

ОТЧЕТ МСЭ-R RS.2095

**Совместное использование полосы частот 36–37 ГГц фиксированными и
подвижными службами и спутниковой службой
исследования Земли (пассивной)**

(2007)

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
1 Введение.....	2
2 Спутниковая служба исследования Земли (ССИЗ) (пассивная).....	2
2.1 Применения.....	2
2.2 Параметры пассивных датчиков	2
2.3 Критерии помех	4
3 Параметры фиксированной и подвижной служб	5
3.1 Фиксированная служба (ФС)	5
3.2 Подвижная служба (ПС)	6
4 Исследования при помощи моделирования	7
4.1 Общая методика моделирования	7
4.2 Исследование при помощи моделирования номер 1	7
4.3 Исследование при помощи моделирования номер 2	9
4.4 Исследование при помощи моделирования номер 3	11
4.4.1 Системы ФС "из пункта в пункт"	11
4.4.2 Системы ФС "из пункта во множество пунктов"	15
4.5 Исследование при помощи моделирования номер 4	17
4.6 Результаты исследования совместного использования частот	20
4.6.1 Совместное использование частот системами ФС и службой ССИЗ (пассивной).....	20
4.6.2 Совместное использование частот системами ПС и службой ССИЗ (пассивной).....	22
5 Способы уменьшения помех	22
5.1 ССИЗ (пассивная).....	22
5.2 ФС	24
5.3 ПС	26
6 Заключение и выводы	26
7 Справочные материалы	27

1 Введение

Целью настоящего Отчета является обобщение результатов исследования совместного использования полосы частот 36–37 ГГц фиксированной и подвижной службами и спутниковой службой исследования Земли (ССИЗ) (пассивной).

2 ССИЗ (пассивная)

2.1 Применения

Полоса частот 36–37 ГГц представляет особый интерес для измерения уровня осадков в виде дождя или снега, объемов океанского льда и водяных испарений. Данная полоса частот также называется окном. Данная полоса частот очень важна для получения точных сведений о круговороте воды в природе или гидрологическом цикле.

При измерении параметров поверхности должны быть выбраны каналы радиометрического окна, предназначенные для определения соответствующих ожидаемых параметров океанских поверхностей или поверхностей суши.

К главным параметрам океанских поверхностей, которые измеряются на поверхности океана, относятся: соленость воды, скорость ветра, дождевые облака, водяной пар и температура морской поверхности. Измерения дождевых облаков выполняются на частоте 36 ГГц. Для определения всех вышеприведенных главных параметров требуются пять частот (6, 10, 18, 24 и 36 ГГц).

Для поверхностей суши эта задача усложняется из-за существенного изменения характеристик суши по времени и пространству (от областей, покрытых снегом/льдом, до пустынь и влажных тропических лесов). На таких поверхностях измеряют следующие параметры: биомасса растительности, вода, содержащаяся в дождевых облаках, общий объем водяных испарений, влажность почвы и неровность поверхности. Использование частоты 36 ГГц позволяет исследовать содержимое водяных паров, из которых состоят облака, и областей, покрытых снегом. Было показано, что данная полоса частот является наиболее подходящей для обнаружения снега, и в течение последних 20 лет она используется для климатологических исследований снега, морского льда, влажности почвы, определения микроволнового индекса растительного покрова и температуры земной поверхности. Измерения на частоте 36 ГГц показали возможность определения эквивалента снеговой воды. Использование спутниковых методов дистанционного зондирования дает возможность дополнения и расширения обычных наземных измерений снега до регионального и глобального масштабов. В климатологических и гидрологических применениях существует постоянная необходимость определения эквивалента снеговой воды и его изменения на больших территориях. Кроме эквивалента снеговой воды, при помощи спутниковых микроволновых измерений с дистанционным зондированием также можно определить глубину снежного покрова, используя физические свойства микроволнового излучения.

В ходе измерений в полосе частот 36–37 ГГц также можно получить вспомогательные параметры для других устройств дистанционного зондирования. В настоящее время над поверхностями океана и суши на всемирной основе работают спутниковые радиолокационные высотомеры, решая важные задачи в области океанографии и климатологии. Для того чтобы при использовании высокоточных данных высотомеров исключить влияние преломления в атмосфере, требуется дополнить их результаты набором вспомогательных результатов пассивных измерений на частотах вблизи номиналов частот 18,7, 23,8 и 36,5 ГГц. В таком случае цель измерений на частоте 36 ГГц состоит в вычислении задержки распространения в тропосфере для увеличения точности данных, получаемых от высотомеров.

Следует заметить, что все вышеприведенные применения в настоящее время используются в полной мере.

2.2 Параметры пассивных датчиков

В таблице 1 приведены параметры пассивных датчиков конического сканирования, которые уже эксплуатируются или планируются для введения в эксплуатацию в полосе частот 36–37 ГГц, как показано на рисунке 1.

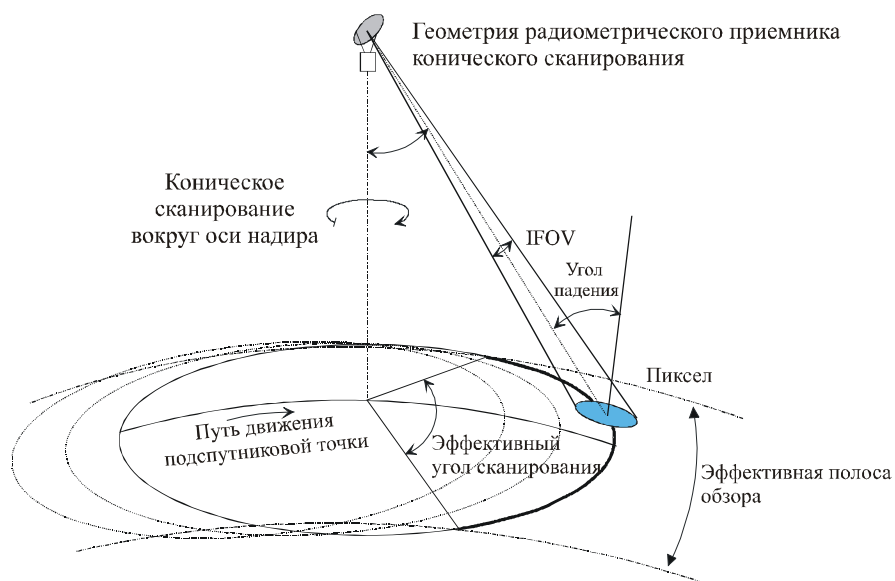
ТАБЛИЦА 1

Параметры пассивных датчиков

Тип датчика	MADRAS	AMSR-E	CMIS
Ширина полосы пропускания канала (ГГц)	1	1	1
Размер пиксела в области пути прохождения (диаметр пиксела) (км)	38	7,8	12
Угол падения i в центре площади проекции луча (градусы)	52,3	55	55,7°
Угол смещения к надиру или полуконический угол α (градусы)	44,5	47,5	47
Поляризация	Г	Г,В	Г,В
Высота спутника (км)	817	705	833
Максимальный коэффициент усиления антенны (дБи)	45	53	55
Диаметр отражателя (м)	0,65	1,6	2,2
Ширина луча антенны по половинной мощности θ_{3dB} (градусы)	1,8	0,4	0,52
Эффективная полоса обзора (км)	1 607	1 450	1 782
Диаграмма направленности антенны	Рис. 2	Рис. 3	н/д

РИСУНОК 1

Геометрия пассивных микроволновых радиометрических приемников конического сканирования

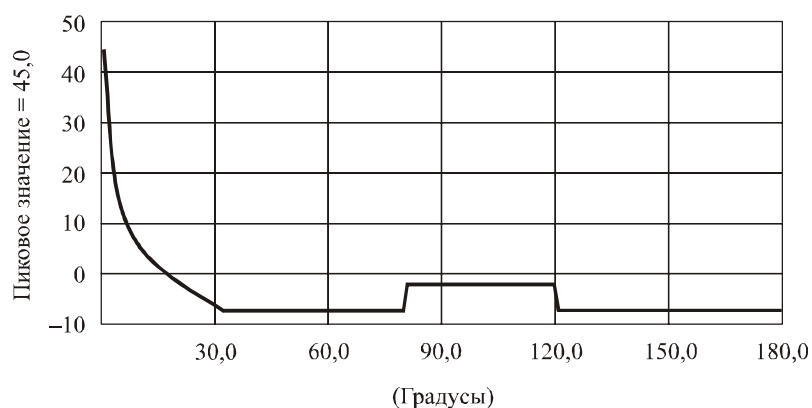


Отч 2095-01

Антенны пассивных датчиков моделируются в соответствии со следующими рисунками.

РИСУНОК 2

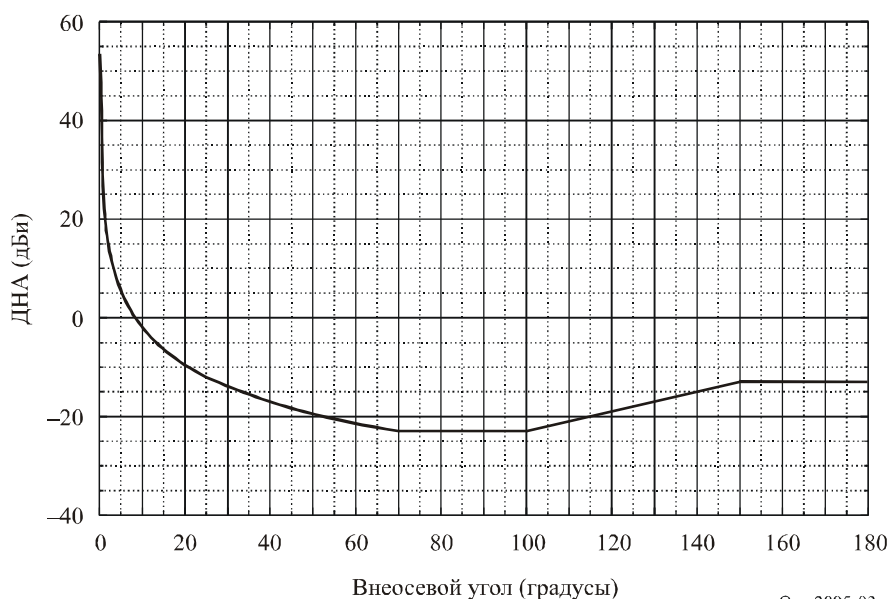
Диаграмма направленности антенны MADRAS на частоте 36 ГГц



Отч 2095-02

РИСУНОК 3

Диаграмма направленности антенны AMSR-E на частоте 36 ГГц



Отч 2095-03

2.3 Критерии помех

Рекомендация МСЭ-R RS.1029 "Критерии помех для спутникового пассивного дистанционного зондирования" во всех исследованиях по оценке помех или совместного использования частот рекомендует использовать допустимые уровни помех и эталонные значения ширины полосы. Допустимые уровни помех для полосы частот 36–37 ГГц составляют -156 дБВт в эталонной полосе шириной 100 МГц для современных пассивных датчиков и -166 дБВт в эталонной полосе шириной 100 МГц для пассивных датчиков, планируемых к вводу в эксплуатацию, которые обладают более высокой чувствительностью, чем работающие в настоящее время. Первое значение рекомендуется для условий совместного использования, действующих для датчиков, введенных в эксплуатацию до 2003 года; а второе значение предназначено для научных требований, которые будут технически достижимыми для датчиков в последующие 5–10 лет. Кроме того, в Рекомендации МСЭ-R RS.1029 указывается, что данные уровни помех не должны превышать более чем в 0,1% от области обзора датчика, которая описывается как область измерения земной поверхности, площадью 10 000 000 км², если не доказано иного.

3 Параметры фиксированной и подвижной служб

3.1 Фиксированная служба (ФС)

Системы ФС в данной полосе частот могут быть, как правило, разделены на системы "из пункта в пункт" или системы "из пункта во множество пунктов".

В таблице 2 приведены использованные в настоящем исследовании параметры системы "из пункта в пункт", которая может работать в полосе частот 36–37 ГГц.

ТАБЛИЦА 2
Параметры станции ФС "из пункта в пункт"

Параметр	ФС-1	ФС-2
Тип модуляции		O – QPSK
Расстояние между станциями (длина одного пролета) (км)	Примерно 2	От 0,5 до 20 "из пункта в пункт"
Емкость канала (Мбит/с)		2,048; 8,448; 34,368
Чувствительность приемника (КОБ до 10^{-6}) (дБВт)		До –117
Мощность передатчика (дБВт)	–18,24 дБВт/30 МГц (= 15 мВт/30 МГц)	От –13 до –7
Усиление антенны (дБи)	37	39–42
Диаметр антенны (м)		0,4–0,5
Тип антенны		Параболическая
Диаграмма направленности антенны		Рек. МСЭ-R F.1245
Максимальные потери в фидере (дБ)		0,5
Частотный план		Рек. МСЭ-R F.749

В таблице 3 приведены параметры одного возможного типа наземной станции "из пункта во множество пунктов", которая может работать в полосе частот 36–37 ГГц.

ТАБЛИЦА 3
Параметры станции ФС "из пункта во множество пунктов"

Параметр	Центральная станция (узел)	Абонентская станция
Модуляция	QPSK	
Способ доступа	Временное разделение каналов (ВРК)	
Ширина полосы/несущая (МГц)	28	28
Тип антенны	Секторная антенна	Параболическая
Усиление антенны (дБи)	17	39
Ширина диаграммы направленности антенны (градусы)	45	1,4
Количество активных несущих/секторов	4	4

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

Параметр	Центральная станция (узел)	Абонентская станция
Количество секторов	8	–
Длина трассы (км)	0,1 – 6	
Максимальная мощность передачи на несущую (дБВт)	–5	–10
Потери на линии принимающей системы (дБ)	0	0

3.2 Подвижная служба (ПС)

В таблице 4 приведены технические характеристики систем ПС, работающих в полосе частот 36–37 ГГц. При моделировании использовалась диаграмма направленности антенны из Рекомендации МСЭ-R F.1245 "Математическая модель усредненных значений диаграммы направленности антенны для радиорелейных систем прямой видимости "из пункта в пункт", предназначенная для исследований вопросов координации и оценки помех в полосе частот от 1 до примерно 70 ГГц".

Системы ПС-1 и ПС-2 используются, главным образом, в передвижных применениях для передачи видеосигнала. Соответствующий им коэффициент использования составляет 3%.

В европейских странах полоса частот 36–37 ГГц распределена фиксированной и подвижной службам правительственного применения. Из-за особенностей использования система ПС-3, которая применяется для работы в государственных сетях связи "из пункта в пункт", может считаться системой ПС, поскольку она является носимой. Отмечается, что характеристики таких станций ПС очень похожи на характеристики станции ФС, использованные при динамическом моделировании, так что выводы, полученные в исследованиях для ФС, как правило, могут применяться к ПС.

ТАБЛИЦА 4

Параметры станции подвижной службы

Параметр	ПС-1	ПС-2	ПС-3
Мощность на входе антенны	–7 дБВт/17 МГц (= 0,2 Вт/17 МГц)	–3 дБВт/17 МГц (= 0,5 Вт/17 МГц)	–10 дБВт (макс) –15 дБВт (обычная)
Коэффициент усиления антенны (дБи)	37	37	44 (обычный)
Диаметр антенны (м)	0,3	0,3	0,3
Тип антенны	Параболическая/ антенна Кассегрена	Параболическая	Параболическая
Потери в фидере (дБ)	0	0	0
Поляризация	Г/В	Г	Г/В
Ширина луча по уровню 3 дБ (градусы)	2	2	1

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Углы места не определены из-за подвижного применения. Это значит, что передающая антенна может иметь любые углы места и азимута. Однако во время работы антенна зафиксирована.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – ПС-1: Работает более 30 передающих станций, и на территории некоторых администраций не предвидится резкого увеличения числа станций. ПС-2: Работает больше одной передающей станции, и на территории некоторых администраций не предвидится резкого увеличения числа станций.

4 Исследования при помощи моделирования

4.1 Общая методика моделирования

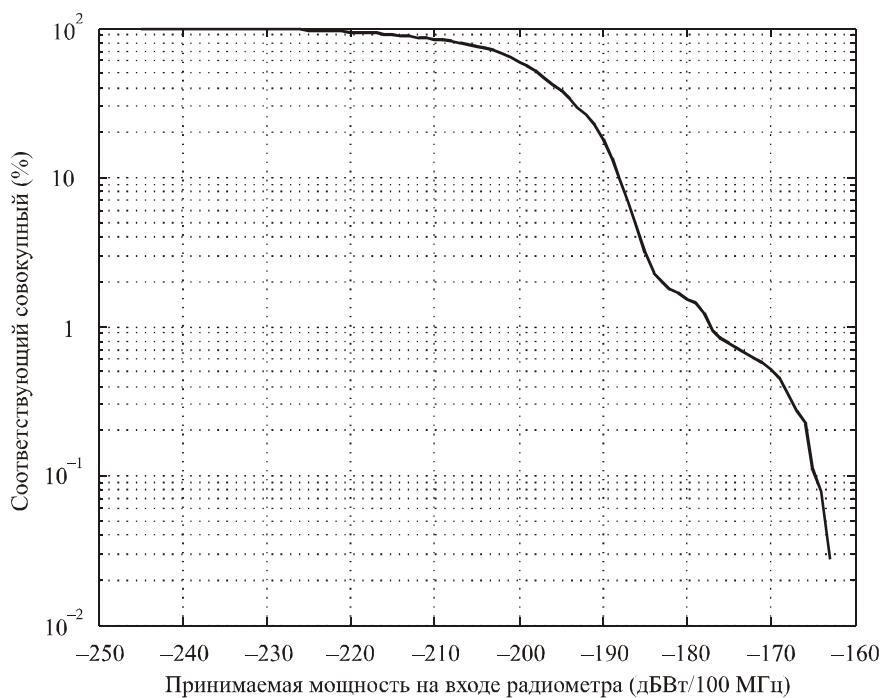
В настоящих исследованиях совместного использования применяется динамическое моделирование с результатами, необходимыми для Рекомендации МСЭ-R RS.1029, касающимися процента площади области измерений, равной 10 миллионам км², на которой превышает допустимый уровень мощности помех. Настоящие динамические модели дают, в результате, интегральные функции распределения (CDF) уровней принимаемых помех в таких областях измерения, где статистические данные помех могут непосредственно сравниваться с определенным в спецификации критерием помех.

4.2 Исследование при помощи моделирования номер 1

Настоящая модель предполагает применение 200 станций ФС "из пункта в пункт", равномерно распределенных по территории в пределах 40° с.ш., 0° долготы, 60° с.ш. и 20° в.д. Мощность передатчика равна -10 дБВт, коэффициент усиления антенны равен 41 дБи, что соответствует э.и.м. = 31 дБВт. Модель распространения включает в себя затухание в атмосфере, а шаг приращения времени при моделировании равен 2 с. Результаты моделирования для пассивного датчика MADRAS показаны на рисунке 4 и в таблице 5, на рисунке 5 и в таблице 6 – для датчика AMSR-E, и на рисунке 6 и в таблице 7 – для датчика CMIS.

РИСУНОК 4

Динамическое моделирование для пассивного датчика MADRAS



Отч 2095-04

ТАБЛИЦА 5

Результат динамического моделирования в соответствии с рисунком 4

Совокупный процент (%)	1	0,2	0,1	0,02
Соответствующая принимаемая мощность на входе радиометра в дБВт для датчика MADRAS для полосы шириной 100 МГц	-177	-167	-166	-163

РИСУНОК 5

Динамическое моделирование для пассивного датчика AMSR-E

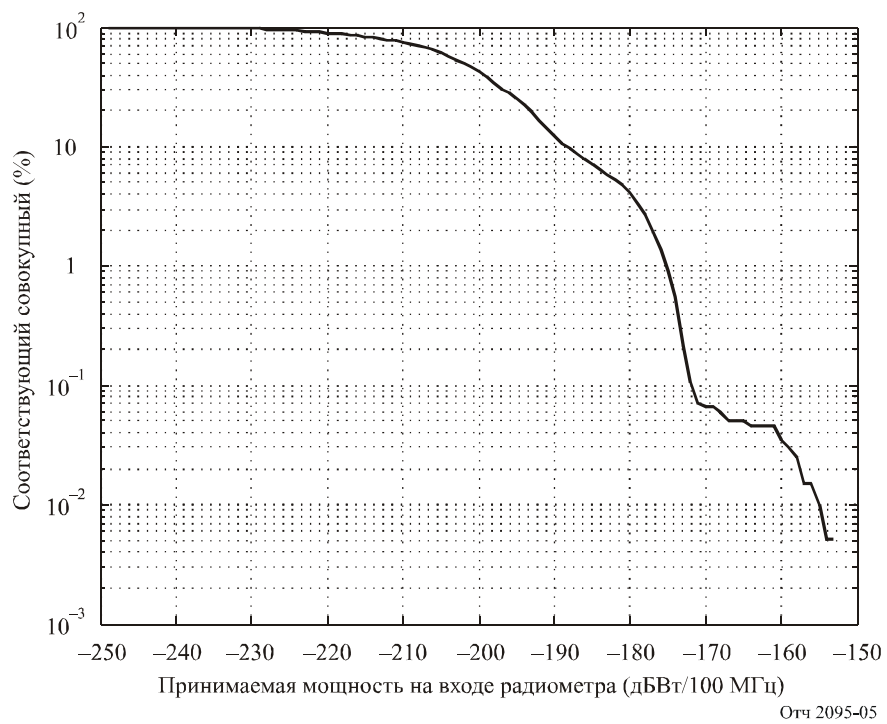


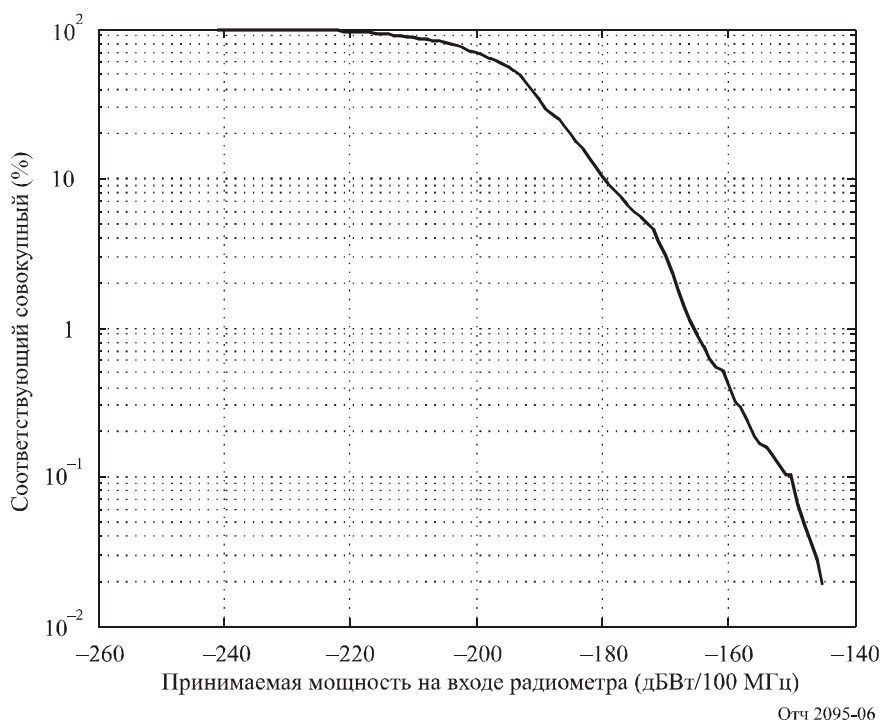
ТАБЛИЦА 6

Результат динамического моделирования с соответствия с рисунком 5

Совокупный процент (%)	10	1	0,1	0,05
Соответствующая принимаемая мощность на входе радиометра в дБВт для датчика AMSR-E	-188	-175	-172	-156

РИСУНОК 6

Динамическое моделирование для пассивного датчика CMIS:
200 работающих станций "из пункта в пункт"



Отч 2095-06

ТАБЛИЦА 7

Результат динамического моделирования с соответствием с рисунком 6

Совокупный процент (%)	10	2	1	0,1	0,02
Соответствующая принимаемая мощность на входе радиометра в дБВт для датчика CMIS	-180	-166	-165	-152	-145

4.3 Исследование при помощи моделирования номер 2

Настоящая модель предназначена для определения взаимосвязи между плотностью размещения станций ФС и уровнем помех службе ССИЗ (пассивной). Моделирование проводилось для пассивного датчика AMSR-E, и предполагалось, что мощность передатчика каждой станции ФС равна -11 дБВт и что каждая станция ФС использует антенну с коэффициентом усиления, равным 40,5 дБи, боковые лепестки которой соответствуют эталонной диаграмме направленности антенны из Рекомендации МСЭ-R F.1245 для ширины луча по уровню 3 дБ, равной 1,5°.

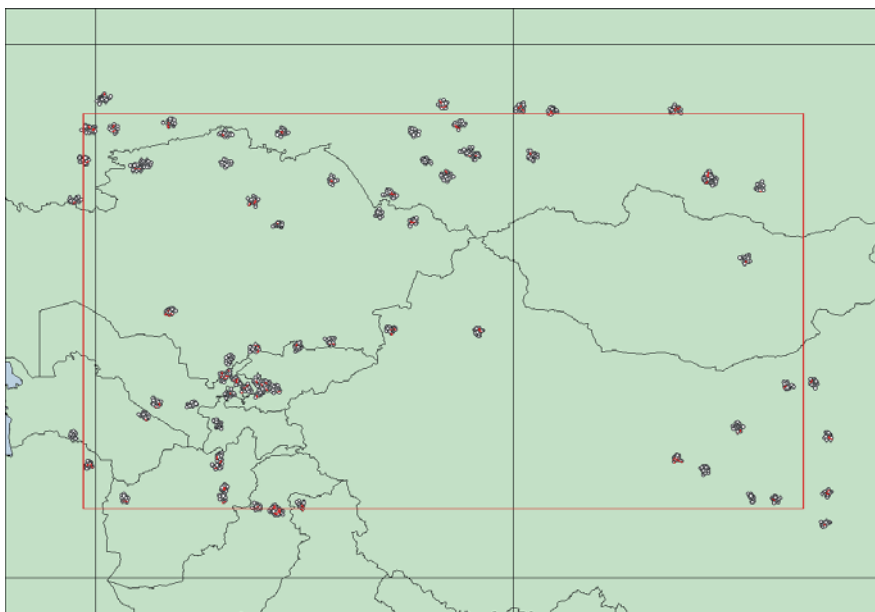
В настоящей модели использовался большой диапазон плотностей размещения станций ФС в предположении, что от 1 до 20 двусторонних линий связи было произвольно расположено вблизи от 74 городов в области измерения пассивного датчика, равной 10^7 км², как показано на рисунке 7. Из 74 городов в области моделирования в Центральной Азии, изображенной на рисунке 7, 66 были расположены в пределах самой области измерения пассивного датчика, равной 10^7 км². Плотность размещения станций ФС (N_{FS}) в пределах данной области рассчитывается следующим образом:

$$N_{FS} = 2 \text{ (станций/линия)} \times \text{ФС (линий/город)} \times 66 \text{ (городов)},$$

где ФС – число станций/линий ФС, предполагаемое для обычных функций CDF помех.

РИСУНОК 7

Область измерения в Центральной Азии

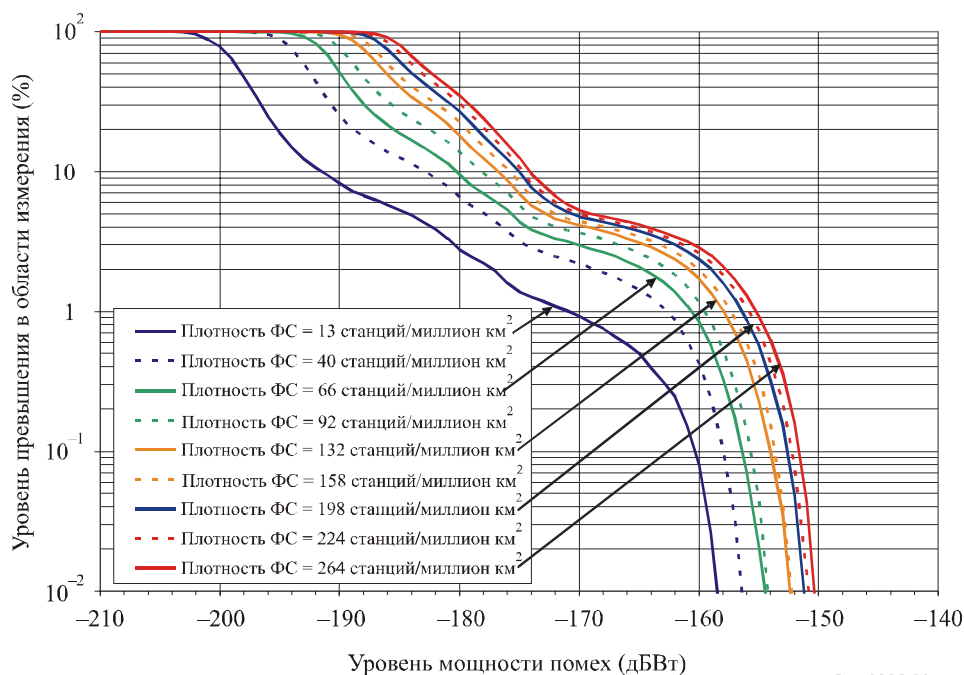


Отч 2095-07

Результирующие функции CDF помех в настоящем моделировании учитывают помехи только для тех временных интервалов, в течение которых луч пассивного датчика пересекает поверхность Земли в пределах области измерения и которые показаны на рисунке 8.

РИСУНОК 8

Функции CDF помех в результате динамического моделирования



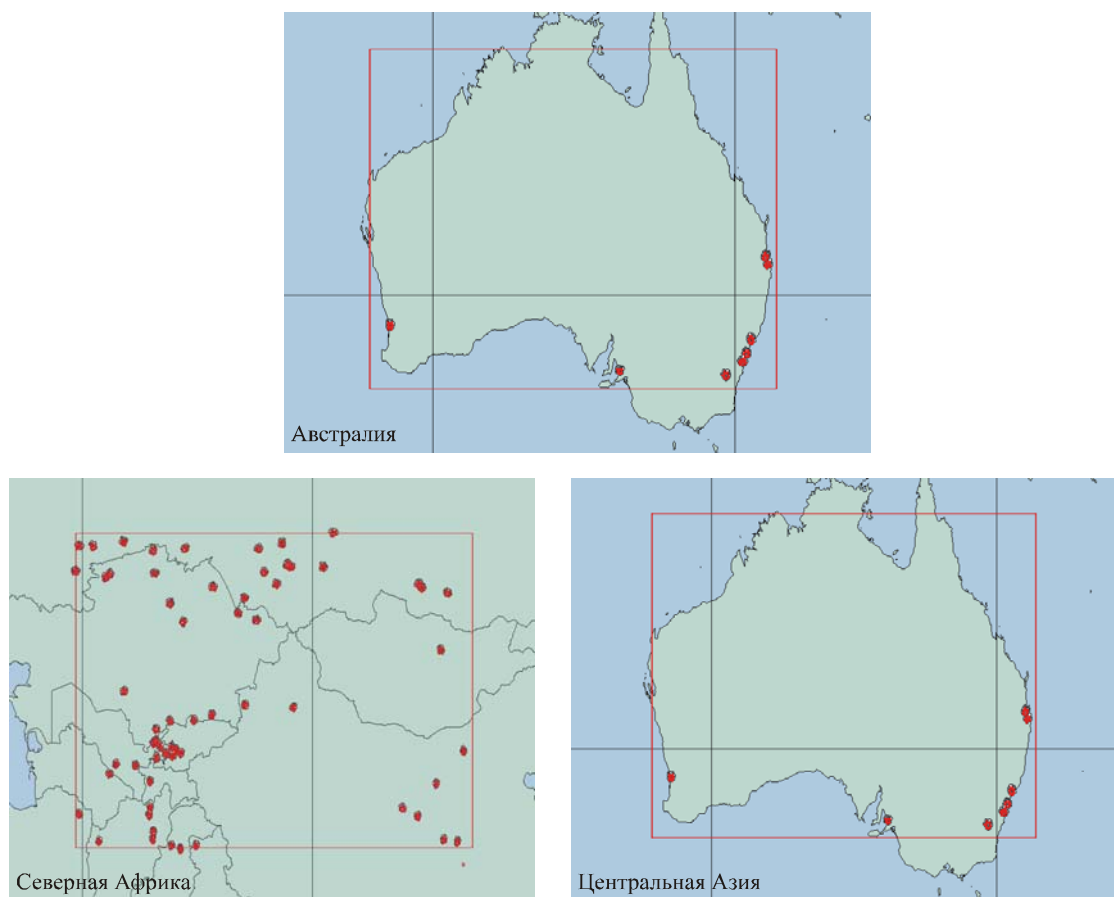
Отч 2095-08

4.4 Исследование при помощи моделирования номер 3

В настоящем исследовании рассматривается как система ФС "из пункта в пункт", так и система ФС "из пункта во множество пунктов". Моделирование, включенное в настоящее исследование, было выполнено для того, чтобы определить интегральную функцию распределения помех в трех разных областях измерения пассивного датчика, площадью по 10 000 000 км², показанных на рисунке 9, каждая из которых имеет свою плотность размещения, для сравнения с Рекомендацией МСЭ-R RS.1029, в которой определяются допустимые критерии помех работе пассивных датчиков в данной полосе частот в виде процента от области измерения площадью 10 миллионов км², в котором превышает определенный уровень помех. Плотность размещения станций ФС для каждой из этих областей основывается на предположении использования в каждом городе одного канала из плана размещения частот радиостволов, описанного в Приложении 2 к Рекомендации МСЭ-R F.749 "План размещения частот радиостволов для радиорелейных систем, действующих в полосе частот 38 ГГц". Помехи пассивным станциям оцениваются при условии распространения в свободном пространстве с учетом дополнительных потерь (0,32 дБ) за счет поглощения в атмосферных газах в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.676 "Затухание в атмосферных газах для направления "Земля-космос"".

РИСУНОК 9

Области распределения ФС – Городская модель



Отч 2095-09

4.4.1 Системы ФС "из пункта в пункт"

В настоящем исследовании было использовано два типа модели развертывания ФС. Обычно предполагается, что системы ФС преимущественно располагаются в городских и пригородных районах и практически отсутствуют в сельских районах. Поэтому первым сценарием является "Городская модель", в которой станции ФС распределены в городских районах в пределах области моделирования. Однако некоторые администрации сообщают о применении станций ФС, работающих в полосе частот 36–37 ГГц, которые могут быть распределены по более широкой области, включающей в себя сельские районы, включая нерегулярное использование. Поэтому

второй сценарий называется "Модель случайного распределения", которая описывает те случаи, когда системы ФС случайным образом – с равномерным распределением вероятности – распределены по областям в пределах определенной области распределения.

В таблице 8 представлены значения плотности размещения систем ФС "из пункта в пункт" для случаев, предусмотренных в данных моделях, с учетом ширины полосы канала.

ТАБЛИЦА 8
Плотность размещения систем ФС "из пункта в пункт"

Ширина полосы пропускания канала (МГц)	112	56	28	14	7
Станции ФС/Город	4	8	15	29	57
Станции ФС/Австралия	32	64	120	232	456
Станции ФС/Северная Африка	148	296	555	1 073	2 109
Станции ФС/Центральная Азия	248	496	930	1 798	3 534

В данных моделях предполагалось, что станции ФС "из пункта в пункт" соответствуют параметрам системы ФС-2, с мощностью передачи, равной –10 дБВт, и коэффициентом усиления антенны, равным 41 дБи. Для каждого сценария размещения моделирование проводилось так, чтобы получить интегральную функцию распределения (CDF) для модели длительностью 16 дней с размером шага, равным 200 м/с, когда пассивный датчик мог обрабатывать данные от точек в пределах области измерения. На рисунках с 10 по 13 представлены графики функций CDF для помех, создаваемых системами ФС пассивному датчику AMSR-E.

РИСУНОК 10

Помехи, создаваемые системами ФС "из пункта в пункт",
датчику AMSR-E
Городская модель и модель случайного распределения
4 станции на город

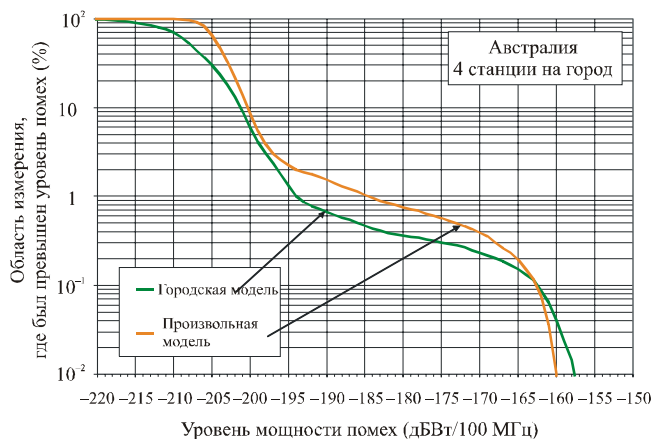


РИСУНОК 11

Помехи, создаваемые системами ФС "из пункта в пункт",
датчику AMSR-E
Городская модель и модель случайного распределения
29 станций на город

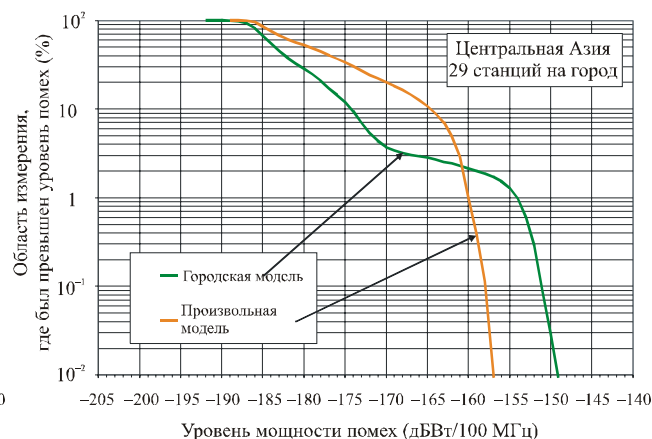
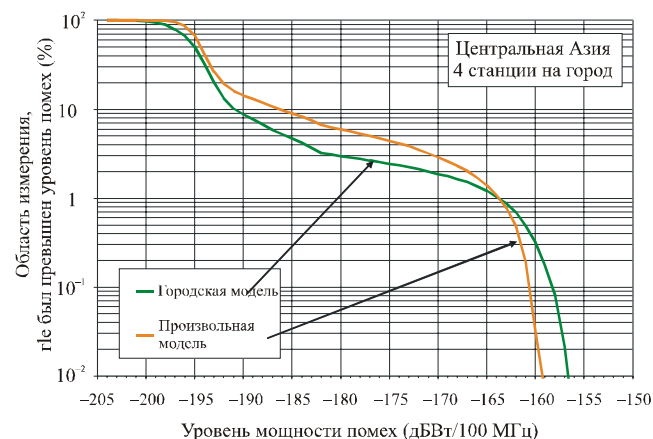
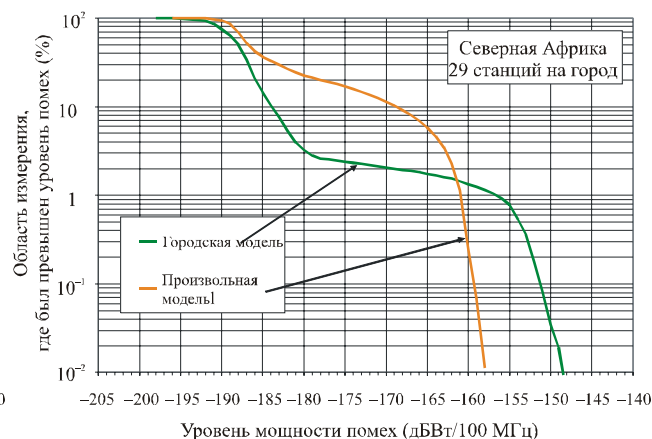
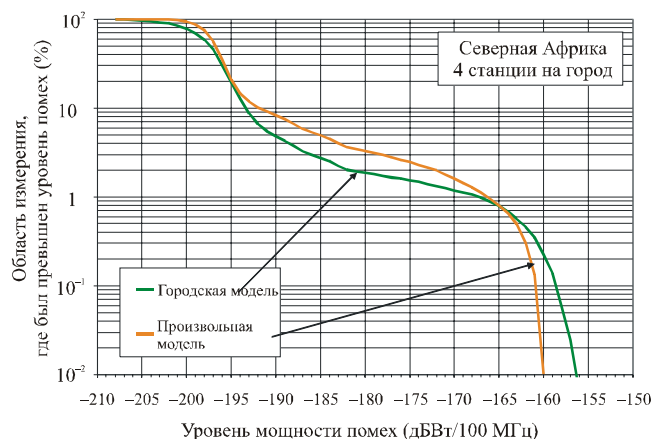
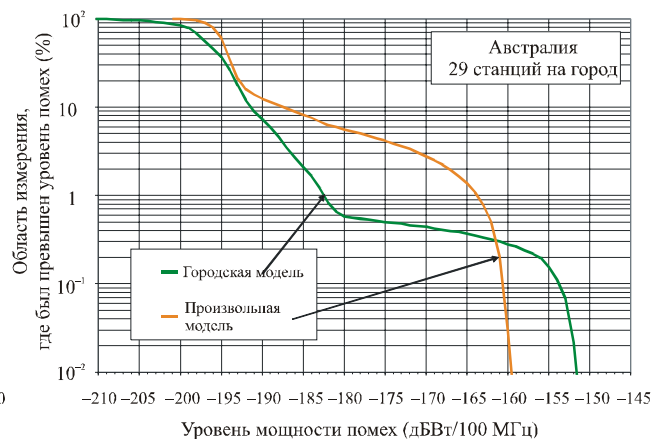


РИСУНОК 12

Помехи, создаваемые системами ФС "из пункта в пункт",
датчику AMSR-E

Городская модель 4, 8, 15, 29 и 57 станций на город

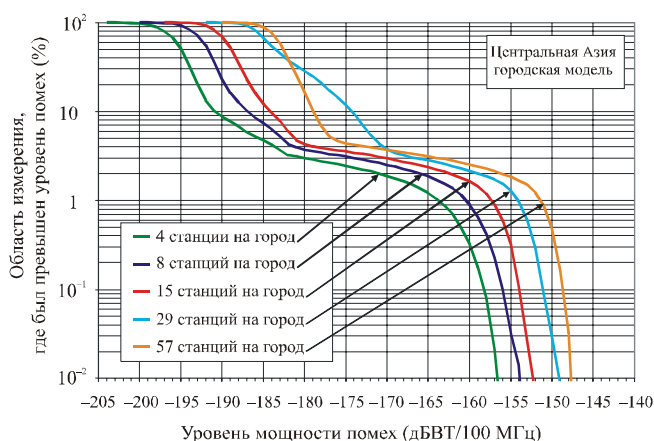
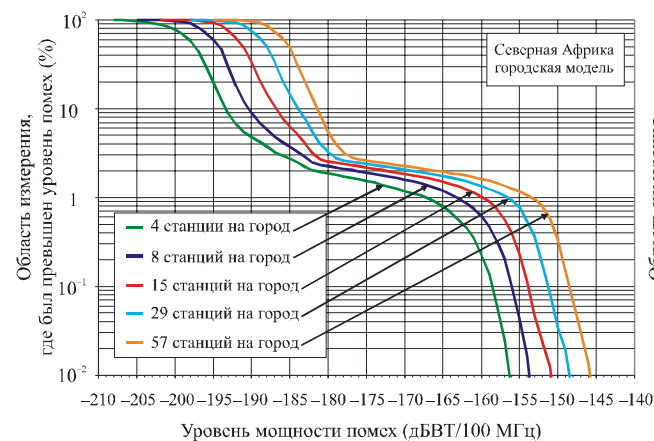
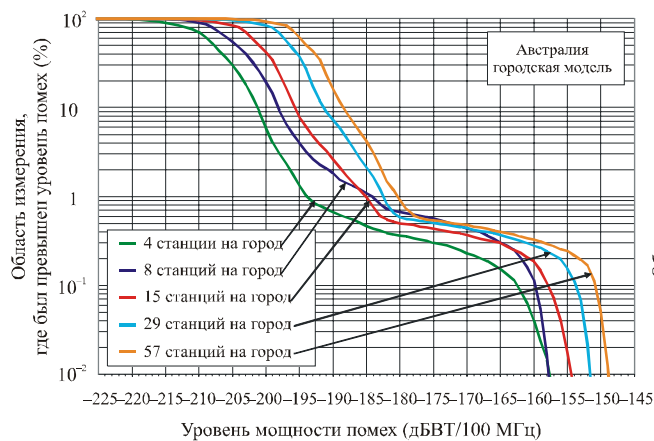
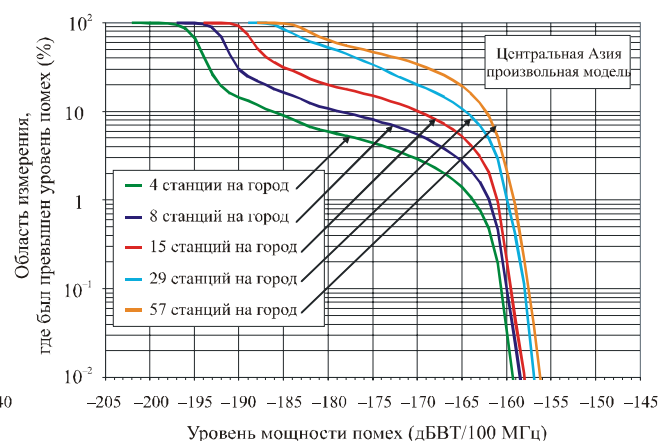
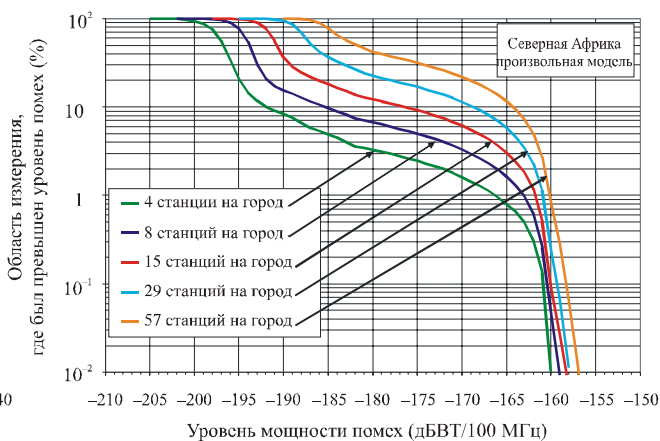
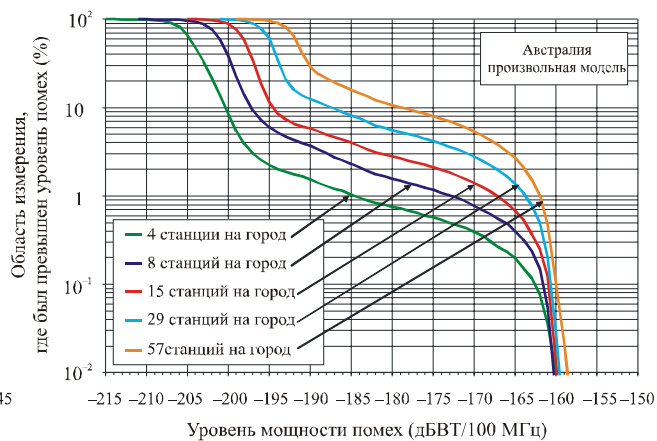


РИСУНОК 13

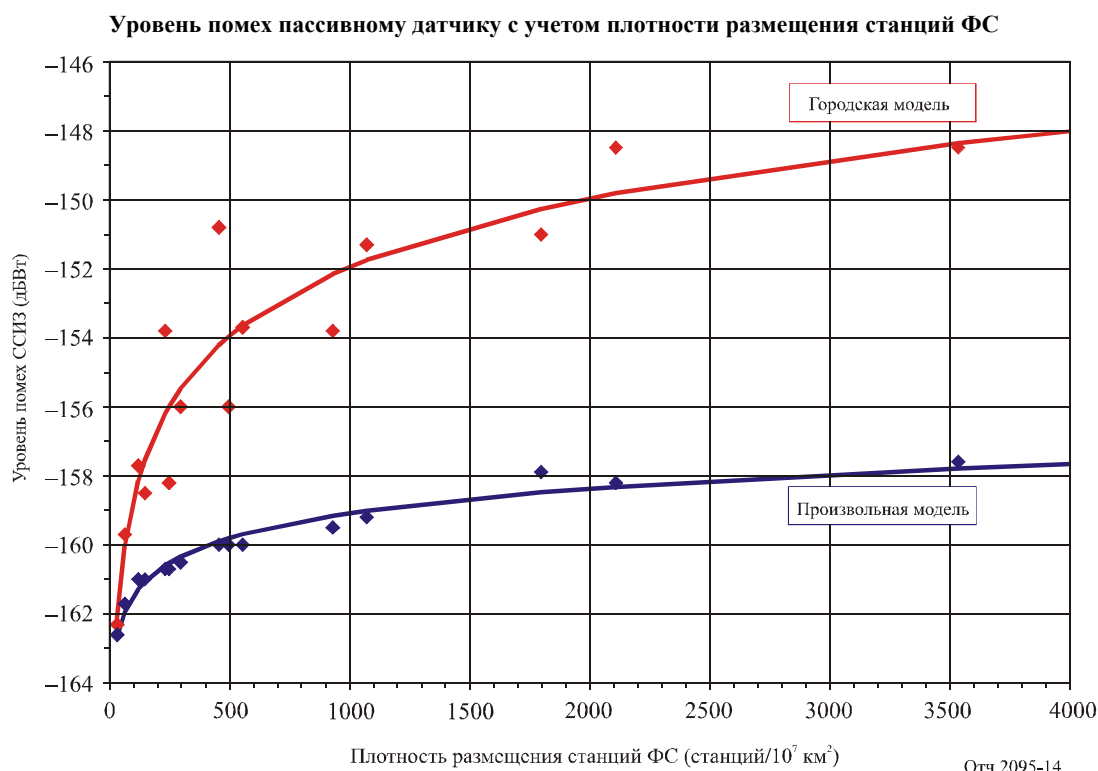
Помехи, создаваемые системами ФС "из пункта в пункт",
датчику AMSR-E

Модель случайного распределения
4, 8, 15, 29 и 57 станций на город



Для каждой функции CDF на рисунках 12 и 13 был определен уровень помех пассивному датчику, который превышался не более чем на 0,1% территории области измерения, равной $10^7/\text{км}^2$, и эти значения представлены в виде отдельных точек на графике на рисунке 13, который является графиком мощности помех, создаваемых пассивному датчику, с учетом плотности станций ФС в области измерения. Кроме того, для городской модели и моделей случайного распределения систем ФС была рассчитана сглаженная (наиболее подходящая) функция мощности ($y = a \cdot x^b$) и она была включена в рисунок 14.

РИСУНОК 14



4.4.2 Системы ФС "из пункта во множество пунктов"

Было проведено дополнительное исследование с целью анализа линии передачи ФС "из пункта во множество пунктов", описанной в таблице 3, с двумя типами областей размещения, изображенными на рисунке 9. Плотность размещения ФС для каждой такой области основана на предположении, что в каждом городе используется одна частота из плана размещения частот радиостолов, описанного в Приложении 4 к Рекомендации МСЭ-R F.749. В таблице 9 представлены результирующие значения плотности размещения, использованные в ходе настоящего моделирования.

ТАБЛИЦА 9

Плотность размещения станций ФС для модели "из пункта во множество пунктов"

	Австралия	Центральная Азия
Ширина полосы пропускания канала (МГц)	28	28
Станции ФС/город	8	62
Базовые станции /город	32	248
Абонентские станции/город	256	1 984

Предполагалось, что в настоящих моделях станции ФС отвечают требованиям к параметрам для систем ФС "из пункта во множество пунктов", приведенных в таблице 3.

Моделирование для каждого сценария размещения проводилось так, чтобы получить интегральную функцию распределения (CDF) для модели длительностью 16 дней с размером шага, равным 200 м/с, когда пассивный датчик мог обрабатывать данные от точек в пределах области измерения. На рисунках 15 и 16 и в таблице 10 приведены значения функции CDF для помех от систем ФС "из пункта во множество пунктов" пассивному датчику AMSR-E.

РИСУНОК 15

Помехи от системы ФС "из пункта во множество пунктов" датчику AMSR-E над Австралией

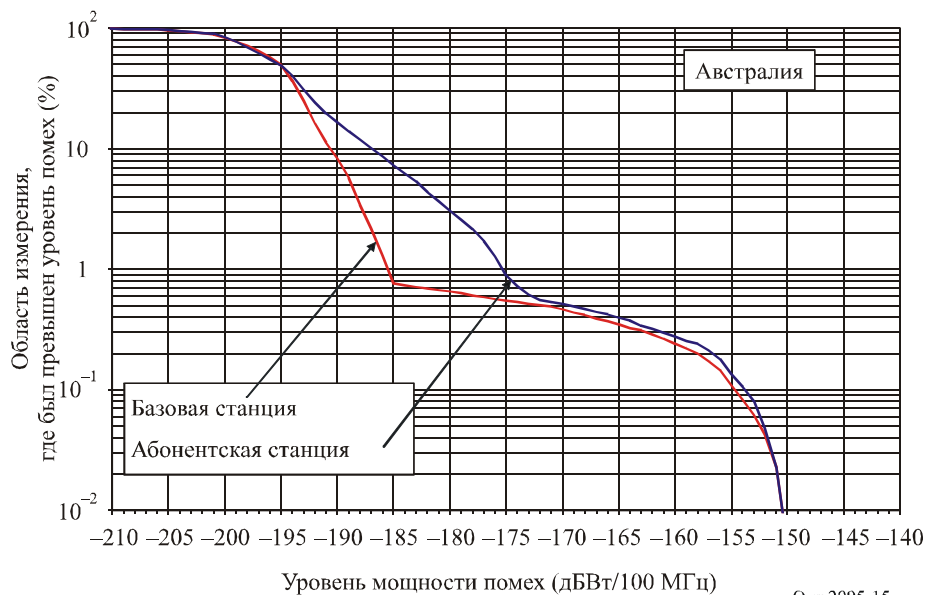


РИСУНОК 16

Помехи от системы ФС "из пункта во множество пунктов" датчику AMSR-E над Центральной Азией

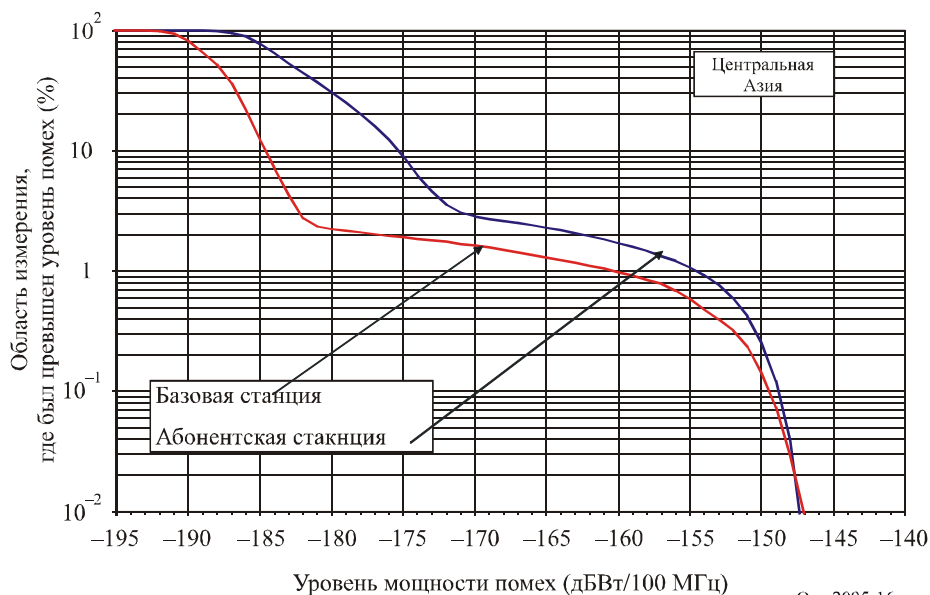


ТАБЛИЦА 10

Результаты динамического анализа, показанные на рисунках 15 и 16

	Австралия		Центральная Азия	
	Только узел	Только абонент	Только узел	Только абонент
Уровень помех, превышенный над 0,1% области (дБВт/100 МГц)	-154,7	-153,8	-149,4	-148,7
Коэффициент несоответствия поляризации ⁽¹⁾	-2		-2	
Допустимый уровень помех (дБВт/100 МГц)	-156		-156	
Превышение допустимого уровня (дБВт/100 МГц)	-0,7	0,2	4,6	5,3

⁽¹⁾ Коэффициент несоответствия поляризации учитывает потери в принимаемой мощности из-за помех, создаваемых боковыми лепестками антенны ФС, не имеющих четко определенного направления поляризации, в поляризованном главном луче пассивного датчика с высокой степенью подавления перекрестной поляризации.

4.5 Исследование с помощью моделирования номер 4

В настоящем исследовании анализируется ситуация совместного использования данной полосы частот подвижными системами и радиометрами ССИЗ (пассивной).

В таблицах 1 и 4 показаны допущения, принятые в исследованиях совместного использования частот. В таблице 4 в качестве примера параметров службы ССИЗ (пассивной) были использованы параметры датчика AMSR-E и параметры ПС-2, причем для подвижной системы было использовано самое большое значение мощности, существующее в настоящее время в мире. Моделирование проводилось для одного месяца с шагом приращения времени, равным 0,5 с. В таблице 11 приведены остальные параметры, использованные при моделировании. Помехи пассивным станциям оцениваются здесь в условиях распространения в свободном пространстве, а дополнительные потери из-за поглощения в атмосферных газах не учитываются.

ТАБЛИЦА 11

Параметры станций подвижной службы, использованные для моделирования

Параметр	Значение
Угол места (градусы)	-90~90
Направление азимута (градусы)	0~360 (Примечание 1)
Количество станций	49 (Примечание 2)
Распределение	Равномерное
Коэффициент использования	См. таблицу 12

ПРИМЕЧАНИЕ 1. — Направление азимута каждой станции выбрано произвольно в пределах 360°.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. — Предполагается, что количество станций соответствует численности населения в каждом районе в области измерения, использующего это количество станций в стране (См. Рисунок 17).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. — Эти результаты получены на основе статистических данных об использовании подвижных станций в Японии. Они равны отношению часов работы станций в полосе частот 36–37 ГГц в течение года к общему количеству часов в году.

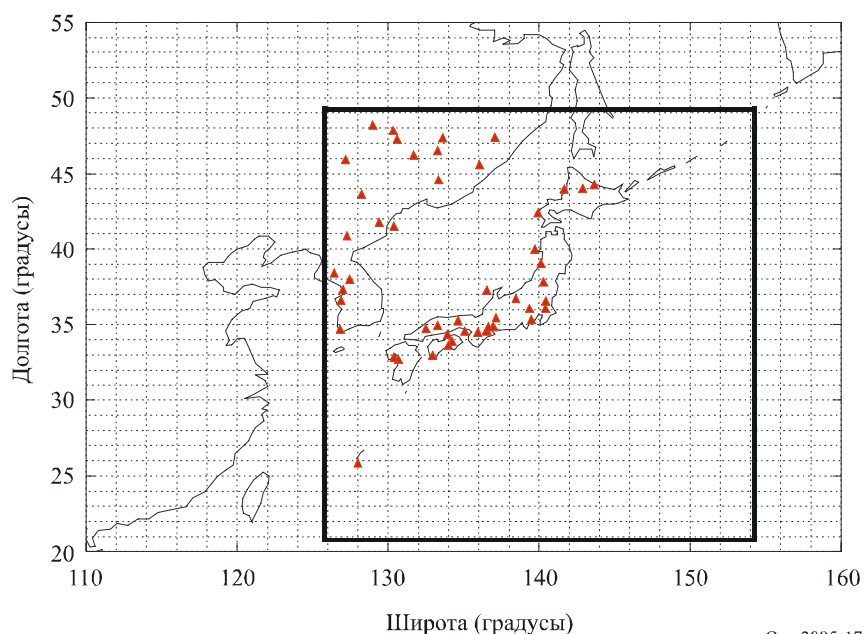
ТАБЛИЦА 12

Количество станций подвижной службы для различных коэффициентов использования

Коэффициент использования (%)	Общее число станций подвижной службы
2	1
2,97	2
10	5
20	10
50	25
100	49

РИСУНОК 17

Распределение подвижных станций
(Коэффициент использования 100%, 49 станций)



Отч 2095-17

На рисунке 18 показаны результаты исследования при помощи моделирования. На данном рисунке видно, что продолжительность помех датчику службы ССИЗ (пассивной) соответствует функции CDF уровня помех для различных коэффициентов использования, которые приводятся в таблице 12.

На рисунке 19, данные для которого получены из рисунка 18, функция CDF уровня помех показана в виде зависимости уровня помех от коэффициента использования. Результаты моделирования не выстроены в достаточно прямую линию потому, что распределение станций подвижной службы для каждого коэффициента использования было выбрано как случайное значение так же, как и значение направления антенны каждой станции подвижной службы. Достаточно прямая линия на рисунке 19 показывает, что коэффициент использования 60% соответствует допустимому уровню помех, равному -156 дБВт/100 МГц, а коэффициент использования 20% соответствует допустимому уровню помех, равному -166 дБВт/100 МГц.

РИСУНОК 18

Графики функции CDF помех для различных коэффициентов использования

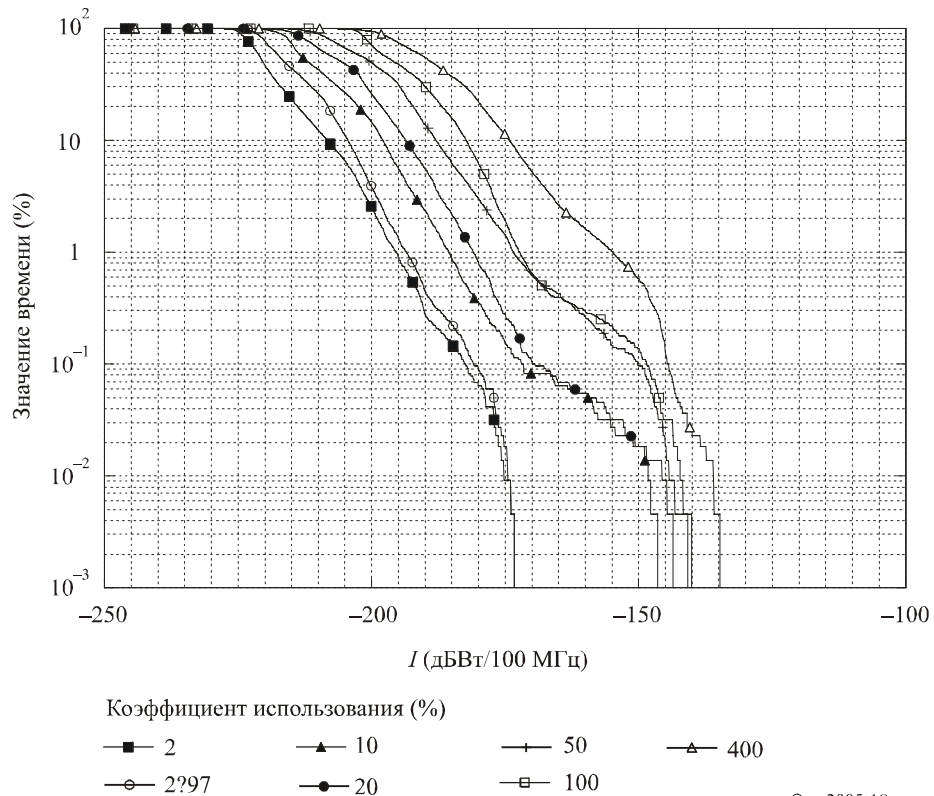
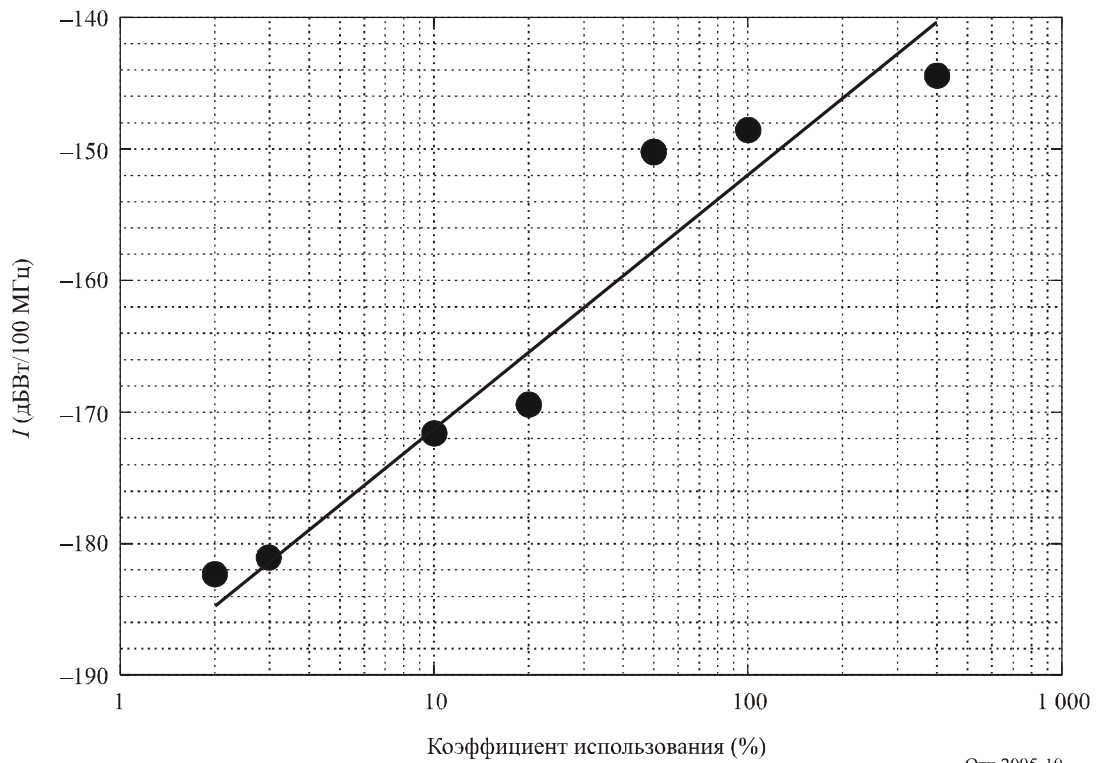


РИСУНОК 19

Коэффициенты использования и уровень помех, превышаемый в течение 0,1 % времени



4.6 Результаты исследования совместного использования частот

4.6.1 Совместное использование частот системами ФС и службой ССИЗ (пассивной)

В каждом из предыдущих исследований было выполнено сравнение уровня помех, принимаемых приемником службы ССИЗ (пассивной), с допустимыми уровнями, указанными в Рекомендации МСЭ-R RS.1029. Однако при оценке результатов данных исследований необходимо принять во внимание несколько дополнительных факторов.

Во-первых, во всех моделях помеха, принимаемая пассивным датчиком, рассчитывалась в виде усредненной мощности, интегрированной в радиометре. Поэтому значение мощности передатчика ФС, используемое в динамической модели, должно рассматриваться как усредненный или средний уровень мощности. Однако регламентарные пределы обычно определяются в виде пиковых уровней мощности, которые на 2–4 дБ выше усредненного (среднего) уровня для цифровых передач. Во-вторых, лучи антенны пассивного датчика линейно поляризованы с высокой чистотой поляризации, а помехи ФС обычно создаются боковыми или задними лепестками антенны, которые практически не имеют четко выраженного направления вращения плоскости поляризации. Этот фактор, который уменьшит рассчитываемый уровень помех в целом на 2–3 дБ, при расчете помех не учитывался.

Наконец в двух моделях для станций ФС в полосе частот 36–37 ГГц было показано, что уровень помех датчику, рассчитанный для реальных уровней мощности, был на 3,8–6,4 дБ ниже уровня помех, отмеченного как уровень 0,1% для функции CDF, рассчитанной в предположении, что каждая станция ведет передачу с максимальным уровнем мощности.

В итоговых данных исследований при помощи моделирования используются функции CDF помех пассивному датчику, полученные в ходе динамического моделирования с целью определения максимальной мощности ФС, которая будет в точности удовлетворять допустимым критериям помех из Рекомендации МСЭ-R RS.1029 при условии, что все станции ФС работают с одинаковым уровнем мощности. С учетом всех трех вышеизложенных факторов уровни мощности, используемые при определении любых рекомендуемых ограничений, определяемых в виде пиковой мощности передачи, которые следует применять как регламентарную меру, будут эквивалентны применению усредненной мощности, которая была бы на 7,8–13,4 дБ меньше допустимых уровней мощности передачи, которые были определены посредством корректировки функций CDF помех, полученных в ходе динамического моделирования.

В таблице 13 приводятся итоговые данные описанных выше исследований совместного использования частот. Для каждого исследования при помощи моделирования в первых двух колонках указаны типы рассматриваемых в модели станций ФС и мощности передатчиков ФС, предполагаемые для каждой станции в данной модели распределения ФС. В некоторых исследованиях динамическое моделирование выполнялось для большого диапазона различных плотностей распределения ФС на основе существенного количества больших городов в разных используемых областях измерения и числа радиоканалов, доступных в каждом городе на основе частотного плана МСЭ-R. В таблице 13 приведены самые низкие и самые высокие значения плотности станций ФС, использованные в моделях, включенных в каждое исследование. При каждом динамическом моделировании создавалась формула функции CDF помех, принимаемых пассивным датчиком (I_{EES}). В таблице 13 указывается уровень I_{EES} , превышаемый в 0,1% области измерения пассивного датчика, или, в случае, когда моделирование выполнялось для широкого диапазона плотностей распределения станций ФС, указываются самое низкое и самое высокое значение I_{EES} на уровне 0,1%. Также в таблице 13 указывается самая высокая и самая низкая мощность передатчика ФС, которые удовлетворяют допустимому критерию помех, равному –166 дБВт, из Рекомендации МСЭ-R RS.1029 для работающих в настоящее время пассивных датчиков, которые отвечают требованиям по самым низким и самым высоким значениям уровней помех пассивному датчику, вычисленным в ходе моделирования функций CDF. Ниже рассматриваются два поправочных коэффициента, один – для несоответствия поляризации (2–3 дБ) и другой – для распределения уровней мощности (3,8–6,4 дБ). Данные коэффициенты применимы при использовании функции CDF помехи, полученной в результате настоящего динамического моделирования, для определения любых возможных критериев совместного использования частот. В крайних правых колонках таблицы 13 приведен диапазон рассчитанных допустимых уровней мощности ФС для каждого случая моделирования, с самым низким значением, соответствующим самому низкому регулируемому уровню передачи ФС, самому маленькому комбинированному поправочному коэффициенту, равному 5,8 дБ, самым высоким значениям, соответствующим самому высокому регулируемому уровню передачи ФС, и самому большому поправочному коэффициенту, равному 9,4 дБ. Следует заметить

также, что все уровни мощности, использованные в таблице 13, являются усредненными или средними уровнями мощности, которые интегрируются радиометром пассивного датчика во время каждого измерения, и что рассматриваемый далее поправочный коэффициент обсуждается в § 4 при условии, что критерии совместного использования должны быть получены в виде пиковых уровней мощности.

Следует заметить, что данные о выданных лицензиях, полученные от двух администраций, показывают, что существующая плотность распределения ФС составляет примерно от 1000 до 2500 на 10^7 км^2 на участке спектра шириной 80 МГц в полосе частот 10,6–10,68 ГГц. Для участка спектра шириной 1000 МГц в полосе частот 36–37 ГГц эквивалентный уровень распределения должен быть примерно в 10 раз больше, чем количество станций ФС, использованных в моделях, описываемых в таблице 13.

ТАБЛИЦА 13

Итоговые результаты исследований при помощи моделирования на частоте 36 ГГц

Номер исследования в полосе частот 36–37 ГГц	Тип станции	Мощность передатчика (дБВт)	Плотность станций (станций/ 10^7 км^2)	I_{EESS} в точке 0,1% (дБВт)	Максимальная мощность (дБВт), по Рек. МСЭ-R RS.1029	Максимум (дБВт) с коэффициентом коррекции, как в § 4.6
1 – MADRAS	"из пункта в пункт"	–10	200	–166	–10	от –4,2 до –0,6
1 – AMSR-E	"из пункта в пункт"	–10	200	–172	–4	от 1,8 до 5,4
1 – CMIS	"из пункта в пункт"	–10	200	–152	–24	от –18,2 до –14,6
2	ФС-2	–11	от 130 до 2 640	от –160 до –152 (2)	от –17 до –25	от –19,2 до –7,6
3 – "из пункта в пункт" город	ФС-2	–10	от 32 до 3 534	от –162,3 до –148,5 (2)	от –13,7 до –27,5	от –21,7 до –4,3
3 – "из пункта в пункт" случайное распределение	ФС-2	–10	от 32 до 3 534	от –162,6 до –157,6 (2)	от –13,4 до –18,4	от –12,6 до –4
3 – "из пункта во множество пунктов" город	Узел	–5	от 32 до 248	от –154,7 до –149,4 (2)	от –16,3 до –21,6	от –15,8 до –6,9
3 – "из пункта во множество пунктов" случайное распределение	Абонент	–10	от 256 до 1 984	от –149,4 до –148,7 (2)	от –26,6 до –27,3	от –21,5 до –17,2
4 – AMSR-E	Подвижная	–3	2 (коэффициент использ. 2,97 %)	–180,9	11,9	от 17,7 до 21,3
4 – AMSR-E	Подвижная	–3	10 (коэффициент использ. 20%)	–169,5	0,5	от 6,3 до 9,9
4 – AMSR-E	Подвижная	–3	49 (коэффициент использ. 100%)	–149,5	–19,5	от –13,7 до –10,1

ПРИМЕЧАНИЯ: Критерии Рекомендации МСЭ-R RS.1029 = –166 дБВт/100 МГц

(1) Количество станций ФС в городе во всем мире приведено к усредненному значению области, равной 10^7 км^2

(2) Количество станций ФС в городе и количество городов в различных областях измерения

(3) Все значения мощности передатчика являются "средними" значениями для ФС и "пиковыми" значениями для ПС

В некоторых случаях допустимые уровни мощности, указанные в крайних правых колонках, превышают уровень мощности ФС, применяемый в исследовании при помощи моделирования, и в заключение можно сказать, что для данных случаев была продемонстрирована совместимость между ФС и ССИЗ (пассивной). Для тех случаев, когда указанные допустимые уровни мощности были меньше предполагаемых значений, изучалась функция CDF помех, полученная в результате моделирования, для того чтобы определить ее влияние на службу ССИЗ (пассивную), измеряемое в виде процента области измерения, на которой был превышен допустимый уровень помех, равный –166 дБВт, если бы мощность передатчика ФС должна была быть ограничена значением, принятом в ходе моделирования. Эти результаты представлены в таблице 14.

ТАБЛИЦА 14

Процент области измерения, в котором превышает допустимый уровень помех

Номер исследования с помощью моделирования в полосе частот 36–37 ГГц	Тип станции	Мощность передатчика (дБВт)	Плотность станций (станций/10 ⁷ км ²)		Область измерения, где превышает уровень, равный –166 дБВт ⁽¹⁾ (%)	
1 – MADRAS	"из пункта в пункт"	–10	200	---	< 0,1	---
1 – AMSR-E	"из пункта в пункт"	–10	200	---	< 0,1	---
1 – CMIS	"из пункта в пункт"	–10	200	---	0,3	---
2	ФС-2	–11	130	2 640	< 0,1	3
3 – "из пункта в пункт" город	ФС-2	–10	32	3 534	< 0,1	2,5
3 – "из пункта в пункт" случайное распределение	ФС-2	–10	32	3 534	< 0,1	2
3 – "из пункта во множество пунктов" город	Узел	–5	32	248	0,23	1
3 – "из пункта во множество пунктов" случайное распределение	Абонент	–10	256	1 984	0,28	1,5
4 – AMSR-E	Подвижная	–3	2 (коэффициент использования 2,97%)	---	< 0,1	---
4 – AMSR-E	Подвижная	–3	10 (коэффициент использования 20%)	---	< 0,1	---
4 – AMSR-E	Подвижная	–3	49 (коэффициент использования 100%)	---	< 0,4	---

(1) Включая коррекцию несоответствия поляризации 5,8 дБ и распределение мощностей.

4.6.2 Совместное использование частот системами ПС и службой ССИЗ (пассивной)

В исследовании совместного использования рассматривалось два типа систем ПС; к первому типу относятся системы ПС-2, которые используются главным образом для передачи видеосигнала в передвижных применениях, и их коэффициент использования сравнительно низок, а ко второму относятся системы ПС-3, которые похожи на фиксированные станции и используются для правительственного применения. Результаты моделирования были включены в таблицу 13 в § 4.6.1.

Для второго типа результаты идентичны результатам для ФС, показанным в § 4.6.1.

Для первого типа, который описывается в исследовании с помощью моделирования номер 4 в § 4.5, совместное использование частот возможно с более высоким уровнем мощности, чем при использовании фиксированной службы, из-за его сравнительно невысокого коэффициента использования.

Результаты моделирования показывают, что совместное использование частот возможно при самом высоком уровне мощности существующей системы, равном –3 дБВт, и коэффициенте использования 20%.

Однако в случае подвижного применения, если учесть факторы уменьшения помех, которые не включены в исследование с помощью моделирования номер 4, результаты совпадают с результатами для ФС в предыдущем параграфе.

- Разница между поляризацией службы ССИЗ (пассивной) и подвижных станций (2–3 дБ).
- Разница между пиковой мощностью и усредненной принимаемой мощностью службы ССИЗ (пассивной) (2–4 дБ).

В соответствии с рисунком 19 коэффициент использования до 40% удовлетворяет допустимому уровню помех, равному –166 дБВт/100 МГц.

5 Способы уменьшения помех

5.1 ССИЗ (пассивная)

Используемые сегодня и планируемые для эксплуатации пассивные датчики интегрируют сигнал, полученный на входе спутника, и отличить естественное излучение от искусственного невозможно. Если помехи превышают допустимый уровень, то существует риск того, что в нескольких областях будут получены неточные данные измерений, которые могут отразиться на достоверности прогнозов

погоды или других научных применений, которые используют данные этих датчиков. Не существует проверенных способов определения того, не были ли данные измерений пассивного датчика искажены из-за помех, и для уменьшения влияния таких искаженных данных измерений на прогнозы погоды или другие научные исследования, использующие эти данные.

Следовательно, способы уменьшения помех, применяемые в службе ССИЗ (пассивной), сосредоточиваются на подходах, которые могут понизить уровень помех, принимаемых на входе спутника.

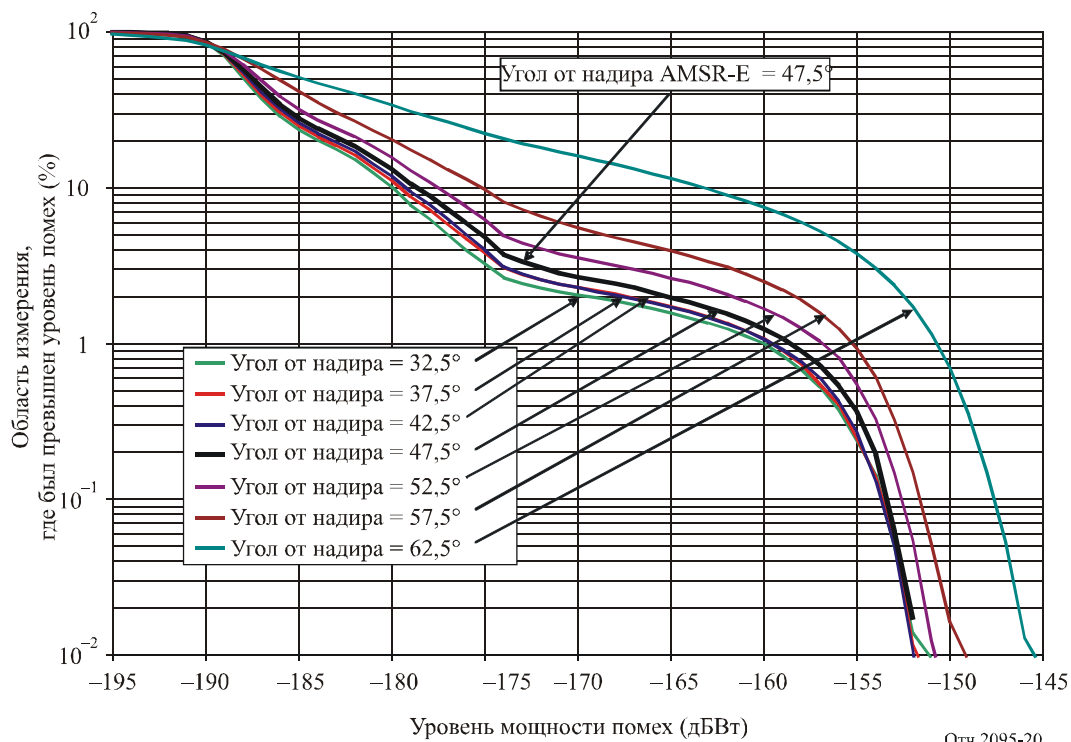
В качестве возможных подходов для подавления помех или минимизации возможности их возникновения учитывались и оценивались следующие технические и рабочие характеристики устройства службы ССИЗ (пассивной):

- Ограничение максимального угла наклона определяет амплитуду прямой связи между наземными активными службами и приемником службы ССИЗ (пассивной). Однако уменьшение значений угла наведения пассивных датчиков конического сканирования от надира ниже значений, установленных в настоящее время, не приведет к существенному снижению уровня помех.
- Требование к минимальной эффективности главного луча непосредственно определяет форму диаграммы направленности антенны и позволяет уменьшить мощность помех, принятых вне области главного луча.
- Ограничение пространственной разрешающей способности может уменьшить вероятность источников помех или их количество в пределах определенного пиксела устройства службы ССИЗ (пассивной).
- Улучшенные характеристики боковых лепестков антенны службы ССИЗ (пассивной) могут понизить уровень помех. Например, сравнение между эталонной диаграммой направленности антенны, находящейся в процессе разработки для службы ССИЗ (пассивной), и диаграммы направленности антенны фиксированной спутниковой службы (ФСС), определенной в Рекомендации МСЭ-R S.672 "Диаграмма направленности спутниковой антенны, применяемая в качестве нормативной при проектировании фиксированной спутниковой службы, использующей геостационарные спутники", показывает, что уменьшение уровня боковых лепестков приводит к меньшему проценту помех.

Главный луч пассивных датчиков конического сканирования пересекается с земной поверхностью с постоянным углом места, который определяется высотой спутника и углом наведения от надира приемной антенны. Для изучения влияния такого изменения углов места ФС была вновь запущена одна из вышеописанных моделей для пассивного датчика AMSR-E в диапазоне значений углов наведения пассивного датчика от надира. На рисунке 20 представлены результаты этого моделирования.

РИСУНОК 20

Результаты моделирования помех на основе изменения значений углов от надира для ССИЗ



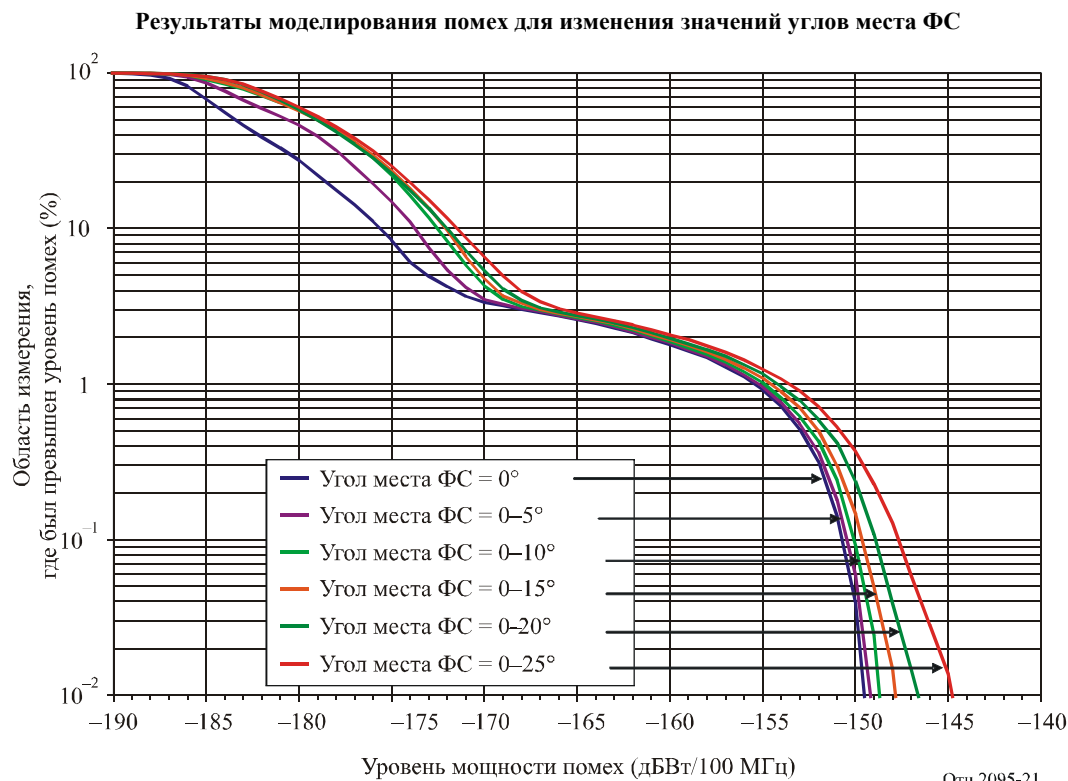
5.2 ФС

В качестве возможных подходов подавления или минимизации возможности помех в этой полосе для используемых средств ФС рассматривались и оценивались следующие действия в отношении технических и рабочих характеристик станции ФС:

- Ограничение максимальной э.и.и.м. станции ФС.
- Требование к максимальному углу места главного луча станции ФС; однако для равномерного распределения углов места ФС, которое является неудачным и нереальным распределением для исследования возможности совместного использования частот, уровень помех пассивному датчику конического сканирования не увеличивается значительно до тех пор, пока верхняя граница угла места ФС не достигнет значения примерно 20°.
- Требование по установке мощности передатчика ФС в значение, которое обеспечивает необходимый уровень сигнала в условиях чистого неба с определенным запасом на замирания; настоящий подход может существенно уменьшить уровень помех пассивному датчику.

При предыдущих исследованиях помех, как правило, предполагалось, что все передатчики ФС работают с углом места = 0°. Однако для реальных систем ФС ожидается некоторые различия значений углов места. Для изучения влияния такого изменения углов места ФС была вновь запущена одна из вышеописанных моделей, использованная для угла места ФС = 0°, со случайно назначенным значением угла места для каждой станции ФС на основе равномерного распределения углов места от 0° до верхней границы, равной от 5° до 25°. Равномерное распределение углов места ФС, вероятнее всего, имеет Гауссовскую природу. На рисунке 21 представлены результаты этого моделирования.

РИСУНОК 21



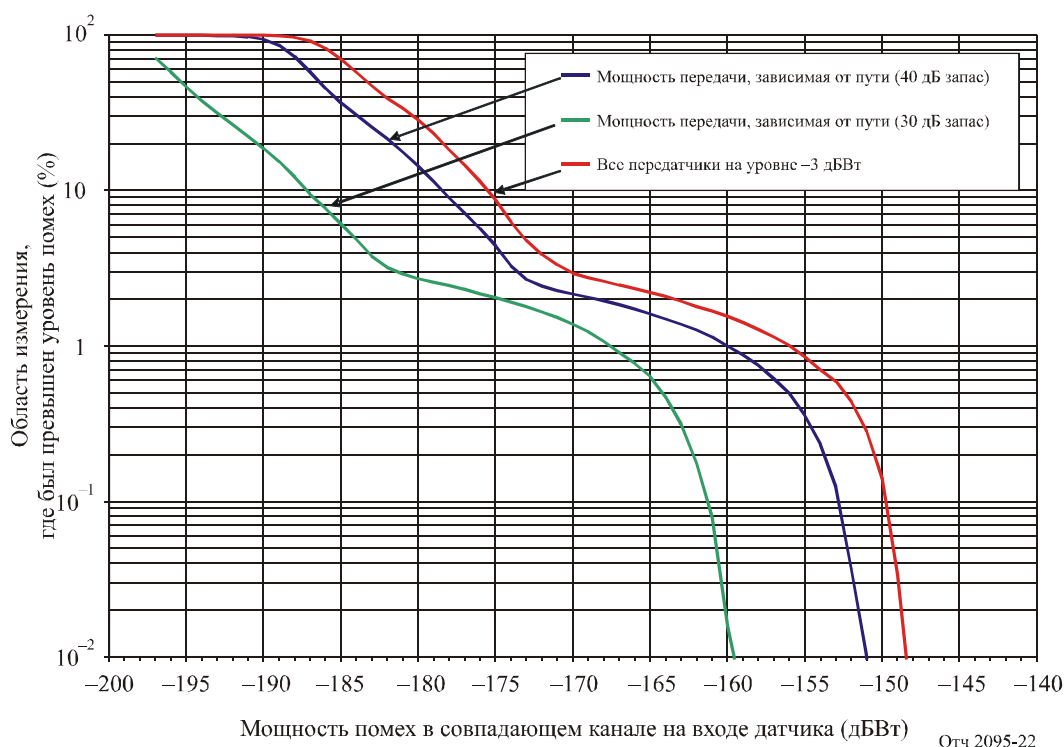
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Хотя в настоящих исследованиях, для того чтобы определить значение угла места, при котором уровень помех значительно возрастает, рассматривались углы места ФС до 25°, в действующих системах редко встречается угол места ФС больше 5°.

В предыдущих моделях помех, как правило, предполагалось, что все передатчики ФС работают на одной частоте. Однако исследование некоторых записей данных о лицензиях, выданных в других полосах частот фиксированной службы, показало наличие различных значений разрешенной мощности передатчика. Одной из причин существования различных значений мощности передатчиков могут быть различия в протяженности трассы радиосвязи.

Модель была создана таким образом, чтобы мощность передатчика станций ФС "из пункта в пункт" назначалась на уровнях, которые обеспечивают определенный уровень приема при условии распространения в свободном пространстве. Определенный уровень приема включает в себя запасы на замирания, равные 30 и 40 дБ. На рисунке 22 показано влияние на уровень помех пассивному датчику, оказываемое в случае применения такого способа назначения уровней мощности передатчика, по сравнению со случаем, когда предполагается, что все передатчики работают с одинаковым максимальным уровнем мощности передачи.

РИСУНОК 22

Результаты моделирования помех на основе длительности пути в зависимости от мощности передачи



5.3 ПС

Для носимого применения систем ПС был рассмотрен и рассчитан максимальный предел числа станций ПС в виде возможного способа для подавления или минимизации вероятности помех подвижной службе, работающей в данной полосе частот. Этот способ уменьшения помех подробно рассмотрен в параграфах 4.5 и 4.6.2.

Способы подавления помех, описанные в § 5.2, применимы для приложений ПС, имеющих характеристики, сходные с характеристиками системы ФС "из пункта в пункт".

6 Заключение и выводы

В настоящем отчете представлены результаты нескольких исследований с помощью моделирования, выполненных с целью оценки возможных уровней помех, которые могут быть получены приемниками службы ССИЗ (пассивной) в полосе частот 36–37 ГГц от станций ФС нескольких типов. В параграфе 4.6 приводятся результаты настоящих исследований. В таблице 13 определяется диапазон уровней мощности для служб ФС и ПС, которые могут удовлетворить критериям Рекомендации МСЭ-R RS.1029, для различных моделей развертывания станций ФС и ПС, и пассивных датчиков службы ССИЗ (пассивной), используемых в исследовании. В таблице 14 указаны проценты области измерения пассивного датчика, на которой будет превышать допустимый уровень помех пассивного датчика из Рекомендации МСЭ-R RS.1029 для уровней мощности ФС и ПС, используемых в исследованиях.

Также было проведено несколько исследований с помощью моделирования, для того чтобы охарактеризовать уровни помех, принимаемых пассивными датчиками, которые работают в полосе частот 36–37 ГГц, и оценить чувствительность данных уровней помех к изменениям системных параметров, для того чтобы оценить эффективность возможных способов подавления помех.

Рассмотрено множество технических и рабочих характеристик датчиков службы ССИЗ (пассивной) и систем ФС и ПС и оценена возможность их применения в качестве способов подавления или минимизации уровня помех. В таблице 15 определяются возможные ограничения технических и рабочих

характеристик этих систем, которые могут упрощать совместное использование полосы частот 36–37 ГГц службой ССИЗ (пассивной) и службами ФС и ПС.

ТАБЛИЦА 15

Критерии возможного совместного использования в полосе частот 36–37 ГГц

ССИЗ (пассивная)	ФС	ПС
Угол падения $\leq 60^\circ$, где угол падения определяется как угол на поверхности Земли между местной вертикальной осью и центром луча антенны пассивного датчика	Диапазон угла места $\leq 20^\circ$	
Разрешающая способность ≤ 50 км, где разрешающая способность определяется как максимальное поперечное сечение контура луча антенны пассивного датчика по уровню -3 дБ на земной поверхности	Максимальная мощность передачи "из пункта в пункт" ≤ -10 дБВт Максимальная мощность передатчика "из пункта во множество пунктов": ≤ -5 дБВт для узловых станций ≤ -10 дБВт для абонентских станций	Максимальная мощность передачи ≤ -10 дБВт Максимальная мощность передатчика ≤ -3 дБВт (если коэффициент использования меньше 40%)
Использование главного луча ≥ 92 %, где использование главного луча определяется как энергия (главный компонент и компонент перекрестной поляризации) в пределах области в 2,5 раза больше ширины луча по уровню -3 дБ, по отношению ко всей энергии в пределах всех лучей	Максимальная э.и.и.м. узловой станции "из пункта во множество пунктов" $\leq +12$ дБВт	

Каждая из отдельных записей в таблице 15, например максимальная мощность, основана на модели, предполагающей, что в активной службе не применяется никаких способов уменьшения помех. Пределы, указанные в таблице 15, могут быть уменьшены, если применяются способы уменьшения помех. Возможные способы уменьшения помех включают в себя гибкую настройку мощности (автоматическое регулирование мощности передачи (АРМП)), для того чтобы уменьшить замирания, и использование высокопроизводительных направленных антенн. Если системы ФС "из пункта в пункт" используют АРМП (автоматическое регулирование мощности передатчика), максимальное ограничение мощности передатчика может быть увеличено на соответствующее значение АРМП, используемое системой. Уровни помех службе ССИЗ (пассивной), показанные в результате исследования с помощью моделирования, использующих значения, указанные в таблице 15, превышают допустимые критерии помех из Рекомендации МСЭ-R RS.1029 для некоторых моделей развертывания, используемых в исследовании совместного использования. Тем не менее такой результат вполне приемлем для систем службы ССИЗ (пассивной), принимая во внимание необходимость равномерного распределения нагрузки, необходимой для определения критериев совместного использования для служб, совместно использующих данную полосу частот.

7 Справочные материалы

- [1] Рекомендация МСЭ-R RS.1803: Технические и эксплуатационные характеристики пассивных датчиков спутниковой службы исследования Земли (пассивной) и службы космических исследований (пассивной) в целях обеспечения возможности совместного использования полос частот 10,6–10,68 ГГц и 36–37 ГГц с фиксированной и подвижной службами.