датчиком конического сканирования ССИЗ от линий ФС

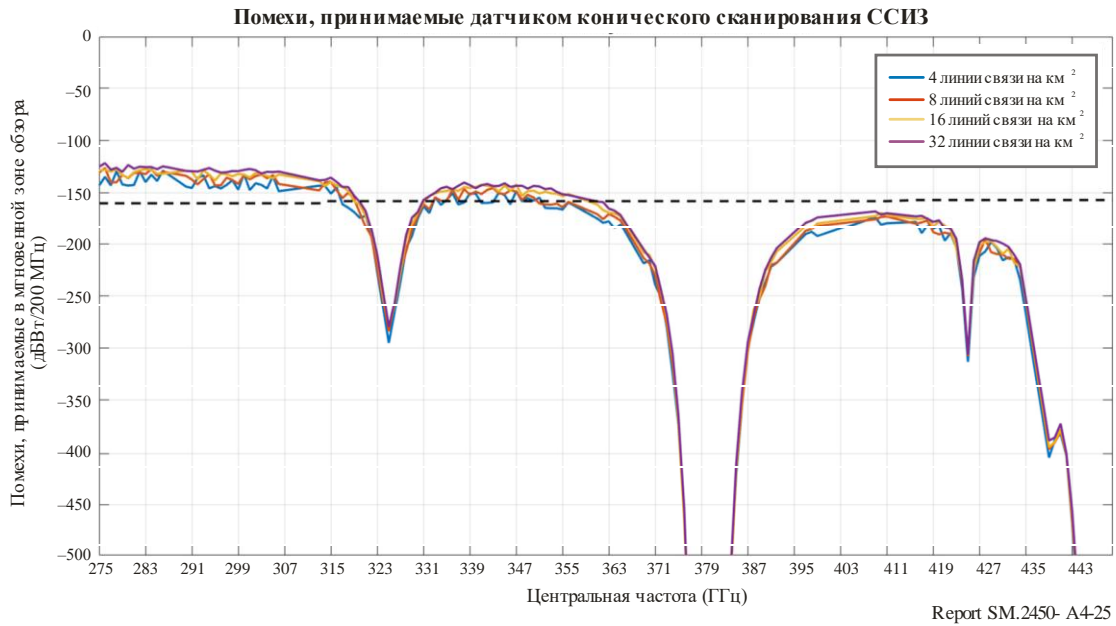


РИСУНОК А4-26

Помехи, принимаемые датчиком надирного сканирования ССИЗ от линий ФС

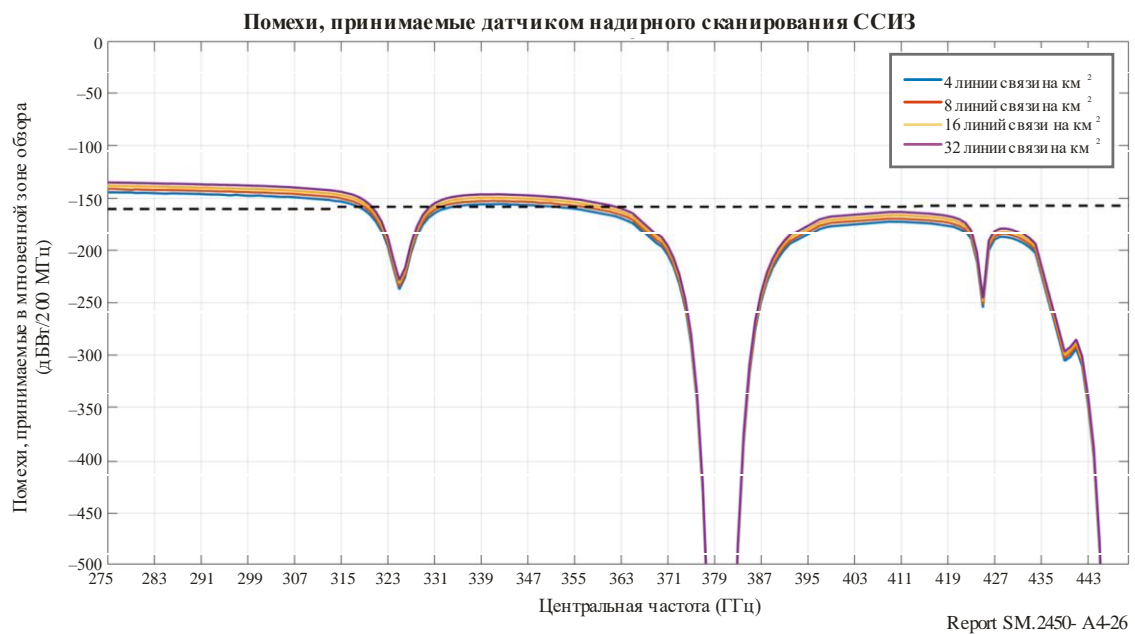
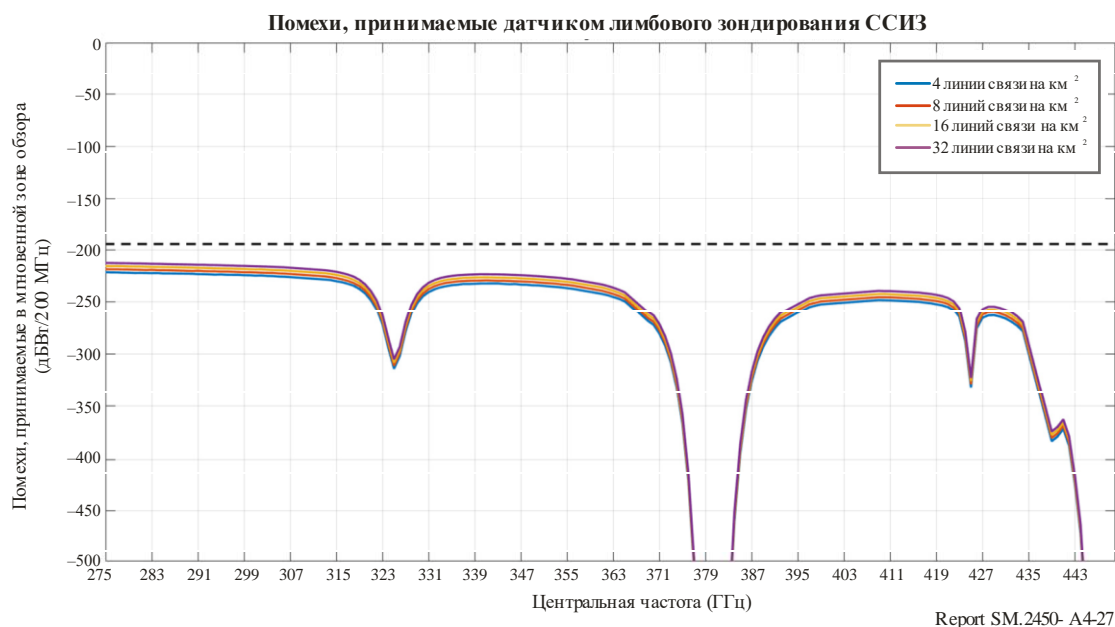


РИСУНОК А4-27

Помехи, принимаемые датчиком лимбового зондирования ССИЗ от линий ФС



Исходя из результатов приведенного выше анализа, следующие полосы не могут использоваться системами ФС без специальных ограничений:

- 296–306 ГГц;
- 313–320 ГГц;
- 330–356 ГГц.

А4.4.5 Резюме результатов 3-го исследования

Исходя из приведенных выше результатов анализа, следующие полосы могут использоваться системами ФС/СПС без особых условий:

- 275–296 ГГц;
- 306–313 ГГц;
- 320–330 ГГц;
- 356–450 ГГц.

Следует отметить, что, как было установлено, в полосе 275–286 ГГц системы ФС/СПС создавали проблемы для датчиков как конического, так и надирного сканирования, однако в настоящее время данная полоса используется только для лимбового зондирования. Вследствие этого системы ФС/СПС признаны совместимыми в данной полосе, однако если в будущем в данной полосе будут развернуты другие датчики ССИЗ (пассивной), то данный вывод должен быть пересмотрен; при рассмотрении распределений в данной полосе необходимо учитывать типы датчиков конического и надирного сканирования.

Эти результаты основаны на конкретных параметрах, предоставленных рабочей группой экспертов; однако в будущем, если потребуются распределения в полосе частот 275–450 ГГц, могут быть проведены дополнительные исследования для определения регламентарных положений (таких, как пределы мощности и/или ограничения по углам места), которые обеспечат возможность совместного использования частот ФС и ССИЗ (пассивной).

A4.5 4-е исследование. Анализ суммарных помех при совместном использовании частот станциями ФС/СПС и ССИЗ (пассивной) в диапазоне 275–325 ГГц

A4.5.1 Введение

Полосы частот 275–286 ГГц, 296–306 ГГц и 313–356 ГГц определены для использования спутниковой службой исследования Земли (пассивной), и многие системы спутникового пассивного дистанционного зондирования работают, как показано в таблице 13, приведенной в основном тексте настоящего Отчета. В данном разделе представлены результаты исследования совместного использования частот станциями ФС и пассивными датчиками ССИЗ, а также между конкретными системами СПС – системами KIOSK CPMS.

A4.5.2 Уровень мощности сигнала, принимаемого пассивным датчиком ССИЗ

Мощность сигнала, принимаемого антенной ССИЗ, определяется следующим уравнением:

$$P_R = P_T + G_T + G_R - L_{BW} - PL - A,$$

где:

- P_R : мощность на выходном порте приемной антенны;
- P_T : мощность на входном порте передающей антенны;
- G_T : усиление передающей антенны в направлении приемной антенны;
- G_R : усиление приемной антенны в направлении передающей антенны;
- L_{BW} : коэффициент ограничения ширины полосы;
- PL : "традиционные" потери на трассе между передающей и приемной антеннами вследствие геометрического распространения и преград на местности;
- A : дополнительный коэффициент потерь из-за атмосферного поглощения.

Параметры в полосе частот 275–325 ГГц, представленные в таблицах 7 и 8, используются для расчета уровня мощности сигнала, принимаемого ССИЗ (пассивной), характеристики которой относятся к IC1 и приведены в таблице 14. Усиление антенны ФС в направлении зенита принимается равным –13 дБи в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R F.1245. Потери на трассе от наземной точки до станции ССИЗ (пассивной), высота которой составляет 817 км, указаны на рисунке 6. Хотя для анализа совместного использования частот и совместимости рассматриваются три высоты 0 м и 1000 м, на которых размещены антенны СПС/ФС, итоговые результаты исследования могут быть получены при использовании высоты менее 1000 м, поскольку крупные города мира с населением более 10 миллионов человек находятся на высоте от 0 до 1000 м.

A4.5.3 Развертывание систем CPMS

В данном разделе представлены технические и эксплуатационные характеристики систем CPMS, которые будут применяться в исследованиях совместного использования частот CPMS и ССИЗ (пассивной) в соответствии с Отчетом МСЭ-R M.2417. Системы CPMS используются внутри помещений, и почти все углы места антенн фиксированных устройств CPMS для мобильных систем загрузки KIOSK и турникетов составляют +90°. Эти фиксированные устройства CPMS начинают работать, когда в непосредственной близости от них помещаются мобильные устройства CPMS. Ожидается также, что мобильные устройства CPMS смогут обеспечить некоторое экранирование мощности, излучаемой фиксированными устройствами CPMS в окружающую среду, благодаря тому, что они находятся на очень близком расстоянии. Даже в том случае, если два устройства расположены очень близко друг к другу, просачивающаяся через зазор между двумя устройствами мощность может излучаться наружу. Однако такого рода нежелательное просачивание мощности в данном исследовании не учитывается. Хотя угол места антенны действующих мобильных устройств CPMS составляет –90°, в исследованиях рассматривается наихудший сценарий, при котором угол места антенны равен +90°. В таблице A4-7 приведены технические и эксплуатационные параметры, используемые для исследований совместного использования частот системами СПС. При этом эксплуатационные характеристики и параметры развертывания мобильных систем загрузки KIOSK сопоставляются с характеристиками ССИЗ (пассивной). Для традиционных зданий при проведении исследований используется значение VEL, равное 28 дБ, что позволяет не переоценивать VEL в полосе 300 ГГц.

ТАБЛИЦА А4-7

**Краткий обзор технических и эксплуатационных параметров систем CPMS,
которые следует применять в исследованиях совместного использования частот**

Параметры	Значения	Замечание
Диапазон частот (ГГц)	275–450	Применение CPMS в Отчете МСЭ-R М.2417
Угол места антенны (градусы)	+90	Усиление антенны фиксированного устройства CPMS 30 дБи (см. Приложение 3)
	+90	Усиление антенны мобильного устройства CPMS 15 дБи (см. Приложение 3)
Развертывание фиксированных устройств CPMS в помещении (%)	90	Применяется значение для усовершенствованной системы CPMS, указанное в Отчете МСЭ-R М.2417
Потери на входе в здание (дБ)	28	Экстраполированное значение на основе Рекомендации МСЭ-R Р.2109 (см. Приложение 2)

А4.5.4 Развертывание ФС

Углы места антенны рассчитываются на основе высоты антенн станций ФС и протяженности линий ФС. В Отчете МСЭ-R F.2417-0 определен угол места в пределах $\pm 20^\circ$ для станций ФС в городских районах, где высота станции ФС составляет 6–25 м, а расстояние между станциями ФС – 100–300 м. Однако следует учитывать возможность линий с углом места до 30° в качестве наихудшего случая для линий малой протяженности в условиях плотной городской застройки с большим углом места, как предлагается в Отчете МСЭ-R F.2239-0.

Хотя согласно Отчету МСЭ-R F.2417-0 плотность линий ФС, равная 4,2 линии на кв. км, определена для диапазонов частот 275–325 ГГц и 380–445 ГГц, это значение плотности используется для исследований совместного использования частот во всей полосе частот 275–450 ГГц.

А4.5.5 Уровень мощности, принимаемой датчиками ССИЗ (пассивной)

В таблице А4-8 приведены параметры, которые используются для расчета суммарной мощности, принимаемой датчиками ССИЗ (пассивной). Все полосы в диапазоне частот 275–450 ГГц, определенные для использования датчиками ССИЗ (пассивной), оцениваются в соответствии с п. 5.2.

ТАБЛИЦА А4-8

**Параметры ССИЗ (пассивной) для применения в исследованиях
совместного использования частот**

Датчики ССИЗ (пассивной)	Ширина полосы приема датчиков (МГц)	Угол относительно надира (градусы)	Совокупное воздействие	
Лимбовое сканирование	3	0	Н/д Нацеливание антенны 30 дБи фиксированного устройства CPMS на датчик ССИЗ (пассивной) (сценарий для наихудшего случая)	Н/д Нацеливание антенны 50 дБи станции ФС на датчик ССИЗ (пассивной) (сценарий для наихудшего случая)
Надирное сканирование ⁽¹⁾	200	90	Плотность устройств 0,6 на кв. км IFOV – 30 кв. км (ICI), 10 кв. км (TWICE), 110 кв. км (GOMAS) Количество устройств 18 (ICI), 6 (TWICE), 66 (GOMAS) Коэффициент активности 0,76% Кумулятивное распределение вероятностей < 0,01%	Плотность линий ФС 4,2 на кв. км IFOV – 30 кв. км (ICI), 10 кв. км (TWICE), 110 кв. км (GOMAS) Количество передатчиков 252 (ICI), 84 (TWICE), 924 (GOMAS) Распределение станций ФС – дискретное равномерное распределение Среднее усиление антенны 5,2 дБ (ICI), 0,8 дБ (TWICE), 10,7 дБ (GOMAS)
Коническое сканирование	200	53	Плотность устройств 0,6 на кв. км IFOV – 200 кв. км (ICI) Нацеливание антенн 30 дБи и 15 дБи фиксированных и мобильных устройств CPMS на датчик ССИЗ (пассивной) Угол места 25,7°	Нацеливание антенны 50 дБи станции ФС на датчик ССИЗ (пассивной) Угол места 25,7°

⁽¹⁾ Мощность, принимаемая датчиком, работающим в режиме надирного сканирования, рассчитывается только в зенитном направлении 90°.

А4.5.5.1 Уровень мощности, принимаемой от подвижных систем CPMS

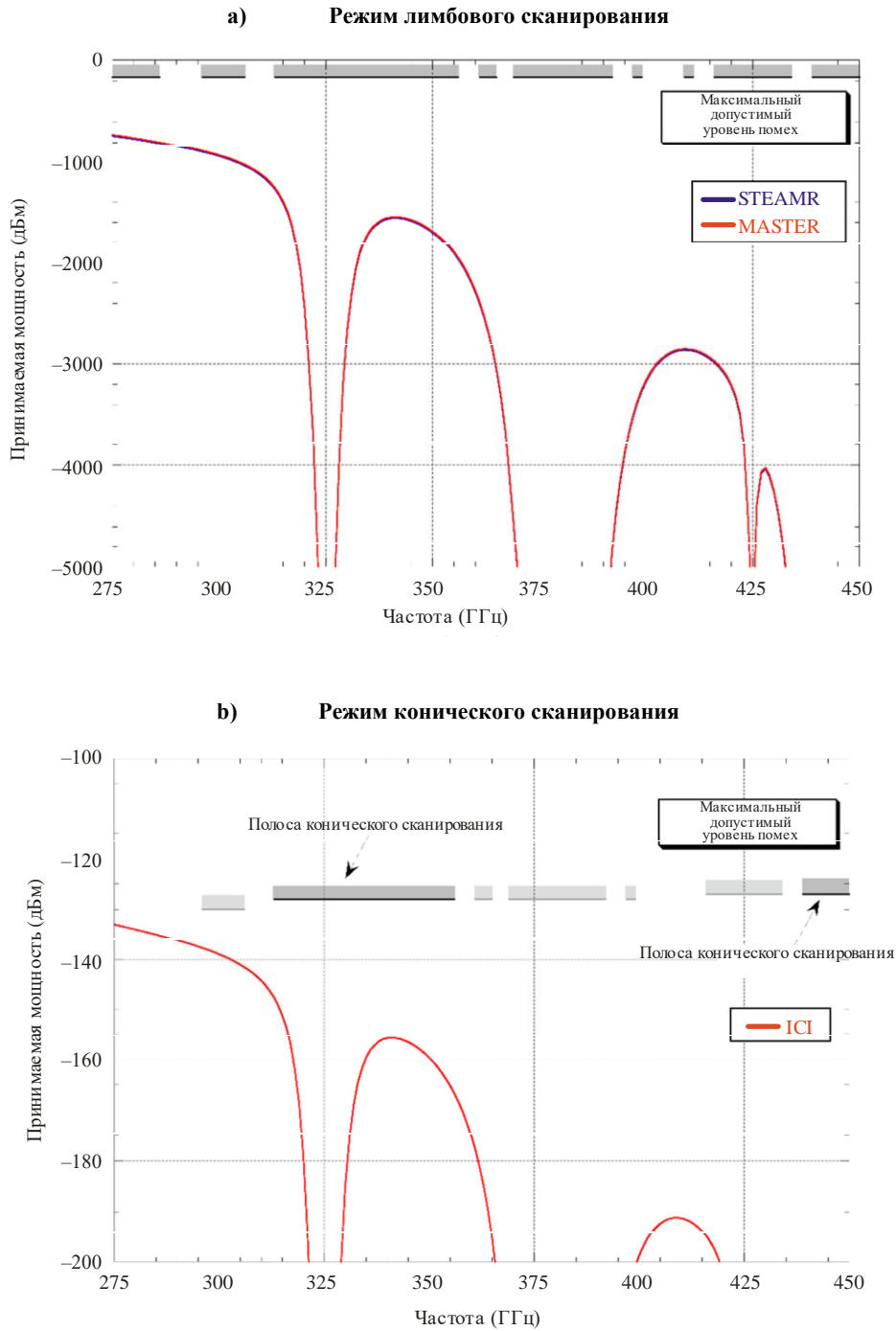
На рисунке А4-28 представлены результаты исследования, которые показывают, что полоса 275–450 ГГц доступна для систем СПС, если применимы и могут быть учтены дополнительные потери, такие как ВЕL. Исходя из рисунка А4-28 (с), можно получить следующие результаты:

- вся полоса 275–450 ГГц не может использоваться для систем CPMS в условиях их использования вне помещений в 10% случаев из-за отсутствия потерь в здании, связанных с ослаблением в здании, которые необходимо учитывать;
- полосы 296–306 ГГц, 313–316 ГГц и 332–356 ГГц не могут использоваться для систем CPMS, если не учитывать дополнительные потери.

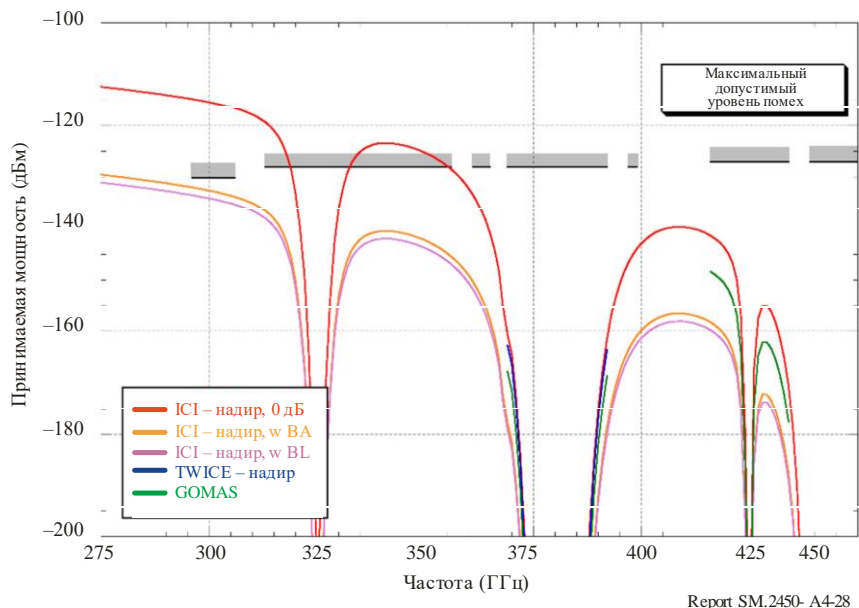
Подводя итог, следует отметить, что полосы частот 275–296 ГГц, 306–313 ГГц, 319–332 ГГц и 356–450 ГГц могут использоваться для систем CPMS без каких-либо особых условий. Однако вся полоса 275–450 ГГц может использоваться для систем CPMS, если особые условия, такие как потери, связанные с ослаблением в здании, применимы для устройств CPMS, используемых внутри помещений.

РИСУНОК А4-28

Уровень мощности, принимаемой датчиками ССИЗ (пассивной) от систем CPMS



- с) **Режим надирного сканирования (если ослабление в здании, равное 17 дБ, не учитывается в исследованиях совместного использования частот, уровень принимаемой мощности превышает максимальный уровень помех в полосах 296–306 ГГц, 313–319 ГГц и 332–356 ГГц)**

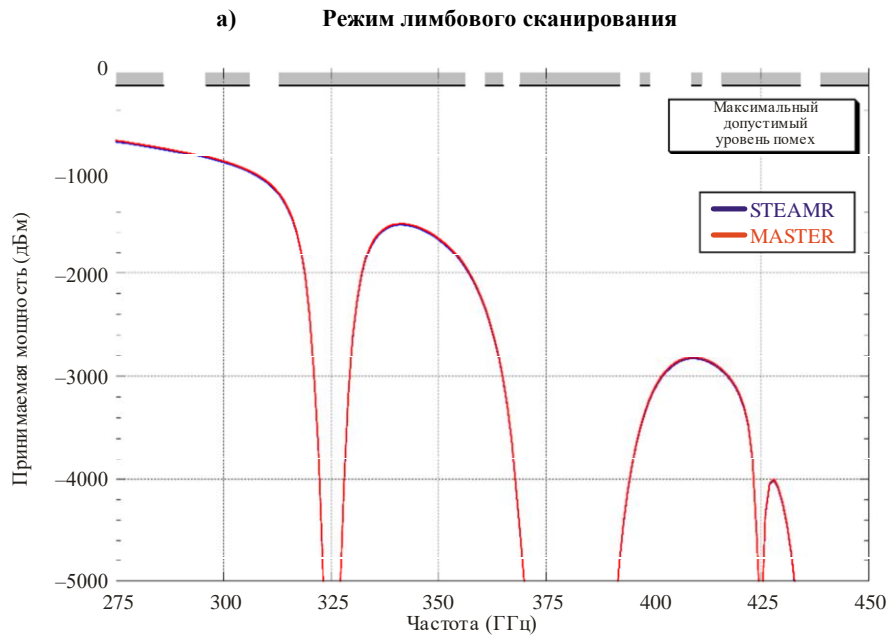


A4.5.5.2 Уровень мощности, принимаемой от периферийных и транзитных линий связи пункта с пунктом

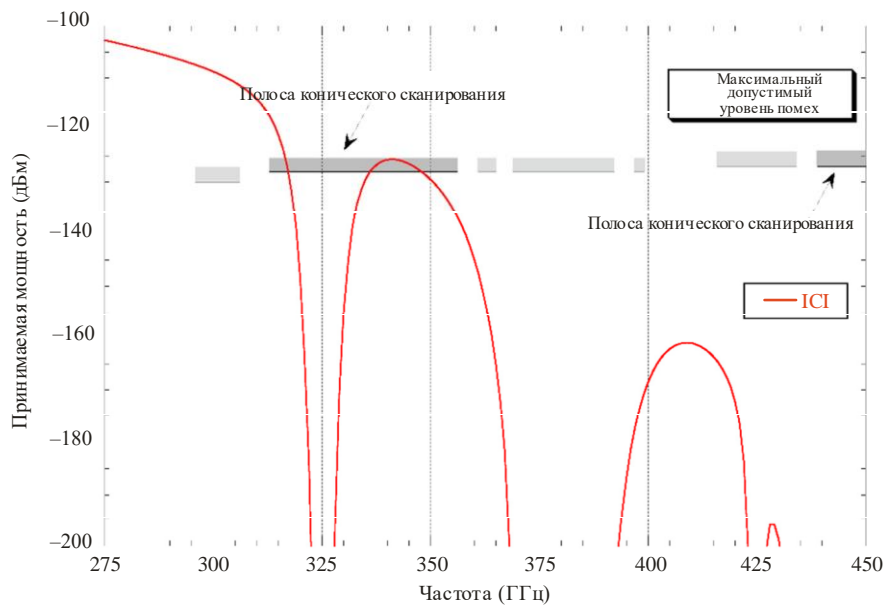
На рисунке А4-29 представлены результаты расчета уровня мощности, принимаемой датчиками ССИЗ (пассивной). Отсутствуют помехи от станций ФС датчикам, работающим в режиме лимбового и надирного сканирования. Однако уровень принимаемой мощности превышает максимальный уровень помех в полосах конического сканирования 313–318 ГГц и 336–348 ГГц, а также в полосе надирного сканирования 296–306 ГГц, как показано на рисунке А4-29 (b). Подводя итог, следует отметить, что полосы частот 275–296 ГГц, 306–313 ГГц, 318–336 ГГц и 348–450 ГГц могут использоваться для систем ФС без каких-либо особых условий.

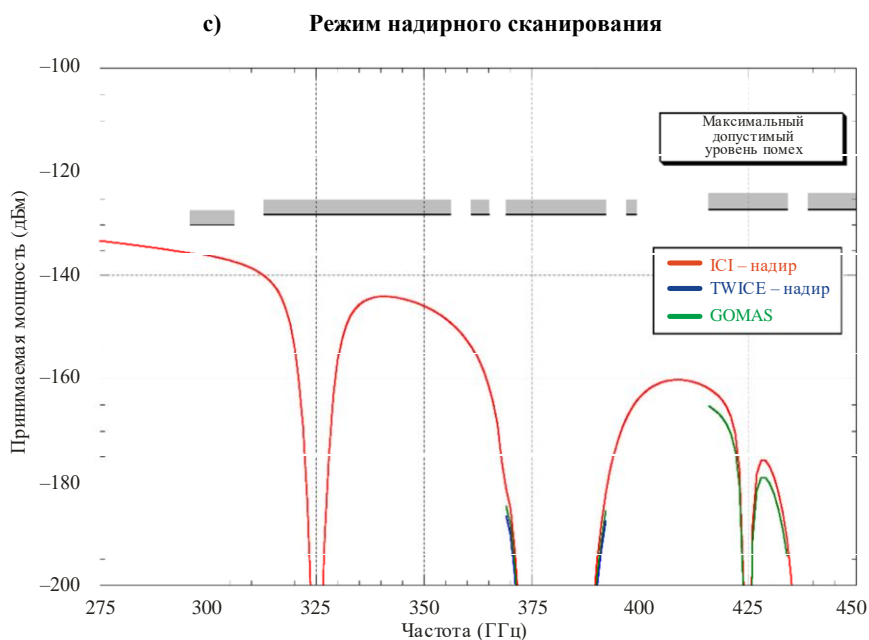
РИСУНОК А4-29

Уровень мощности, принимаемой датчиками ССИЗ (пассивной) от систем ФС



б) Режим конического сканирования (уровень принимаемой мощности превышает максимальный уровень помех в полосах конического сканирования 313–318 ГГц и 336–348 ГГц, а также в полосе надирного сканирования 296–306 ГГц)





Report SM.2450A4-2 9

A4.5.6 Резюме результатов 4-го исследования

Полосы частот 275–296 ГГц, 306–313 ГГц, 319–332 ГГц и 356–450 ГГц могут использоваться системами CPMS без каких-либо особых условий. Полосы частот 275–296 ГГц, 306–313 ГГц, 318–336 ГГц и 348–450 ГГц могут также использоваться системами ФС без каких-либо особых условий. В целях совместимости систем ФС/СПС с ССИЗ (пассивной) полосы 275–296 ГГц, 306–313 ГГц, 319–332 ГГц и 356–450 ГГц могут совместно использоваться системами ФС/СПС.

A4.6 5-е исследование. Анализ совместимости между ССИЗ (пассивной) и ФС в диапазоне частот 275–450 ГГц (сценарий суммарных помех)

Данное исследование включает в себя анализ суммарных помех между системами ФС и ССИЗ (пассивной) в полосе 275–450 ГГц. Подход, использованный при проведении данного анализа, заключался в определении максимальной суммарной мощности помех, создаваемых станциями ФС, развернутыми в зоне обзора датчика ССИЗ, и последующего расчета минимального атмосферного затухания, которое потребуется для обеспечения того, чтобы не нарушались критерии защиты ССИЗ. Затем это минимальное значение атмосферного затухания было сравнено с фактическими значениями, указанными в Рекомендации МСЭ-R P.676, что позволило определить совместимые полосы частот.

A4.6.1 Характеристики ССИЗ (пассивной)

Описание систем ССИЗ (пассивной) в диапазоне частот 275–450 ГГц приведено в п. 5.4.

Для конкретной системы ICI для проведения анализа совместного использования необходимы следующие параметры.

ТАБЛИЦА A4-9
Характеристики ICI

	Датчик ICI
Тип орбиты	НГСО
Высота (км)	817
Угол отклонения от надира (градусы)	53
Угол места на поверхности земли (градусы)	25,7
Мгновенная зона обзора (кв. км)	200
Усиление антенны (дБи)	55

Применимые каналы IC1:

- канал 1 – 314,15–317,15 ГГц (3 ГГц);
- канал 2 – 320,45–322,85 ГГц (2,4 ГГц);
- канал 3 – 323,65–324,45 ГГц (1,6 ГГц);
- канал 4 – 325,85–327,45 ГГц (1,6 ГГц);
- канал 5 – 327,45–329,85 ГГц (2,4 ГГц);
- канал 6 – 333,15–336,15 ГГц (3 ГГц).

Кроме того, для проведения общего анализа во всех полосах частот рассматриваются пять типовых систем, как указано в таблице А4-10.

ТАБЛИЦА А4-10

Типичные системы ССИЗ (пассивной)

	Тип IC1	Тип TWICE	Тип NADIR	Тип GOMAS (надирное сканирование)	Тип GOMAS (малый угол места)
Тип орбиты	НГСО	НГСО	НГСО	ГСО	ГСО
Высота (км)	817	400	817	35 684	35 684
Угол отклонения от надира (градусы)	53	53	0	0	8,5
Угол места на поверхности земли (градусы)	25,7	31,9	90	90	12,7
Мгновенная зона обзора (IFOV) (кв. км)	200	50	30	110	890
Усиление антенны (дБи)	55	48	55	79	79

ПРИМЕЧАНИЕ. – Датчики поперечного сканирования могут быть представлены как "надирным" типом, так и типом IC1.

А4.6.2 Характеристики и развертывание ФС

Описание систем ФС в диапазоне частот 275–450 ГГц приведено в п. 5.2.

Для проведения анализа совместного использования частот системами ФС и ССИЗ (пассивной) необходимы следующие технические параметры:

- э.и.и.м. в диапазоне от 30 до 67 дБм/ГГц;
- усиление антенны в диапазоне от 24 до 50 дБи;
- диаграмма направленности антенны согласно Рекомендации F.1245.

В отношении количества линий связи ФС используются следующие допущения:

- сценарий плотности линий – 4,2 линии на кв. км;
- сценарий охвата населения – 0,00035 линии на одного жителя.

Наконец, для распределений значений угла места линий ФС был использован базовый сценарий, представленный в Отчете МСЭ-R F.2416, то есть типичный угол 20° (сценарий 1), что однако не исключает появления более высоких значений угла места.

В предположении того, что максимальное значение угла места линий ФС в диапазоне частот 275–450 ГГц не будет регулироваться, в этом исследовании также рассматривается влияние определенной доли линий ФС, работающих на более высоких углах места. В связи с этим в качестве справочного документа использовался Отчет МСЭ-R F.2239, в котором для линий ФС в полосе 81–86 ГГц указаны следующие сценарии, касающиеся угла места.

ТАБЛИЦА А4-11

Сценарии, касающиеся угла места ФС, из Отчета МСЭ-R F.2239

	Сценарий 2	Сценарий 3	Сценарий 4	Сценарий 5
Линии с большим углом места	0,39% линий с углом места выше 20°	0,5% линий с углом места в диапазоне от 30° до 45°	±30° (нормальное распределение)	Менее 2% линий с углом места в диапазоне от 20° до 65°

ПРИМЕЧАНИЕ. – Следует отметить, что поскольку длина пролетов линий ФС, работающих в полосе 81–86 ГГц, вероятнее всего выше чем в полосе 275–450 ГГц, углы места ФС в полосе 275–450 ГГц могут быть больше.

Для расчета воздействия суммарных помех при развертывании ФС на датчики ССИЗ (пассивной) использовалась следующая методика.

1-й этап. Определение количества линий ФС в зоне обслуживания ССИЗ:

- вариант 1 – на основе плотности (развертывания) (4,2 линии на кв. км);
- вариант 2 – на основе данных о населении (0,00035 линии на одного жителя) (см. методику в Приложении 1).

ТАБЛИЦА А4-12

Количество линий ФС в зоне обслуживания ССИЗ (пассивной)

	Тип ICI	Тип TWICE	Тип NADIR	Тип GOMAS (надирное сканирование)	Тип GOMAS (малый угол места)
Мгновенная зона обзора (кв. км)	200	50	30	110	890
На основе плотности (количество линий)	840	210	126	462	3738
На основе данных о населении (количество линий)	1 030	393	228	874	1903

2-й этап. Случайное развертывание определенного количества линий ФС со следующими выбранными случайным образом параметрами:

- азимут (от 0° до 360°);
- угол места (на основе вышеуказанных сценариев распределения 1–5);
- э.и.и.м. (от 30 до 67 дБм/ГГц);
- усиление антенны (от 24 до 50 дБи).

3-й этап. Для каждого сценария выполняется 1000 различных случайных развертываний для определения распределения максимальной э.и.и.м. в направлении датчика ССИЗ (пассивной).

А4.6.3 Максимальная э.и.и.м. ФС в направлении спутника ССИЗ (пассивной)

В следующих пунктах представлены максимальные значения э.и.и.м. ФС на земной поверхности в направлении спутников ССИЗ (пассивной) (выраженные в дБм/200 МГц).

а) Единичные помехи

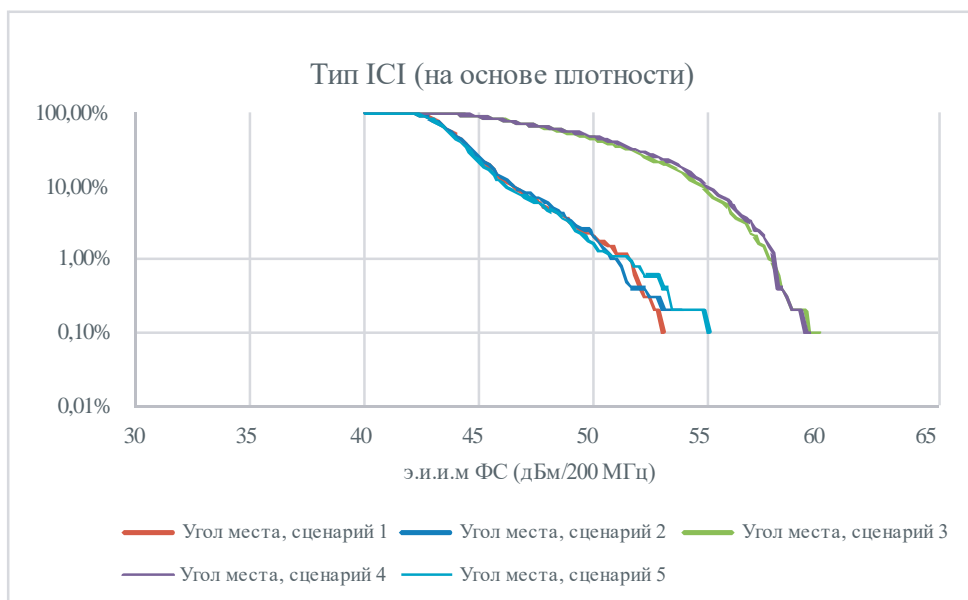
Максимальная э.и.и.м. ФС определяется как 67 дБм/ГГц. Следовательно, максимальная э.и.и.м. единичной помехи ФС на земной поверхности в направлении спутников ССИЗ (пассивной), выраженная в дБм/200 МГц, составляет:

$$\text{Макс. э.и.и.м.} = 67 + 10 \times \log(200/1000) = 60 \text{ дБм/200 МГц.}$$

б) Сценарий суммарных помех для датчика типа ICI

РИСУНОК А4-30

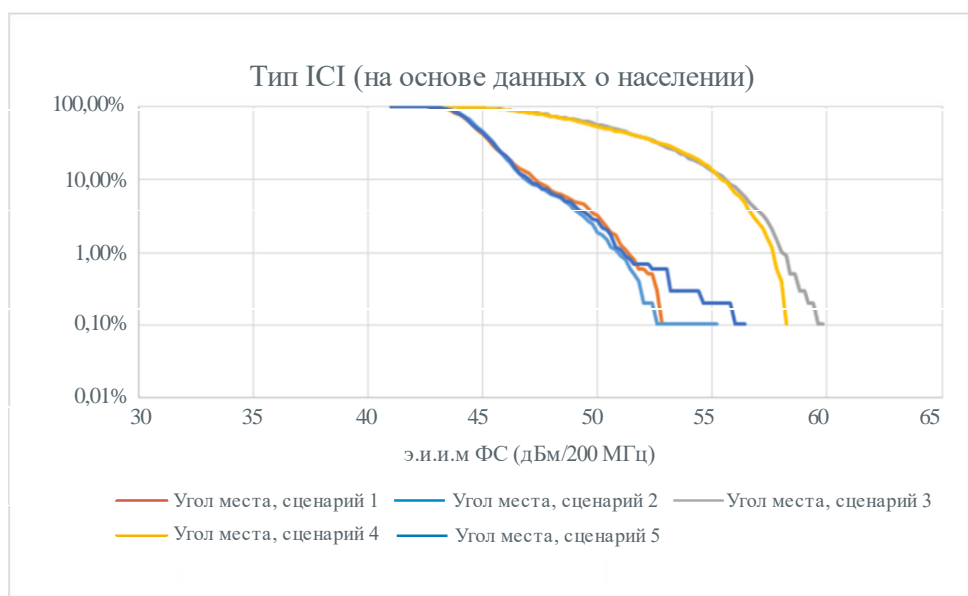
э.и.и.м. ФС у земной поверхности для датчика типа ICI (на основе плотности)



Report SM.2450- A4-30

РИСУНОК А4-31

э.и.и.м. ФС у земной поверхности для датчика типа ICI (на основе данных о населении)



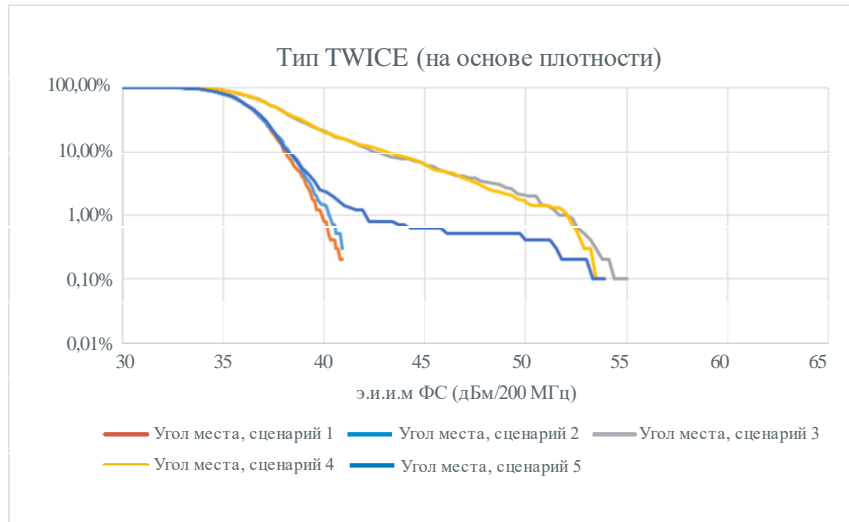
Report SM.2450- A4-31

Максимальная суммарная э.и.и.м. из приведенных выше рисунков 59,8 дБм/200 МГц.

с) **Сценарий суммарных помех для датчика типа TWICE**

РИСУНОК А4-32

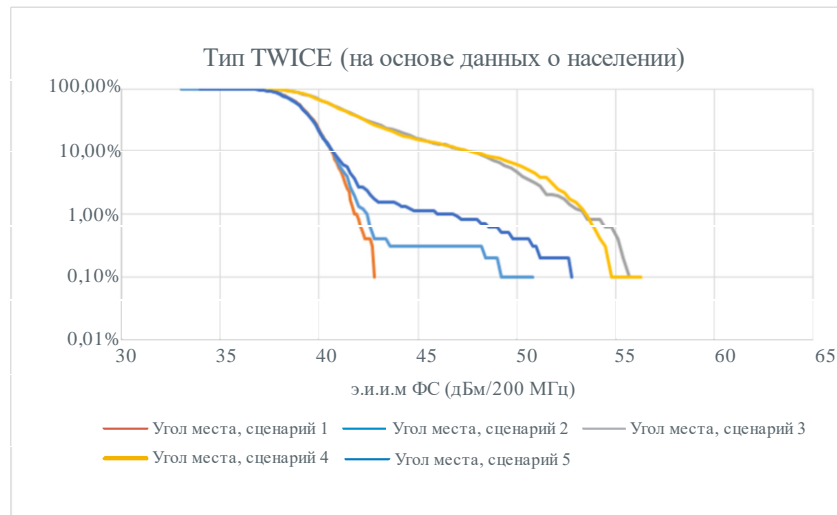
э.и.и.м. ФС у земной поверхности для датчика типа TWICE (на основе плотности)



Report SM.2450- A4-32

РИСУНОК А4-33

э.и.и.м. ФС у земной поверхности для датчика типа TWICE (на основе данных о населении)



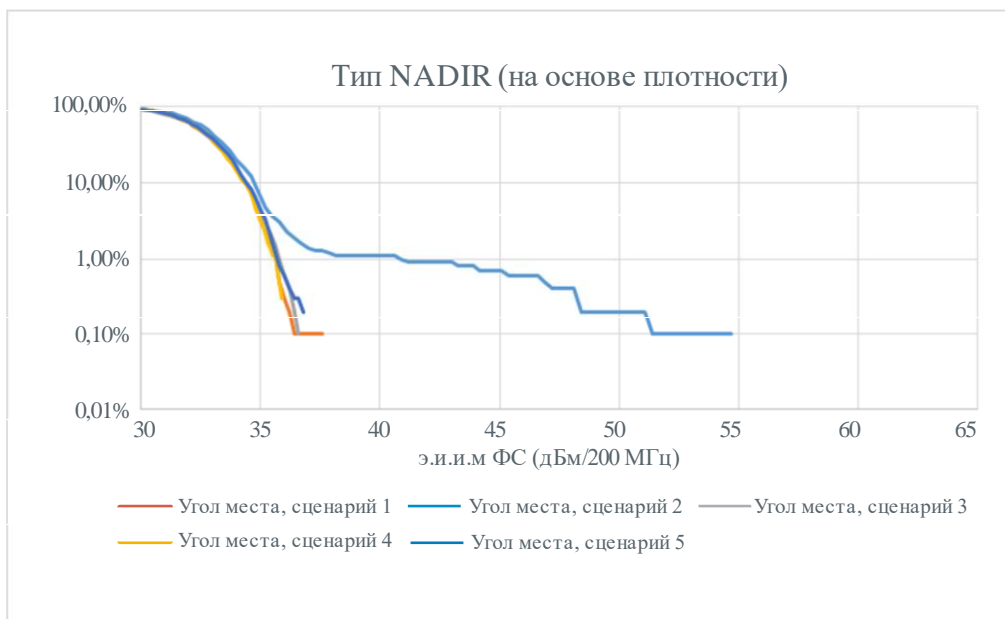
Report SM.2450- A4-33

Максимальная суммарная э.и.и.м. из приведенных выше рисунков 56,3 дБм/200 МГц.

d) Сценарий суммарных помех для датчика типа NADIR

РИСУНОК А4-34

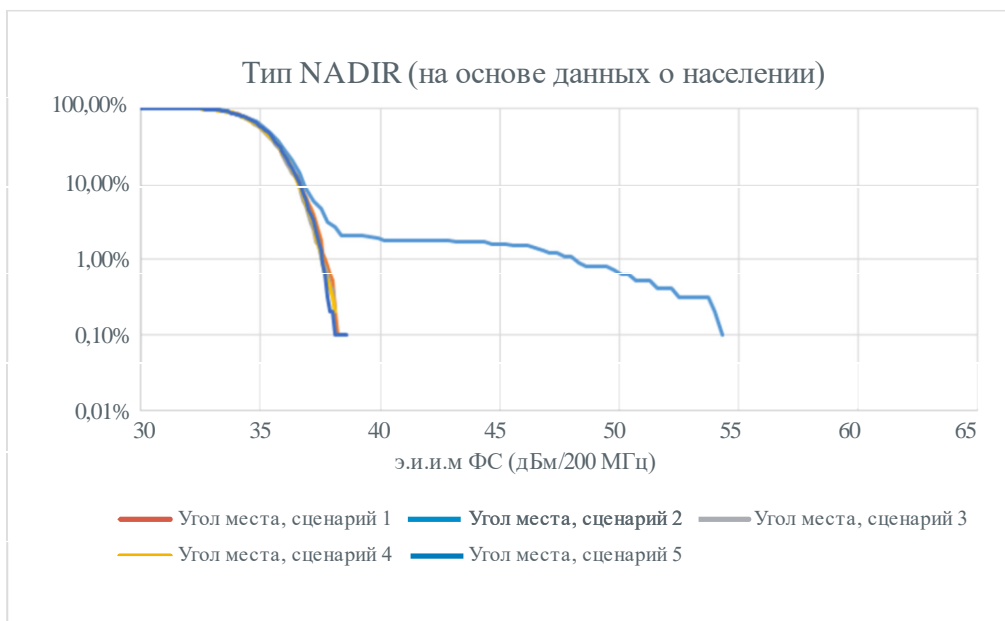
э.и.и.м. ФС у земной поверхности для датчика типа NADIR (на основе плотности)



Report SM.2450- A4-34

РИСУНОК А4-35

э.и.и.м. ФС у земной поверхности для датчика типа NADIR (на основе данных о населении)



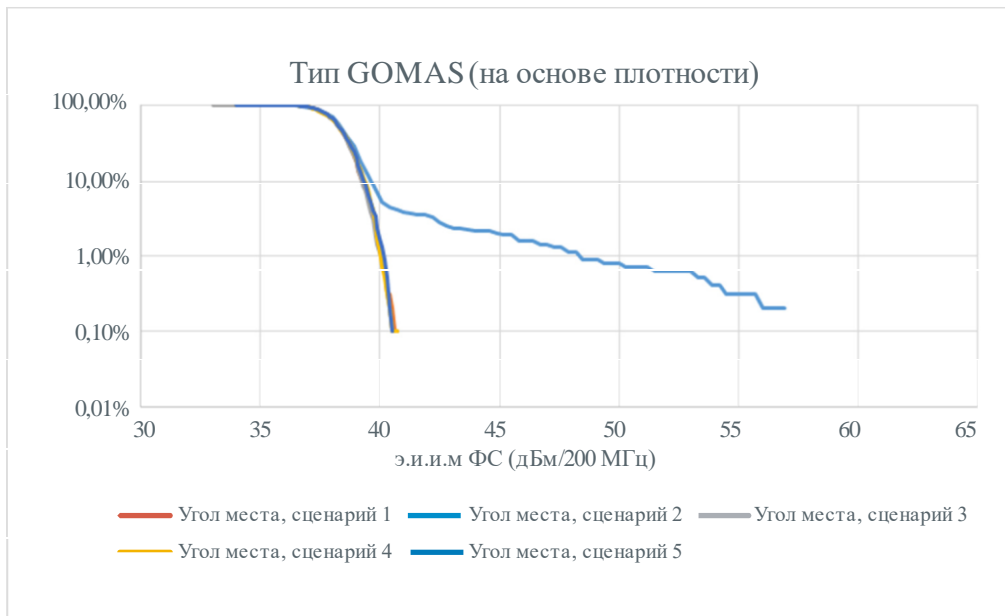
Report SM.2450- A4-35

Максимальная суммарная э.и.и.м. из приведенных выше рисунков 38,6 дБм/200 МГц (без учета пикового значения из сценария 2).

е) **Сценарий суммарных помех для датчика типа GOMAS (надирного сканирования)**

РИСУНОК А4-36

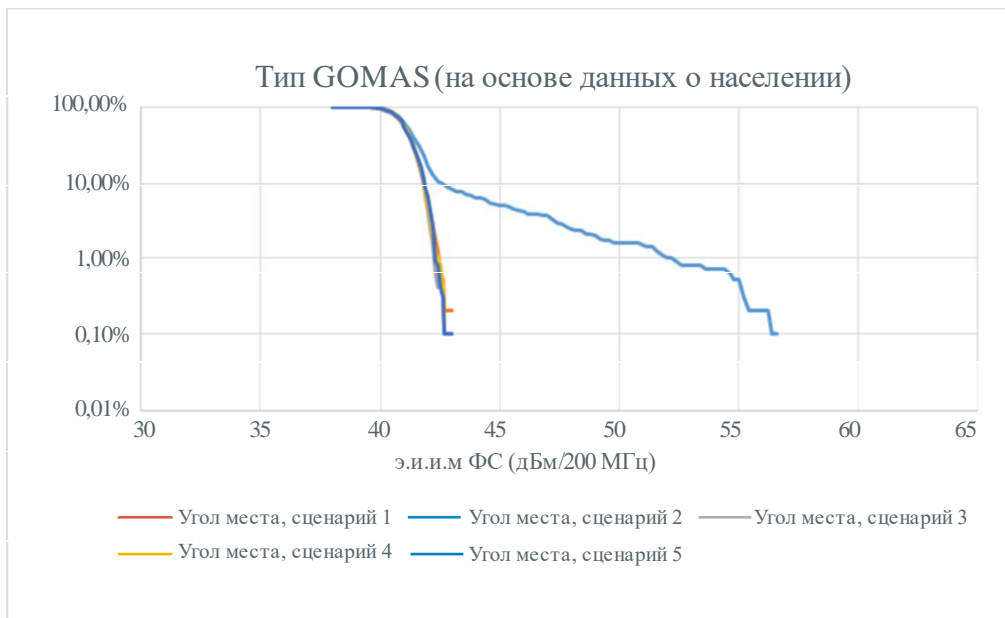
э.и.и.м. ФС у земной поверхности для датчика типа GOMAS (на основе плотности)



Report SM.2450- A4-36

РИСУНОК А4-37

э.и.и.м. ФС у земной поверхности для датчика типа GOMAS (на основе данных о населении)



Report SM.2450- A4-37

Максимальная суммарная э.и.и.м. из приведенных выше рисунков 43 дБм/200 МГц (без учета пикового значения из сценария 2).

f) **Сценарий суммарных помех для датчика типа GOMAS (с малым углом места)**

РИСУНОК А4-38

э.и.и.м. ФС у земной поверхности для датчика типа GOMAS (с малым углом места)
(на основе плотности)

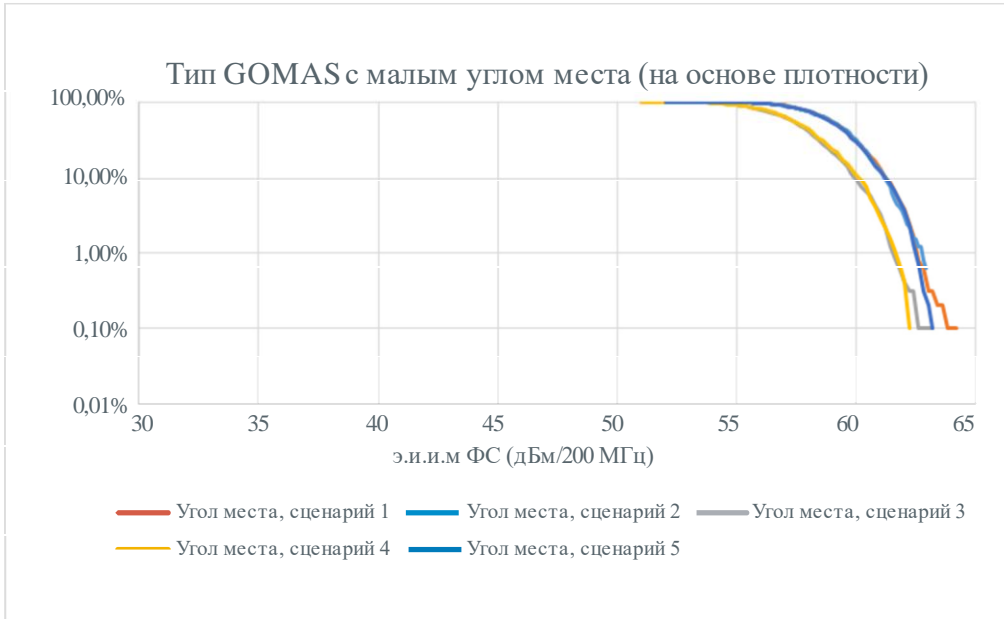
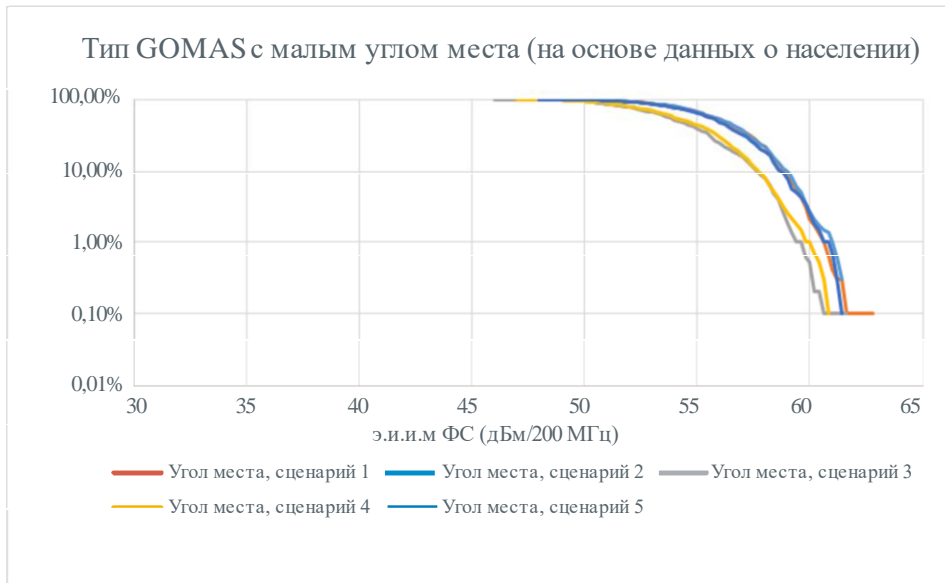


РИСУНОК А4-39

э.и.и.м. ФС у земной поверхности для датчика типа GOMAS (с малым углом места)
(на основе данных о населении)



Максимальная суммарная э.и.и.м. из приведенных выше рисунков 64,2 дБм/200 МГц.

А4.6.4 Исследования совместного использования частот с конкретной системой ССИЗ (пассивной) (ICI)

В таблице А4-13 приведено максимальное значение э.и.и.м. ФС на земной поверхности в направлении спутников ССИЗ (пассивной) (выраженное в дБм/200 МГц) для обеспечения защиты датчика ICI в полосе 313–356 ГГц. Атмосферные потери рассчитаны в соответствии с моделью, представленной в Рекомендации МСЭ-R P.676. Разница в атмосферном затухании между описанными выше различными каналами обусловлена изменением профиля водяного пара в зависимости от частоты.

ТАБЛИЦА А4-13

Максимальный уровень помех у земной поверхности для системы ICI

Система ССИЗ	ICI-1L	ICI-2L	ICI-3L	ICI-4L	ICI-5L	ICI-6L
Частота (ГГц)	315,65	321,65	323,65	326,65	327,45	334,65
Тип датчика	Конического сканирования	Конического сканирования	Конического сканирования	Конического сканирования	Конического сканирования	Конического сканирования
Высота орбиты (км)	817	817	817	817	817	817
Угол относительно надира (градусы)	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0
Длина наклонной трассы (км)	1563	1563	1563	1563	1563	1563
Потери в свободном пространстве (дБ)	206,3	206,5	206,5	206,6	206,6	206,8
Угол места на земной поверхности (градусы)	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7
Потери в атмосфере (дБ)	22,4	48,4	90,3	92,5	65,2	28,1
Усиление антенны (дБи)	55	55	55	55	55	55
Критерии защиты (дБВт/200 МГц)	-158	-158	-158	-158	-158	-158
Распределение (дБ)	3	3	3	3	3	3
Максимальный уровень помех на земной поверхности (дБВт/200 МГц)	42,7	68,9	110,8	113,1	85,8	48,9

Согласно результатам анализа, приведенным в п. А4.6.3, выше, ожидаемые максимальные значения э.и.и.м. ФС на земной поверхности составляют:

- 1) сценарий единичных помех – 60 дБм/200 МГц;
- 2) сценарий суммарных помех – 59,8 дБм/200 МГц.

Выводы для ICI в полосе частот 313–356 ГГц

Приведенные выше результаты показывают, что развертывание ФС несовместимо с работой датчика ICI, если учитывать его каналы 1 и 6.

И наоборот, полученные результаты указывают на то, что может быть обеспечена совместимость при использовании каналов 2–5.

А4.6.5 Общий анализ во всех полосах ССИЗ (пассивной)

Предполагается, что в каждой полосе частот разница в значениях потерь в свободном пространстве на нижней и верхней граничных частотах является пренебрежимо малой. Поэтому анализ проводится только на центральной частоте каждой полосы ССИЗ (пассивной).

Исходя из этого предлагается рассчитать для каждой полосы и всех пяти типовых датчиков ССИЗ (пассивной) максимальные чистые уровни помех на земной поверхности без учета атмосферного затухания.

Затем сравнивая полученный чистый уровень с максимальной мощностью ФС на земной поверхности (единичные и суммарные помехи), рассчитанной в п. 4, выше, можно определить минимальный требуемый уровень атмосферного затухания (с соответствующим углом места) для обеспечения защиты датчиков ССИЗ (пассивной).

Этот уровень затем может использоваться для определения минимального зенитного атмосферного затухания и сравнения его с уровнями, относящимися к каждой из полос частот, определенных согласно Рекомендации МСЭ-R P.676.

а) Полоса частот 296–306 ГГц

В таблице А4-14 приведено минимальное зенитное атмосферное затухание, требуемое для обеспечения защиты всех типов датчиков в полосе частот 296–306 ГГц.

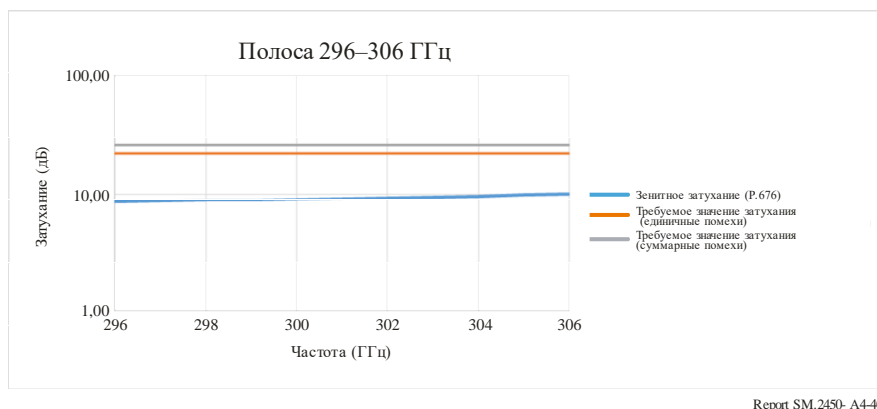
ТАБЛИЦА А4-14

Минимальное зенитное атмосферное затухание (296–306 ГГц)

Система ССИЗ		Тип ICI	Тип TWICE	Тип NADIR	Тип GOMAS	Тип GOMAS	
Центральная частота	ГГц	301	301	301	301	301	
Высота орбиты	км	817	400	817	35 684	35 684	
Угол относительно надира	градусы	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5	
Длина наклонной трассы	км	1563	706	817	35 684	40 197	
Потери в свободном пространстве	дБ	205,9	199,0	200,3	233,1	234,1	
Угол места на земной поверхности	градусы	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7	
Потери в атмосфере	дБ						
Усиление антенны	дБи	55	48	55	79	79	
Критерии защиты	дБВт/200 МГц	-160	-160	-160	-160	-160	
Распределение	дБ	3	3	3	3	3	
Максимальные помехи на земной поверхности	дБВт/200 МГц	17,9	18,0	12,3	21,1	22,1	
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (единичные помехи)	дБВт/200 МГц	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (суммарные помехи)	дБВт/200 МГц	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Требуемое атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	42,1	42,0	47,7	38,9	37,9	
Требуемое атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	41,9	38,3	26,3	21,9	42,1	MAX
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	18,3	22,2			8,3	22,2
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	18,2	20,3	26,3	21,9	9,2	26,3

РИСУНОК А4-40

Сравнение требуемых и указанных в Рекомендации Р.676 значений затухания (296–306 ГГц)



Данный рисунок показывает, что учета атмосферного затухания в полосе 296–306 ГГц недостаточно для обеспечения защиты ССИЗ (пассивной).

Следовательно, полоса 296–306 ГГц не может использоваться для ФС без особых условий.

б) Полоса частот 313–356 ГГц

В таблице А4-15 приведено минимальное зенитное атмосферное затухание, требуемое для обеспечения защиты всех типов датчиков в полосе частот 313–356 ГГц.

ТАБЛИЦА А4-15

Минимальное зенитное атмосферное затухание (313–356 ГГц)

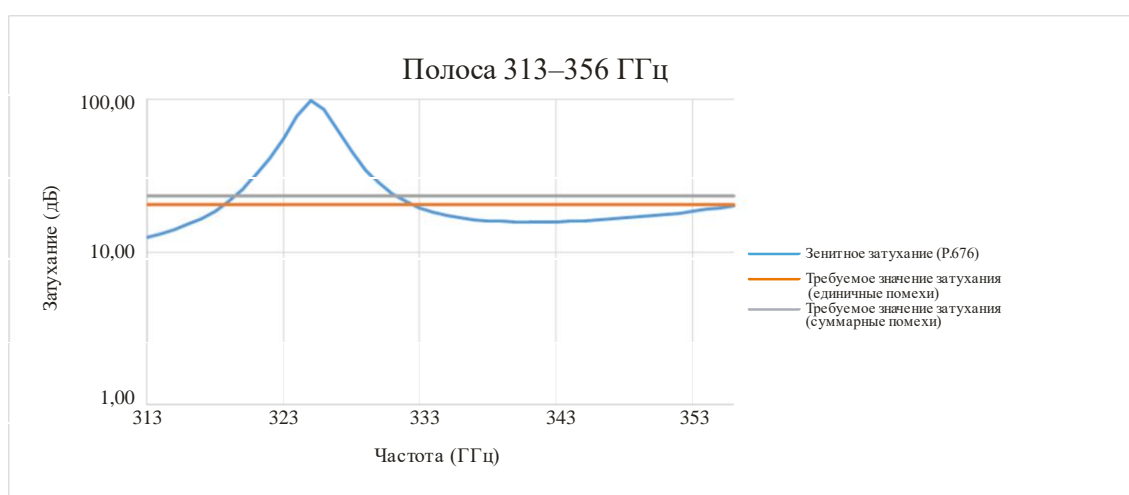
Система ССИЗ		Тип ICI	Тип TWICE	Тип NADIR	Тип GOMAS	Тип GOMAS
Центральная частота	ГГц	334,5	334,5	334,5	334,5	334,5
Высота орбиты	км	817	400	817	35 684	35 684
Угол относительно надира	градусы	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5
Длина наклонной трассы	км	1563	706	817	35 684	40 197
Потери в свободном пространстве	дБ	206,8	199,9	201,2	234,0	235,0
Угол места на земной поверхности	градусы	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7
Потери в атмосфере	дБ					
Усиление антенны	дБи	55	48	55	79	79
Критерии защиты	дБВт/200 МГц	-158	-158	-158	-158	-158
Распределение	дБ	3	3	3	3	3
Максимальные помехи на земной поверхности	дБВт/200 МГц	20,8	20,9	15,2	24,0	25,0
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (единичные помехи)	дБВт/200 МГц	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0

ТАБЛИЦА А4-15 (окончание)

Система ССИЗ		Тип ICI	Тип TWICE	Тип NADIR	Тип GOMAS	Тип GOMAS	
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (суммарные помехи)	дБВт/200 МГц	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Требуемое атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	39,2	39,1	44,8	36,0	35,0	
Требуемое атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	39,0	35,4	23,4	19,0	39,2	MAX
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	17,0	20,7			7,7	20,7
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	16,9	18,7	23,4	19,0	8,6	23,4

РИСУНОК А4-41

Сравнение требуемых и указанных в Рекомендации Р.676 значений затухания (313–356 ГГц)



Report SM.2450- A4-41

Данный рисунок показывает, что учета атмосферного затухания в полосе 313–356 ГГц недостаточно для обеспечения защиты ССИЗ (пассивной).

Однако полоса 320–331 ГГц (шириной 11 ГГц) может использоваться для систем ФС.

с) Полоса частот 361–365 ГГц

В таблице А4-16 приведено минимальное зенитное атмосферное затухание, требуемое для обеспечения защиты всех типов датчиков в полосе частот 361–365 ГГц.

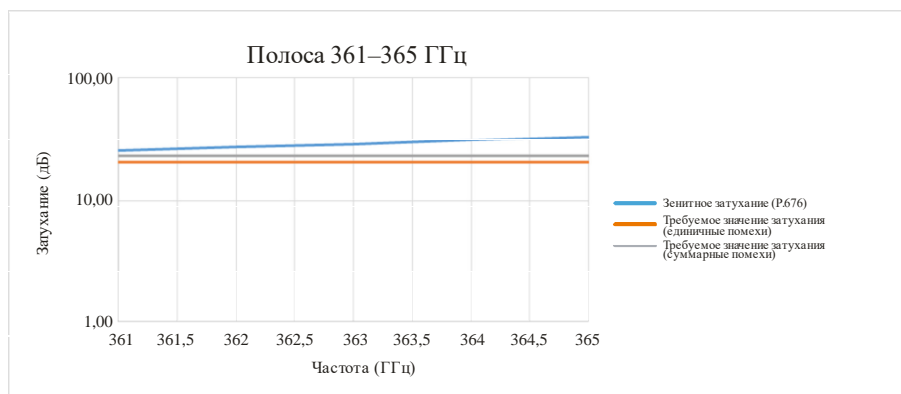
ТАБЛИЦА А4-16

Минимальное зенитное атмосферное затухание (361–365 ГГц)

Система ССИЗ		Тип ICI	Тип TWICE	Тип NADIR	Тип GOMAS	Тип GOMAS	
Центральная частота	ГГц	363	363	363	363	363	
Высота орбиты	км	817	400	817	35 684	35 684	
Угол относительно надира	градусы	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5	
Длина наклонной трассы	км	1 563	706	817	35 684	40 197	
Потери в свободном пространстве	дБ	207,5	200,6	201,9	234,7	235,7	
Угол места на земной поверхности	градусы	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7	
Потери в атмосфере	дБ						
Усиление антенны	дБи	55	48	55	79	79	
Критерии защиты	дБВт/200 МГц	-158	-158	-158	-158	-158	
Распределение	дБ	3	3	3	3	3	
Максимальные помехи на земной поверхности	дБВт/200 МГц	21,5	21,6	15,9	24,7	25,7	
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (единичные помехи)	дБВт/200 МГц	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (суммарные помехи)	дБВт/200 МГц	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Требуемое атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	38,5	38,4	44,1	35,3	34,3	
Требуемое атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	38,3	34,7	22,7	18,3	38,5	MAX
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	16,7	20,3			7,5	20,3
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	16,6	18,3	22,7	18,3	8,4	22,7

РИСУНОК А4-42

Сравнение требуемых и указанных в Рекомендации Р.676 значений затухания (361–365 ГГц)



Report SM.2450- A4-42

Данный рисунок показывает, что учета атмосферного затухания в полосе 361–365 ГГц достаточно для обеспечения защиты ССИЗ (пассивной).

Полоса 361–365 ГГц может использоваться для систем ФС.

d) Полоса частот 369–392 ГГц

В таблице А4-17 приведено минимальное зенитное атмосферное затухание, требуемое для обеспечения защиты всех типов датчиков в полосе частот 369–392 ГГц.

ТАБЛИЦА А4-17

Минимальное зенитное атмосферное затухание (369–392 ГГц)

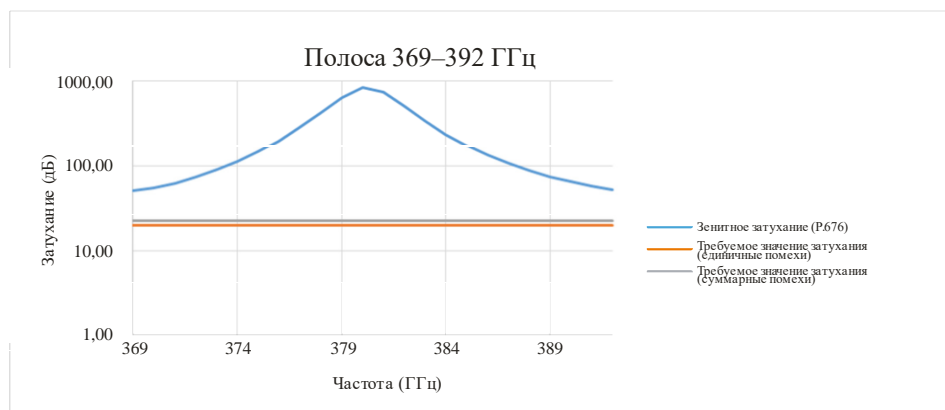
Система ССИЗ		Тип ICI	Тип TWICE	Тип NADIR	Тип GOMAS	Тип GOMAS
Центральная частота	ГГц	380,5	380,5	380,5	380,5	380,5
Высота орбиты	км	817	400	817	35 684	35 684
Угол относительно надира	градусы	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5
Длина наклонной трассы	км	1 563	706	817	35 684	40 197
Потери в свободном пространстве	дБ	207,9	201,0	202,3	235,1	236,1
Угол места на земной поверхности	градусы	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7
Потери в атмосфере	дБ					
Усиление антенны	дБи	55	48	55	79	79
Критерии защиты	дБВт/200 МГц	-158	-158	-158	-158	-158
Распределение	дБ	3	3	3	3	3
Максимальные помехи на земной поверхности	дБВт/200 МГц	21,9	22,0	16,3	25,1	26,1
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (единичные помехи)	дБВт/200 МГц	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0

ТАБЛИЦА А4-17 (окончание)

Система ССИЗ		Тип ICI	Тип TWICE	Тип NADIR	Тип GOMAS	Тип GOMAS	
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (суммарные помехи)	дБВт/200 МГц	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Требуемое атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	38,1	38,0	43,7	34,9	33,9	
Требуемое атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	37,9	34,3	22,3	17,9	38,1	MAX
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	16,5	20,1			7,4	20,1
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	16,4	18,1	22,3	17,9	8,3	22,3

РИСУНОК А4-43

Сравнение требуемых и указанных в Рекомендации Р.676 значений затухания (369–392 ГГц)



Report SM.2450- A4-43

Данный рисунок показывает, что учета атмосферного затухания в полосе 369–392 ГГц достаточно для обеспечения защиты ССИЗ (пассивной).

Полоса 369–392 ГГц может использоваться для систем ФС.

е) Полоса частот 397–399 ГГц

В таблице А4-18 приведено минимальное зенитное атмосферное затухание, требуемое для обеспечения защиты всех типов датчиков в полосе частот 397–399 ГГц.

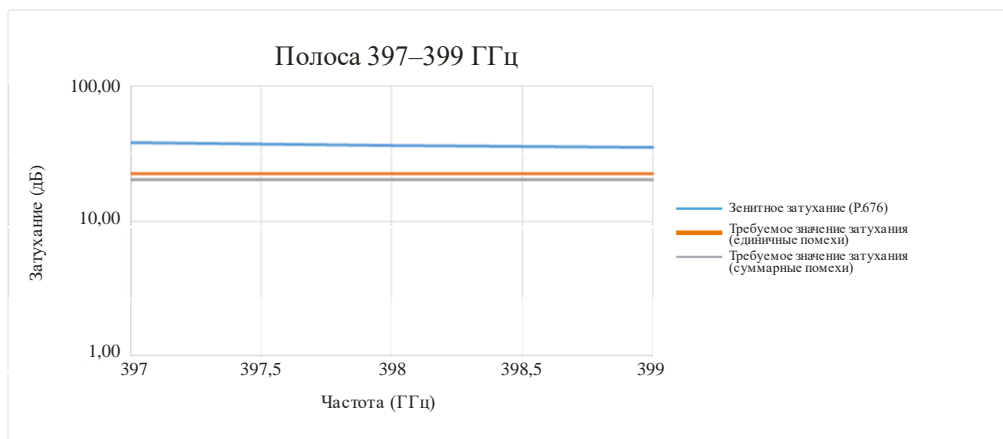
ТАБЛИЦА А4-18

Минимальное зенитное атмосферное затухание (397–399 ГГц)

Система ССИЗ		Тип ICI	Тип TWICE	Тип NADIR	Тип GOMAS	Тип GOMAS	
Центральная частота	ГГц	398	398	398	398	398	
Высота орбиты	км	817	400	817	35 684	35 684	
Угол относительно надира	градусы	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5	
Длина наклонной трассы	км	1 563	706	817	35 684	40 197	
Потери в свободном пространстве	дБ	208,3	201,4	202,7	235,5	236,5	
Угол места на земной поверхности	градусы	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7	
Потери в атмосфере	дБ						
Усиление антенны	дБи	55	48	55	79	79	
Критерии защиты	дБВт/200 МГц	-158	-158	-158	-158	-158	
Распределение	дБ	3	3	3	3	3	
Максимальные помехи на земной поверхности	дБВт/200 МГц	22,3	22,4	16,7	25,5	26,5	
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (единичные помехи)	дБВт/200 МГц	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (суммарные помехи)	дБВт/200 МГц	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Требуемое атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	37,7	37,6	43,3	34,5	33,5	
Требуемое атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	37,5	33,9	21,9	17,5	37,7	MAX
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	16,3	19,9			7,3	19,9
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	16,3	17,9	21,9	17,5	8,3	21,9

РИСУНОК А4-44

Сравнение требуемых и указанных в Рекомендации Р.676 значений затухания (397–399 ГГц)



Report SM.2450- A4-44

Данный рисунок показывает, что учета атмосферного затухания в полосе 397–399 ГГц достаточно для обеспечения защиты ССИЗ (пассивной).

Полоса 397–399 ГГц может использоваться для систем ФС.

ф) Полоса частот 416–434 ГГц

В таблице А4-19 приведено минимальное зенитное атмосферное затухание, требуемое для обеспечения защиты всех типов датчиков в полосе частот 416–434 ГГц.

ТАБЛИЦА А4-19

Минимальное зенитное атмосферное затухание (416–434 ГГц)

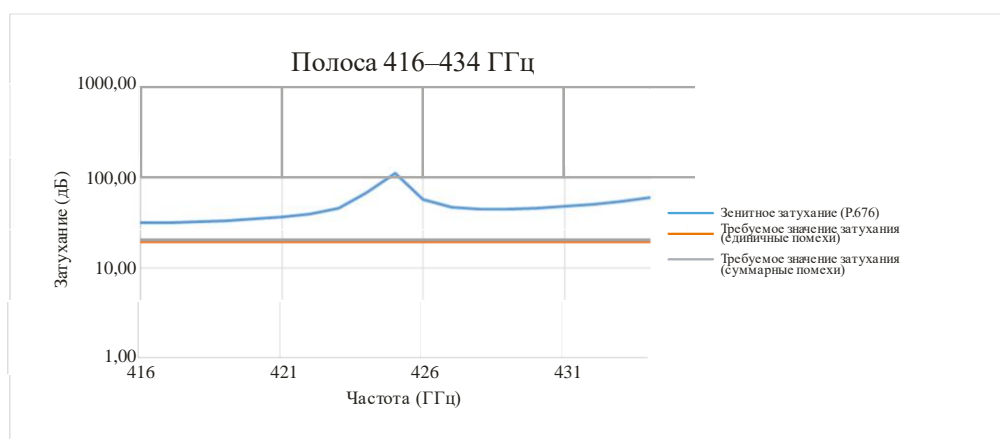
Система ССИЗ		Тип ICI	Тип TWICE	Тип NADIR	Тип GOMAS	Тип GOMAS
Центральная частота	ГГц	425	425	425	425	425
Высота орбиты	км	817	400	817	35 684	35 684
Угол относительно надира	градусы	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5
Длина наклонной трассы	км	1 563	706	817	35 684	40 197
Потери в свободном пространстве	дБ	208,9	202,0	203,3	236,1	237,1
Угол места на земной поверхности	градусы	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7
Потери в атмосфере	дБ					
Усиление антенны	дБи	55	48	55	79	79
Критерии защиты	дБВт/200 МГц	-157	-157	-157	-157	-157
Распределение	дБ	3	3	3	3	3
Максимальные помехи на земной поверхности	дБВт/200 МГц	23,9	24,0	18,3	27,1	28,1
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (единичные помехи)	дБВт/200 МГц	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0

ТАБЛИЦА А4-19 (окончание)

Система ССИЗ		Тип ICI	Тип TWICE	Тип NADIR	Тип GOMAS	Тип GOMAS	
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (суммарные помехи)	дБВт/200 МГц	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Требуемое атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	36,1	36,0	41,7	32,9	31,9	
Требуемое атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	35,9	32,3	20,3	15,9	36,1	MAX
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	15,7	19,0			7,0	19,0
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	15,6	17,1	20,3	15,9	7,9	20,3

РИСУНОК А4-45

Сравнение требуемых и указанных в Рекомендации Р.676 значений затухания (416–434 ГГц)



Report SM.2450- A4-45

Данный рисунок показывает, что учета атмосферного затухания в полосе 416–434 ГГц достаточно для обеспечения защиты ССИЗ (пассивной).

Полоса 416–434 ГГц может использоваться для систем ФС.

g) Полоса частот 439–467 ГГц

В таблице А4-20 приведено минимальное зенитное атмосферное затухание, требуемое для обеспечения защиты всех типов датчиков в полосе частот 439–467 ГГц.

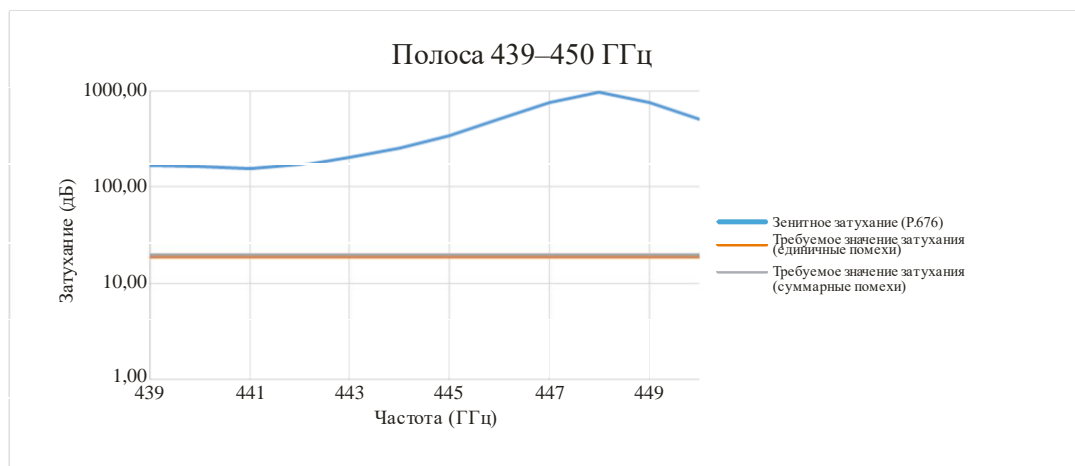
ТАБЛИЦА А4-20

Минимальное зенитное атмосферное затухание (439–467 ГГц)

Система ССИЗ		Тип ICI	Тип TWICE	Тип NADIR	Тип GOMAS	Тип GOMAS	
Центральная частота	ГГц	453	453	453	453	453	
Высота орбиты	км	817	400	817	35 684	35 684	
Угол относительно надира	градусы	53,0	53,0	0,0	0,0	8,5	
Длина наклонной трассы	км	1 563	706	817	35 684	40 197	
Потери в свободном пространстве	дБ	209,4	202,5	203,8	236,6	237,6	
Угол места на земной поверхности	градусы	25,7	31,9	90,0	90,0	12,7	
Потери в атмосфере	дБ						
Усиление антенны	дБи	55	48	55	79	79	
Критерии защиты	дБВт/200 МГц	-157	-157	-157	-157	-157	
Распределение	дБ	3	3	3	3	3	
Максимальные помехи на земной поверхности	дБВт/200 МГц	24,4	24,5	18,8	27,6	28,6	
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (единичные помехи)	дБВт/200 МГц	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	
Максимальная мощность ФС на земной поверхности (суммарные помехи)	дБВт/200 МГц	59,8	56,3	38,6	43,0	64,2	
Требуемое атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	35,6	35,5	41,2	32,4	31,4	
Требуемое атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	35,4	31,8	19,8	15,4	35,6	MAX
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (единичные помехи)	дБ	15,4	18,7			6,9	18,7
Эквивалентное требуемое зенитное атмосферное затухание (суммарные помехи)	дБ	15,3	16,8	19,8	15,4	7,8	19,8

РИСУНОК А4-46

Сравнение требуемых и указанных в Рекомендации Р.676 значений затухания (439–450 ГГц)



Report SM.2450- A4-46

Данный рисунок показывает, что учета атмосферного затухания в полосе 439–450 ГГц достаточно для обеспечения защиты ССИЗ (пассивной).

Полоса 439–450 ГГц может использоваться для систем ФС.

А4.6.6 Резюме результатов 5-го исследования

В целом в диапазоне частот 275–450 ГГц ФС не могут быть доступны следующие полосы, определенные в настоящее время для ССИЗ (пассивной) в п. 5.565 РР:

- 296–306 ГГц;
- 313–320 ГГц;
- 331–356 ГГц.

В остальных частях диапазона 275–450 ГГц может быть предусмотрено использование полос частот службой ФС.

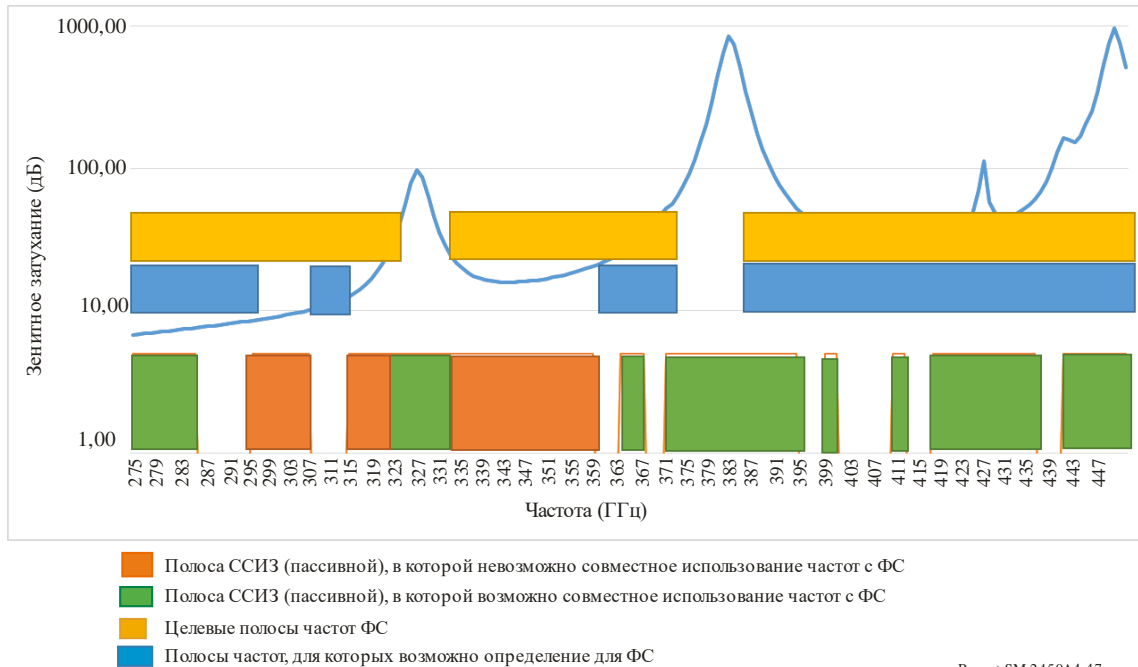
Таким образом, с учетом возможных целевых полос для ФС (275–320 ГГц, 330–370 ГГц и 380–445 ГГц) следующие полосы будут доступны для использования ФС:

- полоса 275–296 ГГц (ширина 21 ГГц), позволяющая обеспечить непрерывный блок спектра шириной 44 ГГц совместно с полосой 252–275 ГГц, уже распределенной службе ФС;
- 306–313 ГГц (ширина полосы 7 ГГц);
- 356–370 ГГц (ширина полосы 14 ГГц);
- 380–445 ГГц (ширина полосы 65 ГГц).

Этих полос вполне достаточно для удовлетворения потребностей в спектре ФС (50 ГГц).

Общий обзор ситуации приведен на рисунке А4-47.

РИСУНОК А4-47



Report SM.2450A4-47

А4.6.7 Приложение 1 к 5-му исследованию. Методика получения количества линий ФС исходя из показателей развертывания на основе данных о населении

А4.6.7.1 Конкретный район исследований

Район исследования определен следующим образом:

- центр в Париже (Франция);
- 340 км с востока на запад;
- 161 км с юга на север;
- суммарная площадь 54 740 кв. км.

Данный район описывается на рисунке А4-48, ниже.

РИСУНОК А4-48



Report SM.2450-A4-48

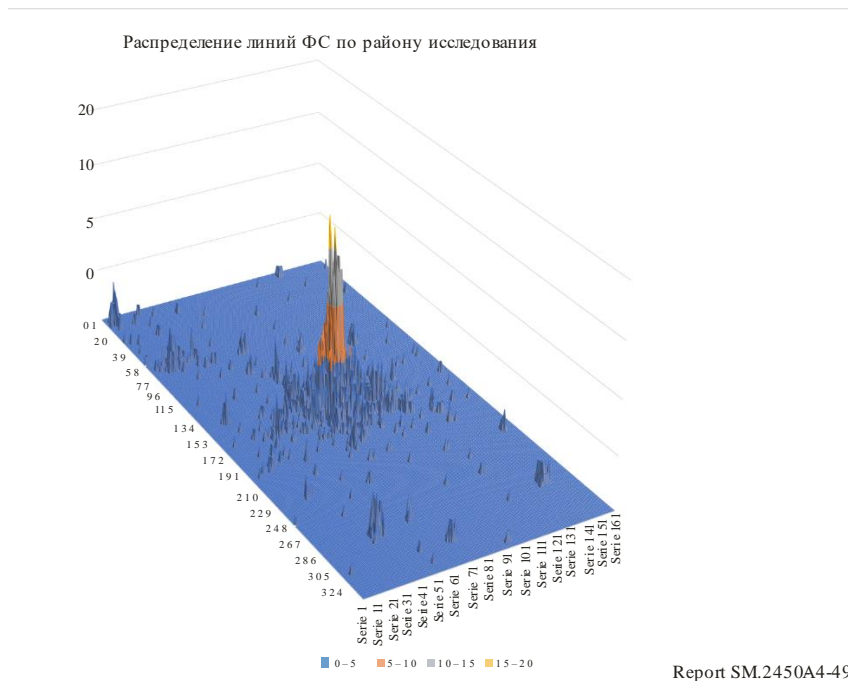
А4.6.7.2 Пространственное распределение линий связи ФС

С учетом указанных выше элементов линии ФС распределены в районе исследования.

Количество линий ФС на каждый квадратный километр определяется путем умножения числа жителей на показатель плотности линий ФС на одного жителя (то есть 0,000351), а окончательная цифра округляется до ближайшего целого числа.

Всего в районе исследования распределено 4415 линий ФС. На рисунке А4-49 показано пространственное распределение этих линий ФС в районе исследования.

РИСУНОК А4-49

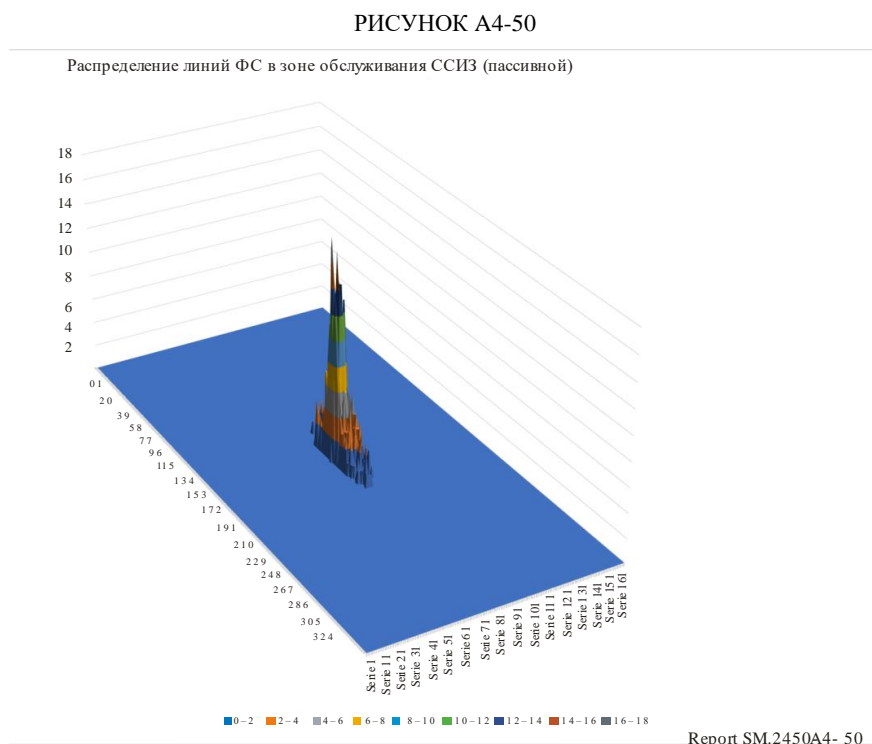


Report SM.2450A4-49

А4.6.7.3 Пространственное распределение линий связи ФС в зонах обслуживания ССИЗ (пассивной)

Для каждого из датчиков ССИЗ (пассивной) количество линий ФС в зоне обслуживания определяется путем размещения этой зоны обслуживания в центре района исследования.

На рисунке А4-50 показано пространственное распределение линий ФС по зоне обслуживания ССИЗ (пассивной) на примере системы GOMAS (с малым углом места). В результате в зоне обслуживания системы развернуты 1903 линии ФС.



В таблице А4-21 указано количество линий ФС в зоне обслуживания каждой системы ССИЗ (пассивной).

ТАБЛИЦА А4-21

	Тип ICI	Тип TWICE	Тип NADIR	Тип GOMAS (надирное сканирование)	Тип GOMAS (малый угол места)
Мгновенная зона обзора (кв. км)	200	50	30	110	890
На основе данных о населении (количество линий)	1 030	393	228	874	1 903

Приложение 5

Исследования совместного использования частот системами ФС и радиоастрономической службой

A5.1 Введение

В Отчете МСЭ-R RA.2189-1, посвященном совместному использованию частот радиоастрономической службой и активными службами в диапазоне 275–3000 ГГц, содержится вывод о том, что совместное использование частот радиоастрономической службой и активными службами в указанном диапазоне возможно при учете атмосферных характеристик в зависимости от высоты над уровнем моря и направленности передающей антенны. В Отчете отмечается, что станции РАС, как правило, расположены на больших высотах со значительно более низким атмосферным затуханием, чем на уровне моря, и подчеркивается важность оценки возможности совместного использования частот в каждом конкретном случае. Если это возможно с геометрической точки зрения, прямое облучение радиоастрономических станций передатчиками вблизи уровня моря, вероятно, приведет к гораздо большему влиянию атмосферного поглощения. Следовательно, снизятся требования к географическому разнесению для данной мощности передатчика. В настоящем Отчете системы СПС и ФС не рассматриваются по отдельности, а рассматривается только один уровень мощности передатчика типичной активной службы. Если планируется большое количество устройств, могут потребоваться более подробные исследования совместного использования частот, в том числе исследования влияния суммарных помех. В данном Приложении оценивается возможность совместного использования РАС и системами ФС и СПС в полосах частот, определенных для использования РАС в п. 5.565 РР, на основе конкретных параметров, представленных в п. 5 настоящего Отчета.

A5.2 1-е исследование. Совместимость между станциями РАС и ФС, работающими в полосе спектра 275–450 ГГц

A5.2.1 Допущения и геометрические конфигурации

Для ФС (см. Отчет МСЭ-R SM.2450 (Отчет), таблица 7, п. 5.2.1):

выходная мощность ФС 0–20 дБм;

ширина полосы ФС 24 ГГц;

диаграмма направленности антенны ФС – Рекомендация МСЭ-R F.699-7, $D/\lambda > 100$, пиковое усиление 50 дБи;

пиковая э.и.и.м. ФС 50–70 дБм.

Допущения по распространению радиоволн

Рекомендация МСЭ-R P.676-11: проведен расчет атмосферного затухания методом суммирования спектральных линий (см. рисунок А5.1).

Измеренные характеристики на телескопе ALMA при $h = 4,8$ км были использованы для определения входных параметров для Рекомендации МСЭ-R P.676: $T = 273$ К; $p_{\text{H}_2\text{O}} = 551$; $e(p_{\text{H}_2\text{O}}) = 1,14$. Измеренное значение зенитного затухания (ослабления в зените) на частоте 345 ГГц в сочетании с процедурой определения зенитного затухания по заданному погонному затуханию в окружающей среде на частотах ниже 350 ГГц (Рекомендация МСЭ-R P.676, п. 2.2) использовалось для получения погонного затухания в окружающей среде (дБ/км) на станции ALMA, как показано на рисунке А5-1.

Было проведено масштабирование до $h = 2,8$ км и до $h = 0$ с использованием стандартной высоты по шкале сухого воздуха 8,4 км и высоты по шкале H_2O 2 км, как указано в Рекомендации P.676 для более низких значений угла места.

Были использованы геометрические линии прямой видимости без учета потерь, связанных с отражением от препятствий, и потерь на входе в здание.

Критерии защиты радиоастрономической службы (см. п. 5.3)

Пороговые значения входной мощности из таблицы 9, столбец 8, с линейной интерполяцией по частоте.

Ширина полосы приемника РАС – 8 ГГц; только 1/3 мощности ФС принимается станцией РАС.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Критерии защиты РАС относятся к усилению 0 дБи и не зависят от ориентации или диаграммы направленности антенны РАС.

Выбор частот

Частота 275 ГГц иллюстрирует высокую прозрачность в нижней части полосы. Аспекты, применимые для этой частоты, в равной степени относятся к совместимости со станциями РАС, работающими в соседних полосах ниже 275 ГГц (п. 7.2.7 Отчета).

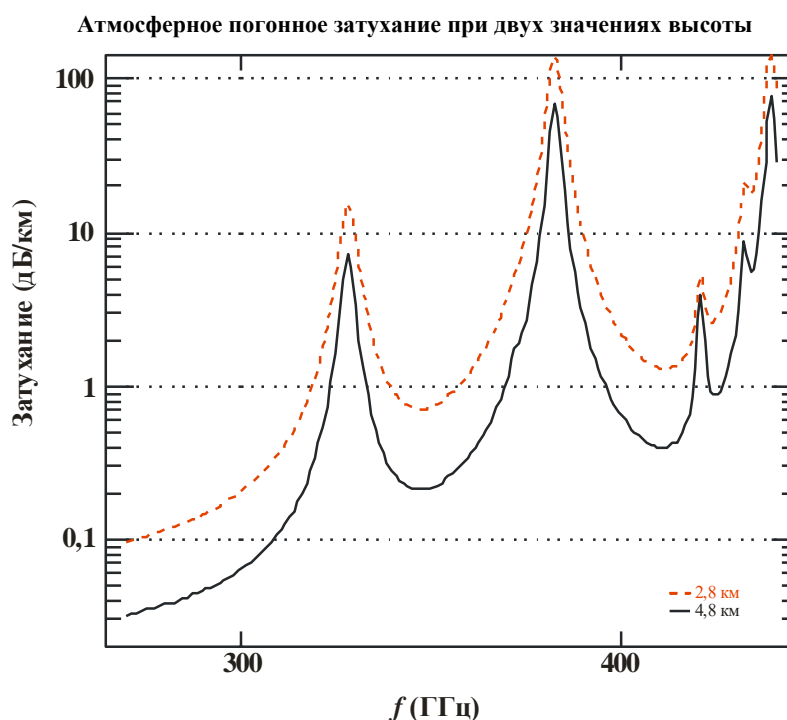
Частота 345 ГГц представляет первоочередной интерес для РАС, поскольку является собственной частотой перехода $J = 3-2$ монооксида углерода (СО).

Частота 412 ГГц иллюстрирует использование частоты вблизи верхней границы полосы, которая находится в атмосферном окне.

Геометрические конфигурации

Рассматриваются две геометрические конфигурации. Слева на рисунке А5-2 (для геометрической конфигурации) и на рисунке А5-3 (для результатов исследования распространения) работающие станции РАС и ФС находятся в одной плоскости на ровной поверхности, луч ФС является горизонтальным и учитываются переменные азимутальные углы ФС относительно антенны РАС. Для каждого азимутального угла рассчитывается минимальное расстояние, которое согласуется с критериями защиты РАС, учитывая потери на распространение, усиление антенны ФС и погонное затухание в дБ/км. Справа на рисунках А5-2 и А5-3 работающие станции РАС находятся на высоте h , а станции ФС – на высоте 0. Луч ФС фиксируется по азимуту системы РАС и движется вверх и вниз. Максимальный угол места антенны ФС рассчитывается для каждого горизонтального расстояния разноса в соответствии с критериями защиты РАС. Если совместимость обеспечить невозможно, график не строится.

РИСУНОК А5-1



Кривая для высоты 4,8 км была определена на основе измерения непрозрачности в зените на телескопе ALMA с данным углом места. Кривая для высоты 2,8 км была рассчитана на основе результатов ALMA с использованием стандартных значений высоты атмосферной шкалы.

A5.2.2 Результаты

A5.2.2.1 Работа на одной высоте

Результаты показаны в левой части рисунка A5-3 для геометрической конфигурации, представленной на рисунке A5-2 слева, где ФС и РАС работают на одной высоте: станции ALMA и "Южный полюс" достаточно крупные и позволяют обеспечить такую работу. Кроме того, на этих пустынных территориях нет потерь, связанных с отражением от препятствий. Расчеты достаточно просты; погонное затухание (дБ/км) является постоянным вдоль линии прямой видимости, разделяющей работающие станции РАС и ФС, и при каждом азимутальном угле луча ФС корнеискатель выполняет итерацию для нахождения расстояния, на котором соблюдаются критерии совместимости, учитывая соответствующую диаграмму направленности, указанную в Рекомендации МСЭ-R F.699.

Когда луч ФС направлен на станцию РАС, во всех случаях требуются большие расстояния разноса. Расстояния разноса менее 10 км возможны, если луч ФС отклоняется более чем на 10°–40° от направления на станцию РАС.

На рисунке A5-4 показано влияние изменения входной мощности антенны ФС. Когда луч ФС находится вблизи станции РАС, расстояния разноса велики, в потерях на трассе преобладают потери из-за атмосферного затухания и требуемое расстояние разноса медленно уменьшается при снижении мощности.

A5.2.2.2 Работа с большим углом места только для станций РАС

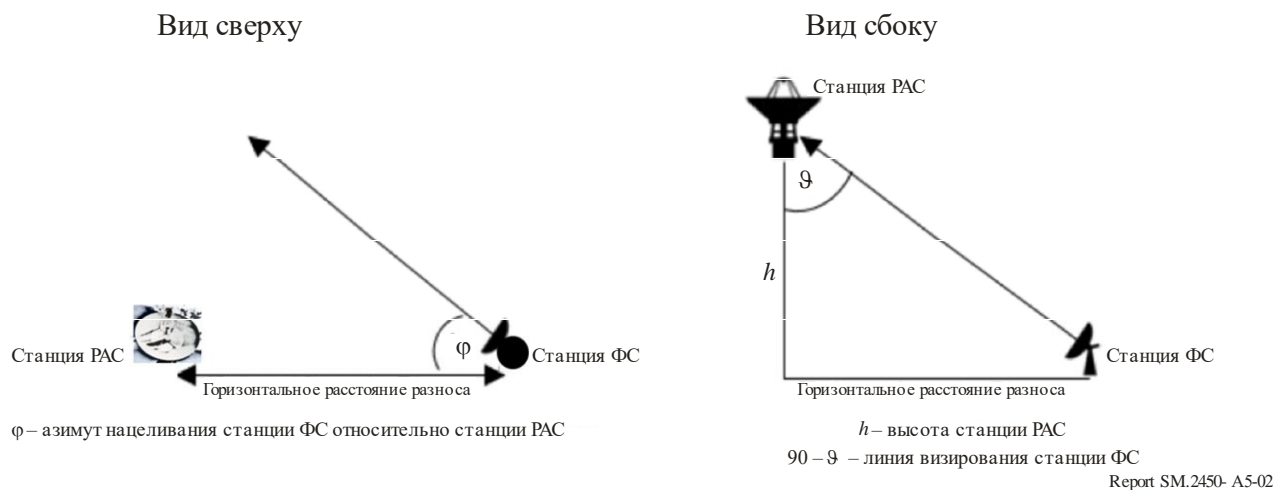
Результаты показаны в правой части рисунка A5-3 для геометрической конфигурации, представленной на рисунке A5-2 справа. При таком расположении радиотелескоп находится на высоте $h = 2,8$ км или $h = 4,8$ км, а станция ФС – на высоте $h = 0$. Луч ФС направлен азимутально на станцию РАС, а угол места луча ФС может изменяться вплоть до максимального значения, которое определяется численно и показано в виде вертикальной оси справа на рисунке A5-3. Затухание рассчитывается путем численного интегрирования вдоль наклонной трассы между работающими станциями ФС и РАС с использованием стандартных высот по шкале для таких компонентов атмосферы, как сухой воздух и водяной пар, согласно Рекомендации МСЭ-R P.676.

С увеличением горизонтального расстояния разноса возникает конкуренция, когда суммарные эффекты увеличения потерь на расходимость пучка в свободном пространстве и атмосферного затухания нейтрализуются, поскольку станция РАС расположена ближе к линии визирования горизонтально направленного луча ФС.

Работающие станции РАС при большом угле места экранированы от станций ФС при нулевом угле места на частоте 412 ГГц; работа ФС и РАС совместима на всех горизонтальных расстояниях разноса и углах места луча ФС. На частоте 275 ГГц работа ФС и РАС совместима только в тех случаях, когда горизонтальное расстояние разноса превышает 60 км. На промежуточной частоте для работы ФС требуется расстояние разноса, немного превышающее 1 км, при работе РАС на меньших углах места – при $h = 2,8$ км.

РИСУНОК А5-2

Пояснения по геометрическим конфигурациям, использованным на рисунке А5-3

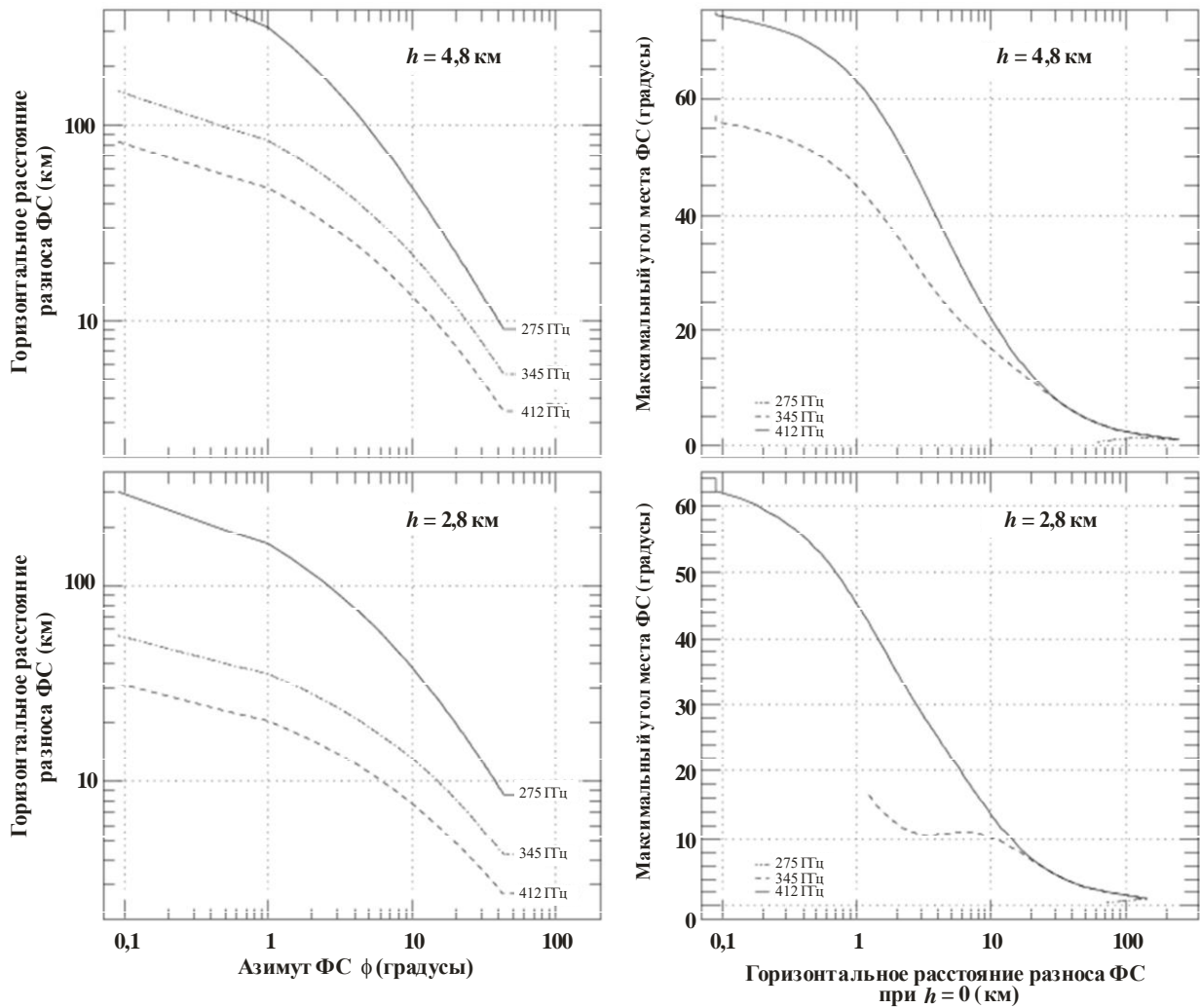


Слева. Вид сверху геометрической конфигурации, использованной на рисунке А5-3 слева. Станции PAC и FC работают на одной географической высоте, луч FC расположен горизонтально и направлен под азимутальным углом φ относительно радиотелескопа.

Справа. Вид сбоку геометрической конфигурации склона горы, использованной на рисунке А5-3 справа. Станции PAC работают на высоте h , а станции FC – на высоте $h = 0$, луч FC направлен на станцию PAC азимутально, а телескоп виден под углом линии визирования $90 - \theta$, когда луч FC направлен горизонтально.

РИСУНОК А5-3

Результаты расчетов для геометрических конфигураций, представленных на рисунке А5-2



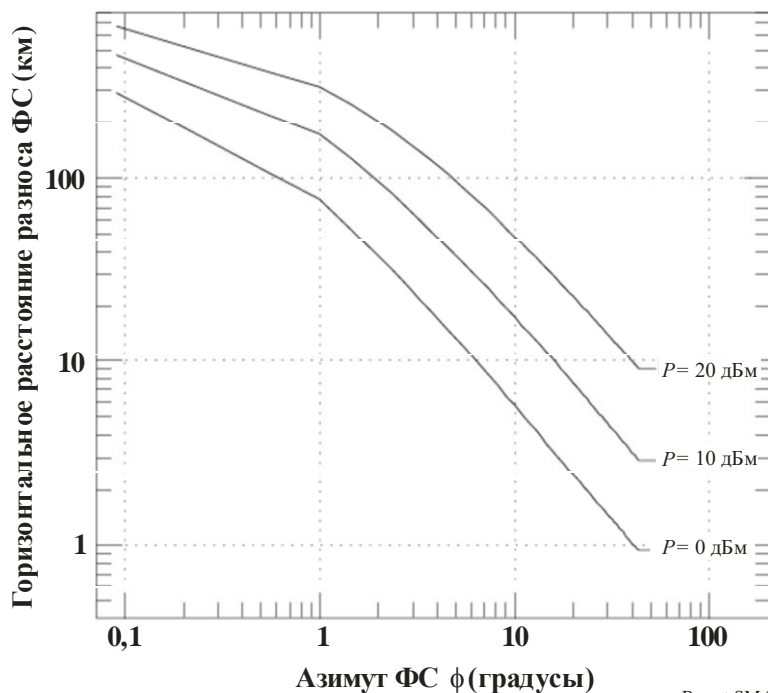
Report SM.2450- A5-03

Слева. Для геометрической конфигурации, представленной на рисунке А5-2 слева, где станции ФС и РАС работают с одним и тем же углом места, а луч ФС удерживается в горизонтальном положении при переменном азимуте. Требуемое расстояние разноса показано как функция азимутального угла ФС относительно антенны РАС. Представлены результаты на высоте 4,8 км в верхней части рисунка и высоте 2,8 км – в нижней, в обоих случаях для частот 275, 345 и 412 ГГц.

Справа. Для геометрической конфигурации, представленной на рисунке А5-2 справа, где станция ФС работает на географической высоте 0, а станция РАС – на высоте $h = 4,8$ км (вверху) или $h = 2,8$ км (внизу) и азимутальный угол антенны ФС равен 0 относительно станции РАС. Показан максимально допустимый угол места луча ФС для каждого горизонтального расстояния разноса. Если совместимость обеспечить невозможно, график не строится. Использование частоты 275 ГГц связано с наибольшими ограничениями. При $h = 2,8$ км угол места ФС должен быть ограничен 10° для горизонтального расстояния разноса ФС, превышающего 11 км. Однако при $h = 4,8$ км высота варьируется от 45° (расстояние разноса 1 км) до примерно 10° (расстояние разноса около 20 км). Дополнительные результаты расчетов для геометрической конфигурации показаны на рисунке А5-2.

РИСУНОК А5-4

Дополнительные результаты расчетов для геометрической конфигурации, показанной на рисунке А5-2. Расчет, приведенный в левом верхнем углу на рисунке А5-3 при $h = 4,8$ км и $f = 275$ ГГц, повторяется для входной мощности ФС, равной 0, 10 и 20 ГВт, при пиковом усилении антенны 50 дБи



Report SM.2450- A5-04

Расчет, приведенный в левом верхнем углу на рисунке А5-3 при $h = 4,8$ км и $f = 275$ ГГц, повторяется для входной мощности ФС, равной 0, 10 и 20 ГВт, при пиковом усилении антенны 50 дБи.

А5.2.3 Резюме

Недостаточно учитывать атмосферное поглощение, не зависящее от потерь в свободном пространстве, в полосе 275–450 ГГц для обеспечения совместимости работы ФС и РАС в отсутствие других факторов.

При работе станций на одной и той же географической высоте необходимо позаботиться о том, чтобы лучи ФС не были нацелены слишком близко к станции РАС. Величина угла избежания, помимо других переменных, будет зависеть от особенностей фактической диаграммы направленности ФС, которая используется в той или иной ситуации. При работе станций РАС на больших углах места в прямой видимости станций ФС, работающих на значительно меньших углах места, лучи ФС могут быть направлены по азимуту к станции РАС на всех частотах, пока угол места ФС не превышает 10° , до 11 км или на достаточных расстояниях по горизонтали.

Сценарии, включающие суммарные помехи от множества развернутых систем ФС, потребуют подробного моделирования с учетом особенности ситуации.

А5.3 2-е исследование. Анализ совместимости между ФС и РАС в полосе 275–325 ГГц

Как указано в Отчете МСЭ-R RA.2189, наихудший сценарий помех заключается в том, что передающие антенны станций СПС или ФС направляются непосредственно на радиотелескоп, причем и передатчик и телескоп находятся на большой высоте. Однако выходная мощность станций СПС и усиление антенны, как ожидается, будут намного ниже аналогичных параметров систем ФС. С учетом этого в следующем исследовании совместного использования частот основное внимание уделяется помехам между наружными станциями ФС и радиоастрономической службой.

A5.3.1 Станции РАС

В таблице 11 приведены сводные данные по радиоастрономическим станциям, расположенным, как правило, в высокогорных и изолированных районах. Например, расстояние между Гранадой (население 0,24 млн. человек) и Пико Велета, Греноблем (0,15 млн. человек) и Плато де Буре, Пуэбла (2,5 млн. человек) и Сьерра-Негра составляет соответственно 20, 60 и 90 км. В Гранаде и Гренобле из-за низкой численности населения не могут быть развернуты периферийные и транзитные линии связи в диапазоне 300 ГГц. Такие линии связи могут быть развернуты в густонаселенной городской зоне Пуэбла, однако другие два города не позволяют развернуть систему 300 ГГц из-за недостатка трафика. На рисунке A5-5 показан профиль рельефа местности между городом Пуэбла и расположенным в Сьерра-Негра большим миллиметровым телескопом. Существует возможность для трассы распространения по линии прямой видимости, длина которой составляет около 40 км.

РИСУНОК A5-5

Профиль рельефа местности между Пуэбла и LMT в Сьерра-Негра



Report SM.2450-A5-05

A5.3.2 Защита станций РАС от станций ФС, работающих в полосе 275–350 ГГц

На рисунке A5-6 показаны минимальные расстояния разноса между станцией ФС, выходная мощность которой составляет 20 дБм, а усиление антенны 50 дБ, как указано в таблице 7, и радиотелескопом. Аналогичный близкий к наихудшему наземный сценарий помех радиоастрономической службе, описанный в Отчете МСЭ-R RA.2189-1, также используется для расчета без учета атмосферного затухания в осадках и тумане, но для оценки расстояния разноса высота антенн ФС и РАС изменяется от 0 до 4000 м. Минимальное расстояние разноса рассчитывается при помощи уравнения (1):

$$P_R = P_T + G_T + G_R - P_L - P_{clutter} - A \geq SH, \quad (1)$$

где:

- P_R : мощность, принимаемая радиотелескопом;
- P_T : мощность передатчика ФС, указанная в таблице 2;
- G_T : усиление антенны ФС, указанное в таблице 2;
- G_R : усиление антенны радиотелескопа в направлении передатчика, принятое равным 0 дБи в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R RA.769;
- P_L : потери в свободном пространстве в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.525;

- Pclutter*: потери, вызываемые отражением от препятствий, как показано на рисунке А2-3;
A: атмосферное затухание в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.676;
SH: пороговый уровень недопустимых помех для радиоастрономических наблюдений в таблице 9.

Результаты расчетов наглядно показывают, что расстояние разноса менее 45 км, которое короче расстояния между Пуэбла и Сьерра-Негра и даже между Греноблем и Плато де Буре, может быть достигнуто, если при расчете учитывать расчетные потери, вызываемые отражением от препятствий, которые описаны в Приложении 2. Однако для расчета расстояния разноса предпочтительно учитывать полное распределение потерь, вызываемых отражением от препятствий. Поскольку в таблице 9 указаны только уровни недопустимых помех для радиоастрономических наблюдений на частотах 265 ГГц и 305 ГГц, уровни помех в диапазоне от 265 до 345 ГГц интерполируются с использованием линейной аппроксимации, как показано в таблице А5-1. Следует отметить, что экранирование местностью и отклонение направления антенны ФС от направления нацеливания на станцию РАС, а также уменьшение высоты станции ФС с 3000 м до 0 м позволяют дополнительно уменьшить расстояние разноса. На рисунке А5-7 показано расстояние разноса без учета потерь, вызываемых отражением от препятствий.

РИСУНОК А5-6

Минимальное расстояние разноса с учетом расчетных потерь, вызываемых отражением от препятствий, между станцией ФС и радиотелескопом, при котором не превышаются пороговые уровни помех радиоастрономической службе, приведенные в таблице А5-1

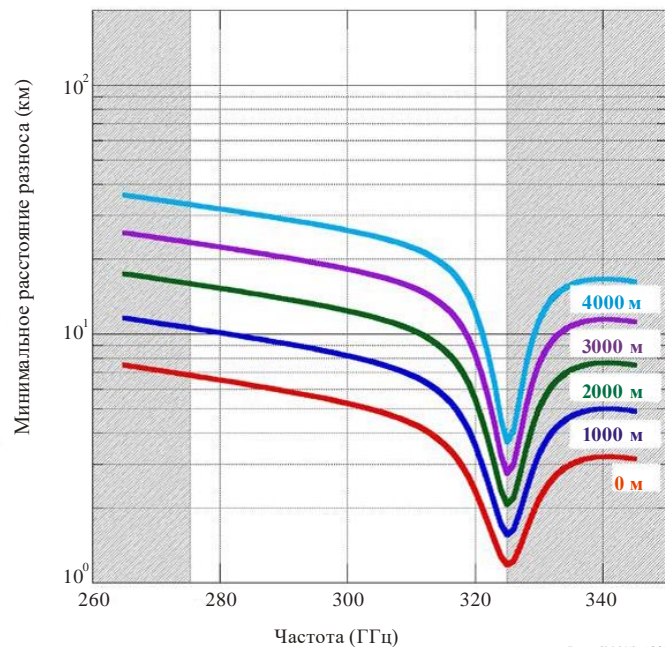


РИСУНОК А5-7

Минимальное расстояние разноса без учета потерь, вызываемых отражением от препятствий, между станцией ФС и радиотелескопом, при котором не превышаются пороговые уровни помех радиоастрономической службе, приведенные в таблице А5-1

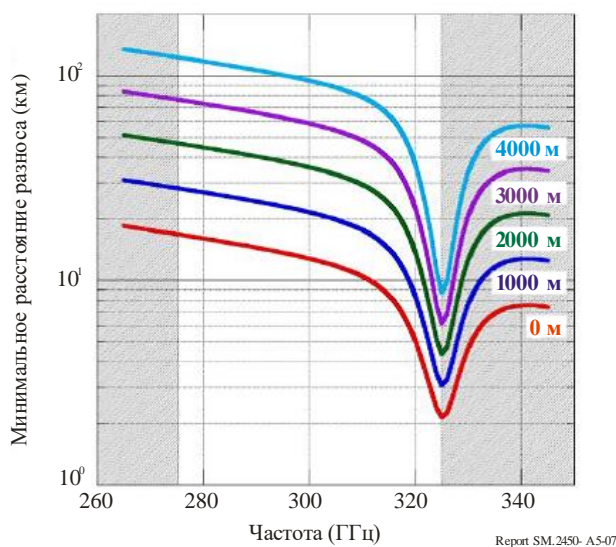


ТАБЛИЦА А5-1

Интерполяция пороговых уровней помех, рассчитанная на основе таблицы 9

Частота (ГГц)	S_H (дБ(Вт/(м ² · Гц)))	Частота (ГГц)	S_H (дБ(Вт/(м ² · Гц)))	Частота (ГГц)	S_H (дБ(Вт/(м ² · Гц)))
265	-195,4 ⁽¹⁾	295	-194,05	325	-192,7
270	-195,175	300	-193,825	330	-192,475
275	-194,95	305	-193,6	335	-192,25
280	-194,725	310	-193,375	340	-192,025
285	-194,5	315	-193,15	345	-191,8 ⁽¹⁾
290	-194,275	320	-192,925		

⁽¹⁾ Пороговые уровни для частот 265 ГГц и 345 ГГц взяты из таблицы 9, а остальные рассчитаны с помощью линейной интерполяции.

А5.3.3 Резюме 2-го исследования

Недостаточно учитывать атмосферное поглощение для обеспечения совместимости работы ФС и РАС в отсутствие других методов. Однако экранирование местностью и отклонение направления антенны ФС от направления нацеливания на станцию РАС, а также уменьшение высоты станции ФС с 3000 м до 0 м позволяют дополнительно уменьшить расстояние разноса. Эти особые условия необходимы для защиты станции РАС в каждом конкретном случае.

А5.4 3-е исследование. Защита станций РАС от станций ФС, работающих в полосе 275–450 ГГц

Расчеты произведены на основе уравнения (1), содержащегося во 2-м исследовании.

Подробная информация о расчетах для всех рассматриваемых сценариев приведена в таблице А5-2.

РИСУНОК А5-8

Минимальное расстояние разноса с учетом расчетных потерь, вызываемых отражением от препятствий, между станцией ФС и радиотелескопом, при котором не превышаются пороговые уровни помех радиоастрономической службе, приведенные в таблице 9 (наблюдение непрерывного спектра)

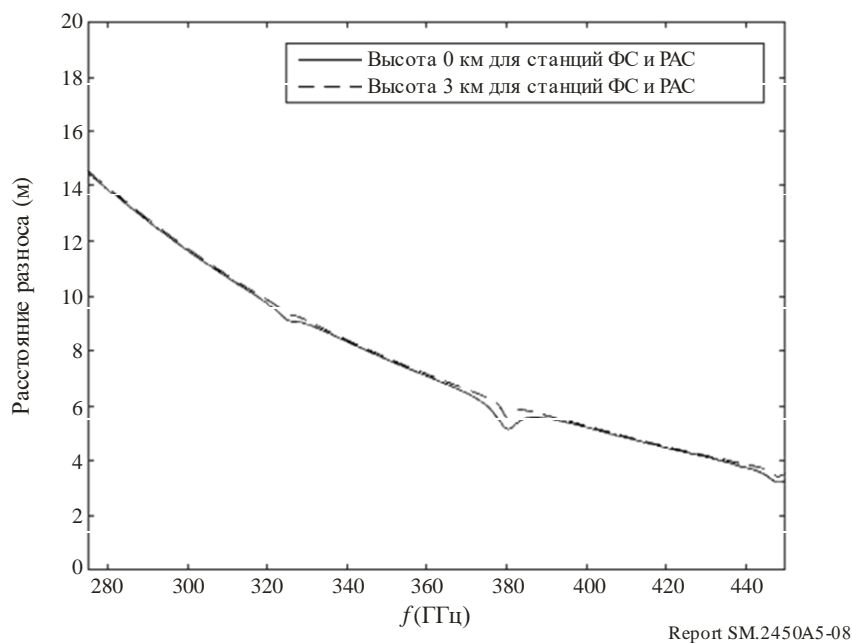


РИСУНОК А5-9

Минимальное расстояние разноса с учетом расчетных потерь, вызываемых отражением от препятствий, между станцией ФС и радиотелескопом, при котором не превышаются пороговые уровни помех радиоастрономической службе, приведенные в таблице 10 (наблюдение спектральных линий)

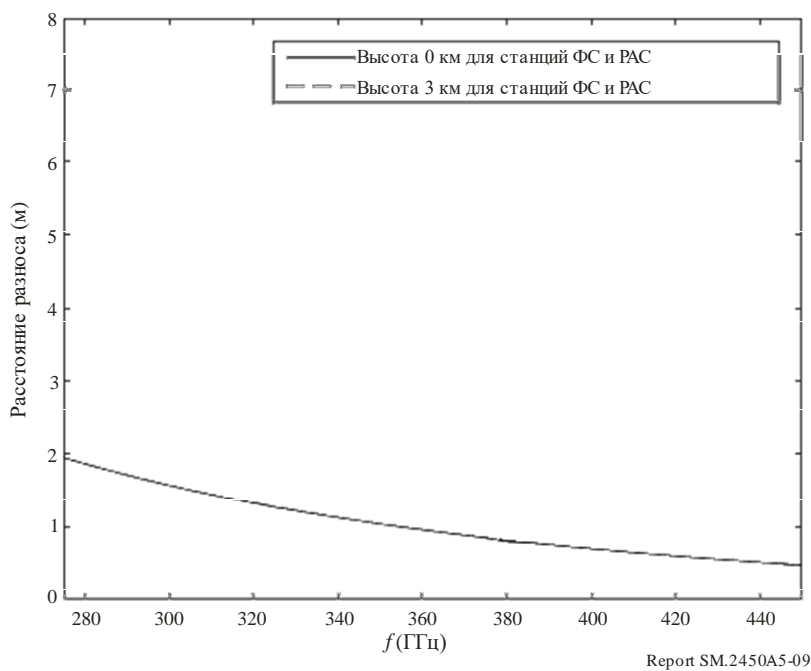


РИСУНОК А5-10

Минимальное расстояние разноса без учета потерь, вызываемых отражением от препятствий, между станцией ФС и радиотелескопом, при котором не превышаются пороговые уровни помех радиоастрономической службе, приведенные в таблице 9 (наблюдение непрерывного спектра)

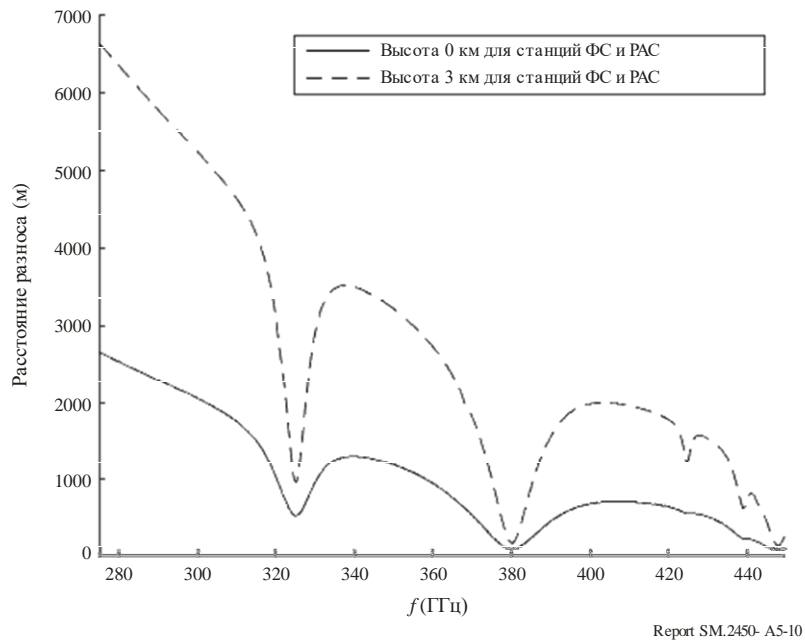


РИСУНОК А5-11

Минимальное расстояние разноса без учета расчетных потерь, вызываемых отражением от препятствий, между станцией ФС и радиотелескопом, при котором не превышаются пороговые уровни помех радиоастрономической службе, приведенные в таблице 10 (наблюдение спектральных линий)

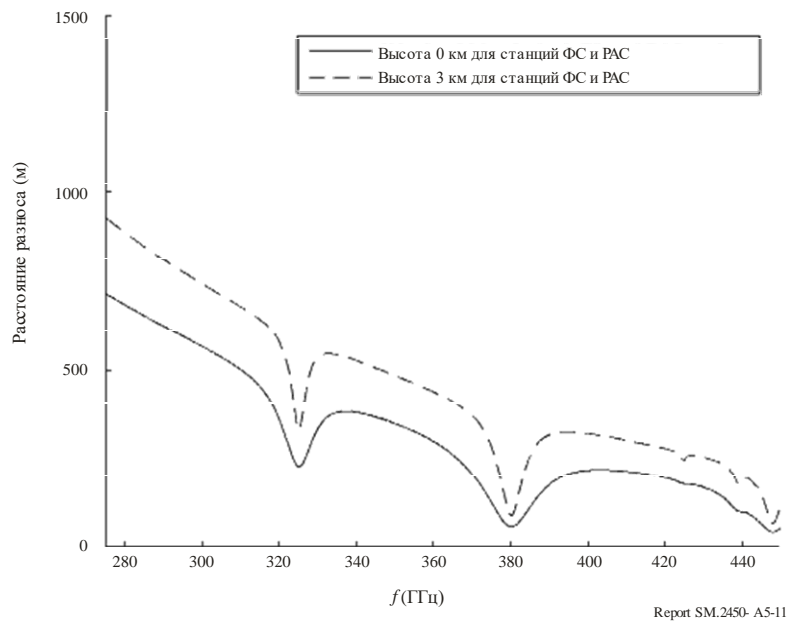


ТАБЛИЦА А5-2

Результаты расчетов расстояния разноса

Частота (Гц)	Максимальный уровень помех (дБВт/Гц)	PT + GT + + GR (дБВт/Гц)	Расстояние разноса (м)	Потери, вызываемые отражением от препятствий (дБ)	Потери в свободном пространстве (дБ)	Атмосферное затухание (дБ/км)
Наблюдение непрерывного спектра						
275 (высота 0 м)	-214,45	-53	14	47	102,69	3,6817
400 (высота 0 м)	-208,8295	-53	5,1	47	97,31	9,3321
275 (высота 3 км)	-214,45	-53	14	47	102,69	0,4274
400 (высота 3 км)	-208,8295	-53	5,1	47	97,31	2,2811
275 (высота 0 м)	-214,45	-53	2 660	0	149,68	3,6817
400 (высота 0 м)	-208,8295	-53	680	0	141,09	9,3321
275 (высота 3 км)	-214,45	-53	6 635	0	157,62	0,4274
400 (высота 3 км)	-208,8295	-53	1 980	0	150,37	2,2811
Наблюдение спектральных линий						
275 (высота 0 м)	-194,95	-53	2	47	83,98	3,6817
400 (высота 0 м)	-189,3295	-53	0,8	47	78,42	9,3321
275 (высота 3 км)	-194,95	-53	2	47	83,98	0,4274
400 (высота 3 км)	-189,3295	-53	0,8	47	78,42	2,2811
275 (высота 0 м)	-194,95	-53	720	0	138,33	3,6817
400 (высота 0 м)	-189,3295	-53	218	0	131,21	9,3321
275 (высота 3 км)	-194,95	-53	930	0	140,56	0,4274
400 (высота 3 км)	-189,3295	-53	320	0	134,54	2,2811

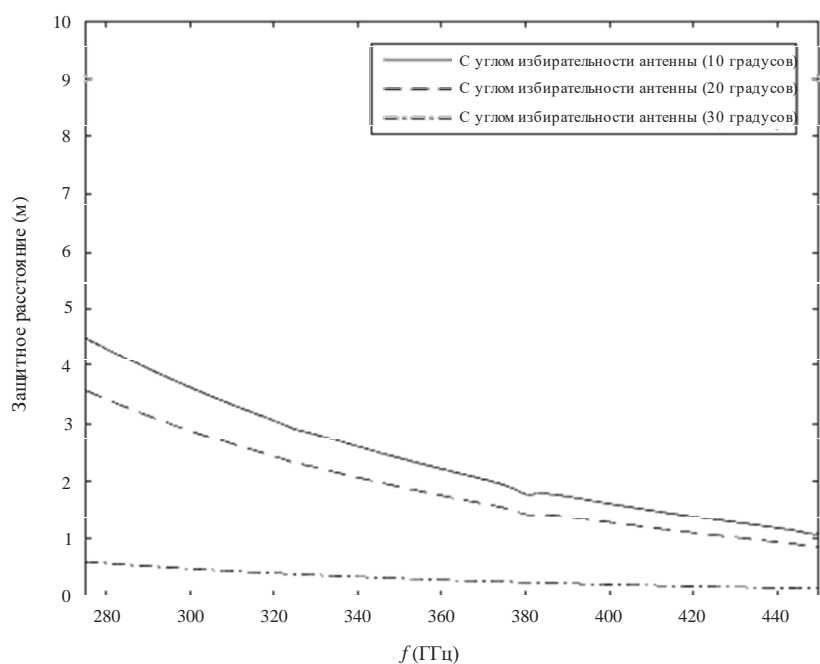
Следует также учитывать, что вероятность совпадения максимума диаграммы направленности антенны ФС с направлением на станцию РАС невелика (в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R F.699 при усилении антенны 50 дБ ширина главного лепестка антенны составляет 0,53°, а при усилении антенны 24 дБ – 10,6°).

На основании представленных результатов можно сделать предварительный вывод о том, что совместное использование частот ФС и ССИЗ (пассивной) возможно в диапазоне частот 275–450 ГГц с учетом условий распространения и с использованием экранирования местностью или отклонения направления антенны ФС от направления нацеливания на станцию РАС.

Кроме того, следует учитывать, что вероятность того, что максимум диаграммы направленности антенны ФС совпадает с направлением на станцию РАС, невелика (в соответствии с действующей в настоящее время версией Рекомендации МСЭ-R F.699 при усилении антенны 50 дБ ширина главного лепестка антенны составляет $0,53^\circ$, а при усилении антенны 24 дБ – $10,6^\circ$). На рисунках А5-12 и А5-13 приведены те же кривые, что и на рисунках А5-8 и А5-9, но для трех углов избирательности антенны ФС относительно направления на станцию РАС (10° , 20° и 30°).

РИСУНОК А5-12

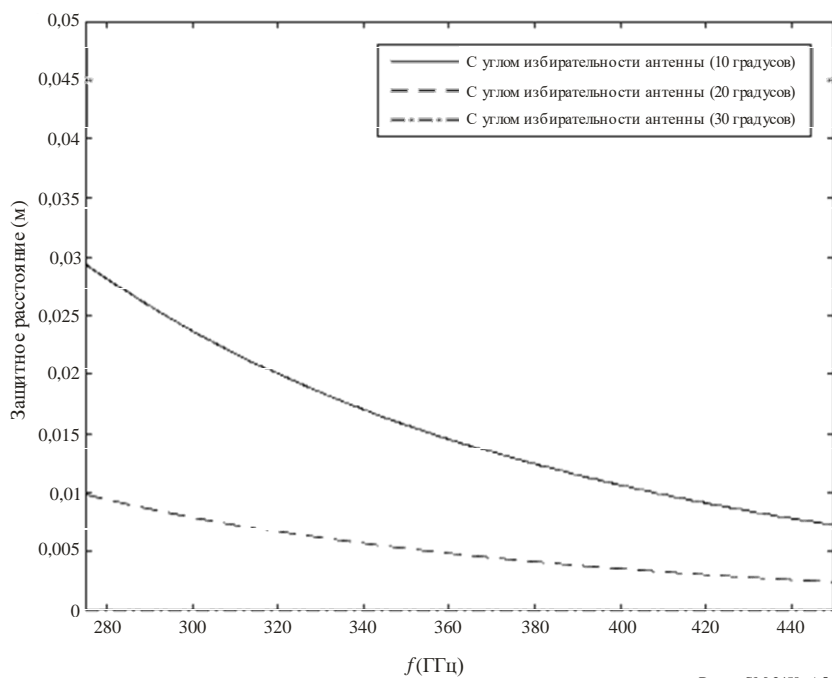
Минимальное расстояние разнosa с учетом расчетных потерь, вызываемых отражением от препятствий, между станцией ФС и радиотелескопом, при котором не превышаются пороговые уровни помех радиоастрономической службе, приведенные в таблице 9 (наблюдение непрерывного спектра), принимая во внимание угол избирательности антенны



Report SM.2450A5-12

РИСУНОК А5-13

Минимальное расстояние разноса с учетом расчетных потерь, вызываемых отражением от препятствий, между станцией ФС и радиотелескопом, при котором не превышаются пороговые уровни помех радиоастрономической службе, приведенные в таблице 10 (наблюдение спектральных линий), принимая во внимание угол избирательности антенны



Report SM.2450- A5-13

На основании представленных результатов можно сделать предварительный вывод о том, что совместное использование частот службами ФС и ССИЗ (пассивной) возможно в полосе частот 275–325 ГГц, а также в полосе частот 380–450 ГГц, но в полосе частот 380–450 ГГц совместное использование обеспечить проще, если учитывать условия распространения.