

ОТЧЕТ МСЭ-R RS.2094

Исследования совместного использования частот спутниковой службой исследования Земли (активной) и службой радиоопределения, работающими в полосах частот 9300–9500 МГц и 9800–10 000 МГц, и совместного использования частот спутниковой службой исследования Земли (активной) и фиксированной службой в полосе частот 9800–10 000 МГц

(2007)

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1	Введение.....	3
2	Спутниковая служба исследования Земли (ССИЗ) (активная).....	3
	2.1 Применения.....	3
	2.2 Параметры.....	3
3	Службы радиоопределения.....	5
	3.1 Применения.....	5
	3.2 Параметры.....	5
4	Фиксированная служба.....	11
	4.1 Применения.....	11
	4.2 Параметры.....	11
5	Анализ помех.....	12
	5.1 Аналитическое исследование № 1: Оценка возможных помех от службы радиоопределения активным спутниковым датчиком, работающим в полосе частот 9300–9500 МГц и в полосе частот 9800–10 000 МГц.....	12
	5.1.1 Метод анализа.....	12
	5.1.2 Результаты анализа.....	16
	5.1.3 Способы уменьшения помех от радиолокационных станций с синтезированной апертурой (SAR).....	19
	5.1.4 Выводы из анализа.....	20
	5.2 Аналитическое исследование № 2: Оценка возможных помех от метеорологических радаров наземного базирования службе ССИЗ (активной) в полосе частот 9300–9500 МГц.....	21
	5.2.1 Смоделированные параметры службы ССИЗ (активной).....	21
	5.2.2 Смоделированные параметры метеорологического радара.....	21
	5.2.3 Результаты.....	21
	5.2.4 Выводы.....	23
	5.3 Аналитическое исследование № 3: Оценка максимальных уровней помех от службы ССИЗ (активной) радиолокационной службе в полосах частот 9300–9500 МГц и 9800–10 000 МГц.....	23
	5.3.1 Метод анализа.....	23
	5.3.2 Результаты анализа.....	23
	5.3.3 Рассмотрение возможности уменьшения помех.....	25
	5.3.4 Выводы из анализа.....	25

5.4	Аналитическое исследование № 4: Анализ возможных помех от службы ССИЗ (активной) метеорологическим радарам наземного базирования радиолокационной службы в полосе частот 9300–9500 МГц	25
5.4.1	Предварительный анализ	26
5.4.2	Дополнительные факторы, способствующие уменьшению помех работе метеорологических радаров	30
5.4.3	Вывод – Повторная оценка данных, полученных при предварительном анализе	34
5.5	Аналитическое исследование № 5: Исследование совместимости службы ССИЗ (активной) и фиксированной службы в полосе частот 9800–10 000 МГц	36
5.5.1	Метод анализа	36
5.5.2	Результаты анализа	40
5.5.3	Выводы из анализа	44
6	Примеры способов уменьшения помех от спутниковых радиолокационных станций SAR	45
6.1	Пример 1: Набор характеристик излучения для уменьшения помех от активных спутниковых датчиков службы ССИЗ (активной), предназначенных для использования в полосе частот шириной 500 МГц вблизи 9,6 ГГц	45
6.1.1	Набор характеристик службы ССИЗ (активной) для уменьшения помех	45
6.1.2	Выводы из анализа	47
6.2	Пример 2: Способ уменьшения помех с использованием антенны активного спутникового датчика SAR3 службы ССИЗ (активной), предназначенного для использования в полосе частот шириной 500 МГц вблизи 9,6 ГГц	47
6.2.1	Технические характеристики антенны широкополосного активного спутникового датчика SAR3	47
6.2.2	Технические характеристики радиолокационной системы наземного базирования	49
6.2.3	Данные о мощности, принимаемой на наземных станциях	49
6.2.4	Выводы из анализа	51
7	Заключение и выводы	51
8	Справочные материалы	51

1 Введение

Целью настоящего Отчета является обобщение результатов исследования совместимости спутниковой службы исследования Земли (ССИЗ) (активной) и службы радиоопределения в полосах частот 9300–9500 МГц и 9800–10 000 МГц и совместимости службы ССИЗ (активной) и фиксированной службы в полосе частот 9800–10 000 МГц.

2 ССИЗ (активная)

2.1 Применения

Планируется, что в 2007 году в полосе частот вблизи 9,6 ГГц будут работать пять радиолокационных станций (РЛС) с синтезированной апертурой (SAR). В их число входят радиолокационные станции, размещенные на борту четырех спутников группировки, заявленной, но еще не запущенной Итальянским космическим агентством (ASI); и одной РЛС SAR, имеющей обозначение "SAR3", которая в настоящее время разрабатывается Национальным агентством по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) США.

Радиолокационные станции SAR, работающие на частотах вблизи 9,6 ГГц, из-за энергетических ограничений космического аппарата будут управляться с Земли посредством команд на включение и выключение, требуемых для того, чтобы вести наблюдение за определенными районами земной поверхности. Такой режим работы приводит к тому, что РЛС SAR будут вести передачу в течение 10–20% времени. Другим режимом работы является режим работы с точечным лучом. При режиме работы с точечным лучом угол обзора выбирается в пределах от 20° до 44°, и данные будут, как правило, собираться путем просмотра от 49 до 65 подполос шириной 20 км с шагом 0,35 км по азимуту. Эти данные потом могут располагаться в виде мозаики из этих азимутальных подполос для обработки изображений размером 20 км на 20 км.

2.2 Параметры

В таблице 1 приведены технические характеристики спутниковых активных датчиков в полосе частот 9300–10 000 МГц, диаграмма направленности антенны SAR1 приведена в таблице 2, диаграмма направленности антенны SAR2 приведена в таблице 3, а диаграмма направленности антенны SAR3 приведена в таблице 4.

ТАБЛИЦА 1

Технические характеристики предполагаемых РЛС SAR

Параметры	SAR1	SAR2	SAR3
Высота орбиты (км)	400	619	506
Наклонение орбиты (градусы)	57	98	98
Центральная частота (ГГц)	9,6	9,6	9,6
Пиковая излучаемая мощность (Вт)	1 500	5 000	25 000
Модуляция импульса	Линейная частотная модуляция (ЛЧМ)	Линейная частотная модуляция	Линейная частотная модуляция
Диапазон частот импульса ЛЧМ (МГц)	10	400	450
Длительность импульса (мкс)	33,8	10–80	1–10
Частота повторения импульсов (импульсов/с)	1 736	2 000–4 500	410–515
Рабочий цикл (%)	5,9	2,0–28,0	0,04–0,5
Коэффициент сжатия диапазона	338	< 12 000	450–4 500

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Параметры	SAR1	SAR2	SAR3
Тип антенны	Волноводно-щелевая	Планарная решетка	Планарная фазированная решетка
Максимальное усиление антенны (дБи)	44,0	44,0–46,0	39,5–42,5
э.и.и.м. (дБВт)	75,8	83,0	83,5–88,5
Ориентация антенны	От 20° до 55° от надира	34° от надира	От 20° до 44° от надира
Ширина луча антенны	5,5° (по углу места) 0,14° (по азимуту)	1,6–2,3° (по углу места) 0,3° (по азимуту)	1,1–2,3° (по углу места) 1,15° (по азимуту)
Поляризация антенны	Линейная вертикальная	Линейная (ГГ) или (ВВ)	Линейная горизонтальная/вертикальная
Шумовая температура системы (К)	551	500	600

ТАБЛИЦА 2

Диаграмма направленности антенны SAR1 вблизи частоты 9,6 ГГц

Диаграмма	Усиление $G(\theta)$ (дБи) как функция угла от оси θ (градусы)	Угловой диапазон (градусы)
Вертикальная (по углу места)	$G_v(\theta_v) = 44,0 - 0,397(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 24,5$ $G_v(\theta_v) = 9,5$ $G_v(\theta_v) = 22,5$	$\theta_v < 7,1$ $7,1 \leq \theta_v \leq 30$ $30 < \theta_v \leq 60$ $\theta_v > 60$
Горизонтальная (по азимуту)	$G_h(\theta_h) = 0 - 612,2(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -12$ $G_h(\theta_h) = 0 - 27,0(\theta_h)$ $G_h(\theta_h) = -35$	$\theta_h \leq 0,14$ $0,14 < \theta_h \leq 0,44$ $0,44 < \theta_h \leq 1,3$ $\theta_h > 1,3$
Диаграмма луча	Максимально $G(\theta) = \{G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h), -3\}$	

ТАБЛИЦА 3

Диаграмма направленности антенны SAR2 вблизи частоты 9,6 ГГц

Диаграмма	Усиление $G(\theta)$ (дБи) как функция угла от оси θ (градусы)	Угловой диапазон (градусы)
Вертикальная (по углу места)	$G_v(\theta_v) = 46,0 - 0,835(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 31,0$ $G_v(\theta_v) = 26,0$ $G_v(\theta_v) = 10,0$	$\theta_v < 3,8$ $3,8 \leq \theta_v \leq 15$ $15 < \theta_v \leq 30$ $\theta_v > 30$
Горизонтальная (по азимуту)	$G_h(\theta_h) = 0 - 444,5(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -16$ $G_h(\theta_h) = -20,0(\theta_h)$	$\theta_h \leq 0,3$ $0,3 < \theta_h \leq 0,7$ $\theta_h > 0,7$
Диаграмма луча	Максимально $G(\theta) = \{G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h), -3\}$	

ТАБЛИЦА 4

Диаграмма направленности антенны SAR3 вблизи частоты 9,6 ГГц

Диаграмма	Усиление $G(\theta)$ (дБи) как функция угла от оси θ (градусы)	Угловой диапазон (градусы)
Вертикальная (по углу места)	$G_v(\theta_v) = 42,5 - 9,92(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 31,4 - 0,83 \theta_v$ $G_v(\theta_v) = 10,5 - 0,133 \theta_v$	$0 < \theta_v < 1,1$ $1,1 \leq \theta_v < 30$ $\theta_v \geq 30$
Горизонтальная (по азимуту)	$G_h(\theta_h) = 0,0 - 9,07(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = +1,9 - 12,08 \theta_h$ $G_h(\theta_h) = -48$	$0 < \theta_h < 1,15$ $1,15 \leq \theta_h < 4,13$ $\theta_h \geq 4,13$
Диаграмма луча	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

3 Службы радиоопределения

3.1 Применения

Полоса частот 8500–10 500 МГц используется радарными системами различных типов на платформах наземного базирования, транспортируемых, судовых и самолетных. Функции радиоопределения, выполняемые в данном частотном диапазоне, включают в себя: определение воздушных и наземных целей, аэрофотосъемку земной поверхности, огибание рельефа местности, навигацию (воздушную и морскую) и метеорологические функции (воздушного и наземного базирования).

3.2 Параметры

Характеристики радара радиоопределения приведены в справочном документе [1]. Характеристики представлены для десяти самолетных радарных систем, девяти судовых радарных систем и восьми систем наземного базирования на маяках, которые работают в полосе частот 8500–10 500 МГц. Для последующих исследований был выбран набор типовых радарных систем, которые работают в полосе частот 9300–10 000 МГц. Их характеристики приведены в таблицах 5, 6 и 7.

ТАБЛИЦА 5

Характеристики самолетных радаров радиоопределения, работающих в полосе частот 8500–10 500 МГц

Характеристики	Система А1	Система А2	Система А3
Функция	Радар поиска и сопровождения (многофункциональный)	Самолетная РЛС обнаружения	Радар аэрофотосъемки и огибания рельефа местности (многофункциональный)
Диапазон настройки (МГц)	9 300–10 000	8 500–9 600	9 240, 9 360 и 9 480
Модуляция	Импульсная	Импульсная	Некогерентная с быстрой перестройкой частоты время-импульсная модуляция
Пиковая мощность на входе антенны (кВт)	17	143 (мин) 220 (макс)	95
Длительность импульса (мкс) и частота повторения импульса	0,285; от 8 200 до 23 000 импульсов/с	2,5; 0,5 400 и 1 600 импульсов/с	0,3, 2,35, и 4 2 000, 425 и 250 импульсов/с, соотв.
Максимальный рабочий цикл	0,0132	0,001	0,001
Время нарастания/спада импульса (мкс)	0,01/0,01	0,02/0,2	0,1/0,1
Выходное устройство	Лампа бегущей волны	Перестраиваемый магнетрон	Магнетрон с объемным резонатором

ТАБЛИЦА 5 (продолжение)

Характеристики	Система А1	Система А2	Система А3
Тип диаграммы направленности антенны	Сфокусированная	Веерная	Сфокусированная
Тип антенны	Планарная решетка	Параболический отражатель	Планарная решетка с плоскими пластинами
Поляризация антенны	Линейная	Линейная	Круговая
Усиление главного луча антенны (дБи)	32,5	34	28,3
Ширина диаграммы направленности антенны по углу места (градусы)	4,6	3,8	5,75
Ширина диаграммы направленности антенны по азимуту (градусы)	3,3	2,5	5,75
Скорость горизонтального сканирования антенны	118 сканирований/мин	6 или 12 об/мин	До 53 сканирований/мин
Тип горизонтального сканирования антенны (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	Секторное: $\pm 60^\circ$ (механическое)	360° (механическое)	Секторное: $\pm 60^\circ$ (механическое)
Скорость вертикального сканирования антенны	59 сканирований/мин	Не применимо	До 137 сканирований/мин
Тип вертикального сканирования антенны	Секторное: $\pm 60^\circ$ (механическое)	Не применимо	Секторное: $+25/-40^\circ$ (механическое)
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные боковые лепестки)	7,5 дБи при 15°	Не определено	5,3 дБи при 10°
Высота антенны	Высота летательного аппарата	Высота летательного аппарата	Высота летательного аппарата
Ширина полосы частот приемника по уровню 3 дБ на промежуточной частоте (ПЧ) (МГц)	3,1; 0,11	5	5,0, 1,8 и 0,8
Коэффициент шума приемника (дБ)	Не определен	Не определен	6
Минимальный различимый сигнал (дБм)	-103	-107; -101	-101
Общая ширина радиопульса с линейной частотной модуляцией (МГц)	Не применимо	Не применимо	Не применимо
Ширина полосы частот приемника по уровню (МГц) – 3 дБ – 20 дБ	3,1; 0,11 22,2; 0,79	0,480; 2,7 1,5; 6,6	(Зависит от частоты и длительности импульса) От 100 до 118 От 102 до 120
Функция	Навигация	Поиск (радиолокационный), метеорология	Прогнозирование стихийных атмосферных явлений, аэрофотосъемка, поиск
Диапазон настройки (МГц)	Быстрая перестройка частоты для каждого импульса в полосе шириной 340 МГц	9 250–9 440, Быстрая перестройка частоты для каждого импульса, с шагом 20 МГц	Предварительный импульс "разогрева" на частоте: 9 337 и 9 339 (перед каждым рабочим импульсом) Рабочий импульс на частоте: 9 344
Модуляция	Импульс с линейной частотной модуляцией	Импульс с частотной модуляцией	Импульсная
Пиковая мощность на входе антенны	50 кВт	10 кВт	26 Вт (14 дБВт)
Длительность импульса (мкс) и частота повторения импульса	10 примерно 380 импульсов/с	5 и 17 2 500, 1 500, 750 и 400 импульсов/с (все значения длительности импульса)	9 337 и 9 339 МГц; 1–29 мкс при 2 200–220 импульсов/с (колеблется) для всех значение длительности импульса; 9 344 МГц; 1,7–2,4, 2,4–4,8, 4,8–9,6, 17, 19 и 29 мкс при 2 200–220 импульсов/с (колеблется)

ТАБЛИЦА 5 (окончание)

Максимальный рабочий цикл	0,004	0,04	9 337 и 9 339 МГц: $\leq 0,064$ 9 344 МГц: $\leq 0,011$ (для импульсов длительностью 17 мкс)
Время нарастания/спада импульса (мкс)	0,1/0,1	0,1/0,1	9 337 и 9 339 МГц: 0,3/0,2 9 344 МГц: 0,5/0,5
Выходное устройство	Лампа бегущей волны	Лампа бегущей волны	Лавинно-пролетный диод
Тип диаграммы направленности антенны	Сфокусированная / Веерная	Веерная	Сфокусированная
Тип антенны	Параболический отражатель	Щелевая антенная решетка	Плоская решетка
Поляризация антенны	Горизонтальная	Вертикальная и горизонтальная	Горизонтальная
Усиление главного луча антенны (дБи)	34,5	32	29
Ширина диаграммы направленности антенны по углу места (градусы)	4,0	9,0	<10
Ширина диаграммы направленности антенны по азимуту (градусы)	2,4	1,8	7
Скорость горизонтального сканирования антенны	36, 360, 1800°/с	15 или 60 об/мин	30°/с
Тип горизонтального сканирования антенны (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	Секторное 10°	360°	Секторное 60° или 120°
Скорость вертикального сканирования антенны	Не применяется	Не применяется	Не применяется
Тип вертикального сканирования антенны (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	Избирательный наклон 0°/-90°	Избирательный наклон +15°/-15°	Наклон по решению оператора: $\pm 30^\circ$
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные боковые лепестки)	14,5 дБи при 12°	20 дБи	+13,9 дБи
Высота антенны	Высота летательного аппарата	Высота летательного аппарата	Высота летательного аппарата
Ширина полосы частот приемника по уровню 3 дБ на промежуточной частоте (ПЧ) (МГц)	Не определена	16	2,0
Коэффициент шума приемника (дБ)	5	Не определен	2
Минимальный различимый сигнал (дБм)	Зависит от выигрыша в отношении сигнал-шум при обработке (17 дБ для одного обратного импульса)	-98	-128 (чувствительность обнаружения после обработки)
Общая ширина радиоимпульса с линейной частотной модуляцией (МГц)	5	10	Не применимо
Ширина полосы частот приемника по уровню (МГц)			
- 3 дБ	4,5	9,3	-3 дБ: 9 337 и 9 339 МГц: 0,7 9 344 МГц: 0,4, 0,25, 0,150, 0,75, 0,08 и 0,05
- 20 дБ	7,3	12	-20 дБ: 9 337 и 9 339 МГц: 3,6 9 344 МГц: 1,8, 1,5, 0,8, 0,375, 0,35 и 0,2

ТАБЛИЦА 6

**Характеристики судовых радаров радиоопределения, работающих
в полосе частот 8500–10 500 МГц**

Характеристики	Система S1	Система S3	Система S4	
Функция	Радар поиска и навигации	Радар поиска на небольшой высоте и на водной поверхности (многофункциональный)	Радар морской радионавигации	
Тип платформы	Судовая, береговые тренировочные центры	Судовая	Судовая	
Диапазон настройки (МГц)	8 500–9 600	8 500–10 000	9 375 ± 30 и 9 445 ± 30	
Модуляция	Импульсная	Импульсная с быстрой перестройкой частоты	Импульсная	
Пиковая мощность на антенне (кВт)	35	10	5 (мин)	50 (макс)
Длительность импульса (мкс) и частота повторения импульса	0,1; 0,5 1 500; 750 импульсов/с	От 0,56 до 1,0; 0,24 19 000 до 35 000 импульсов/с; от 4 000 до 35 000 импульсов/с	0,03 (мин) при 4 000 импульсов/с (макс)	1,2 (макс) при 375 импульсов/с (мин)
Максимальный рабочий цикл	0,00038	0,020	0,00045	
Время нарастания/спада импульса (мкс)	0.08/0.08	0.028/0.03; 0.038/0.024	Не определено	
Выходное устройство	Магнетрон	Лампа бегущей волны	Магнетрон	
Тип диаграммы направленности антенны	Веерная	Сфокусированная	Веерная	
Тип антенны	Рупорная решетка	Щелевая решетка	Щелевая решетка	
Поляризация антенны	Линейная	Линейная	Не определена	
Усиление в главном луче антенны (дБи)	29	39	27 (мин)	32 (макс)
Ширина диаграммы направленности антенны по углу места (градусы)	13	1	20,0 (мин)	26,0 (макс)
Ширина диаграммы направленности антенны по азимуту (градусы)	3	1,5	0,75 (мин)	2,3 (макс)
Скорость горизонтального сканирования антенны	9,5 об/мин	180°/с	20 (мин)	60 (макс)
Тип горизонтального сканирования антенны (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	360° (механическое)	360° или поиск по секторам/следу (механическое)	360°	
Скорость вертикального сканирования антенны	Не применимо	Не применимо	Не применимо	
Тип вертикального сканирования антенны	Не применимо	Не применимо	Не применимо	
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные боковые лепестки)	Не определены	23 дБи (1-й SL)	-4 дБи при ≤ 10° (мин) -13 дБи при ≥ 10° (макс)	9 дБи при ≤ 10° (макс) 2 дБи при ≥ 10° (макс)
Высота антенны	Высота палубы/мачты	Высота палубы/мачты	Высота палубы/мачты	
Промежуточная частота приемника (МГц)	Не определена	Не определена	45 (мин)	60 (макс)
Ширина полосы частот приемника по уровню 3 дБ на промежуточной частоте (ПЧ) (МГц)	12	2,5; 4; 12	6; 2,5 (мин) (короткий и длинный импульс, соотв.)	28; 6 (макс) (короткий и длинный импульс, соотв.)
Коэффициент шума приемника (дБ)	Не определен	9	3,5 (мин)	8,5 (макс)
Минимальный различимый сигнал (дБм)	-96	-102; -100; -95	-106 (мин)	-91 (макс)
Ширина радиоимпульса с линейной частотной модуляцией (МГц)	Не применимо	Не применимо	Не применимо	

ТАБЛИЦА 6 (окончание)

Характеристики	Система S6	Система S7	Система S9	
Ширина полосы частот приемника по уровню (МГц) – 3 дБ – 20 дБ	10; 5 80; 16	1,6; 4,2 10; 24	Не определено Не определено	
Функция	Радар морской радионавигации	Навигация и поиск	Радар морской радионавигации	
Тип платформы	Судовая	Судовая	Судовая	
Диапазон настройки (МГц)	9 380–9 440	9 300–9 500	9 410±30	9 445 ± 30
Модуляция	Импульсная	Импульсная	Импульсная	
Пиковая мощность на входе антенны (кВт)	25	1,5	1,5–10	
Длительность импульса (мкс) и частота повторения импульса	0,08, 0,2, 0,4, 0,7, и 1,2 2 200 импульсов/с (0,08 мкс); 1 800, 1 000 и 600 импульсов/с (1,2 мкс)	0,08, 0,25, и 0,5 2 250, 1 500 и 750 импульсов/с	0,08 (мин) при 3 600 импульсов/с	1,2 (макс) при 375 импульсов/с
Максимальный рабочий цикл	0,00072	0,000375	0,00045	
Время нарастания/спада импульса (мкс)	0,010/0,010	0,01/0,05	Не определено	
Выходное устройство	Магнетрон	Магнетрон	Магнетрон	
Тип диаграммы направленности антенны	Веерная	Веерная	Веерная	
Тип антенны	Щелевая решетка с несимметричным возбуждением	Щелевой волновод с центральным возбуждением	Щелевая/коммутируемая решетка или рупор	
Поляризация антенны	Горизонтальная	Горизонтальная	Горизонтальная	
Усиление в главном луче антенны (дБи)	31	23,9	22–30	
Ширина диаграммы направленности антенны по углу места (градусы)	20	25	24–28	
Ширина диаграммы направленности антенны по азимуту (градусы)	0,95	6	1,9–7	
Скорость горизонтального сканирования антенны	24 об/мин	24 об/мин	24 об/мин	
Тип горизонтального сканирования антенны (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	360°	360°	360°	
Скорость вертикального сканирования антенны	Не применимо	Не применимо	Не применимо	
Тип вертикального сканирования антенны	Не применимо	Не применимо	Не применимо	
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные боковые лепестки)	Не определены	+2,9 дБи	22 дБи главный луч: от 3 до 4 дБи в пределах 10°; от 0 до 3 дБи свыше 10° 30 дБи главный луч: от 7 до 10 дБи в пределах 10°; от –2 до +7 дБи свыше 10°	
Высота антенны	Уровень мачты	Уровень мачты	Уровень мачты	
Промежуточная частота приемника (МГц)	Не определена	Не определена	45–60	
Ширина полосы частот приемника по уровню 3 дБ на промежуточной частоте (ПЧ) (МГц)	15	10 и 3	2,5–25	
Коэффициент шума приемника (дБ)	6	6	4–8	
Минимальный различимый сигнал (дБм)	–97 (минимальный уровень шума)	–102 (минимальный уровень шума)	Не определен	
Ширина радиоимпульса с линейной частотной модуляцией (МГц)	Не применимо	Не применимо	Не применимо	
Ширина полосы частот приемника по уровню (МГц) – 3 дБ – 20 дБ	14 43	20 55	Не определена	

ТАБЛИЦА 7

Характеристики маяков и радаров радиоопределения наземного базирования, работающих в полосе частот 8500–10 500 МГц

Характеристики	Система G2	Система G3	Система G9
Функция	Маяк-ответчик обеспечения встречи	Радар слежения	Метеорологический (радиолокационный)
Тип платформы	Наземная (ранцевая)	Наземная (возимая)	Наземная
Диапазон настройки (МГц)	9 375 и 9 535 (прием); 9 310 (передача)	9 370–9 990	9 300–9 375 МГц
Модуляция	Импульсная	Импульсная с быстрой перенастройкой частот	Импульсная
Пиковая мощность на антенне	От 20 до 40 Вт	31 кВт	50 кВт
Длительность импульса (мкс) и частота повторения импульса	От 0,3 до 0,4 Менее 20 000 импульсов/с	1 От 7 690 до 14 700 импульсов/с	0,1, 0,25 и 1,0 От 1 000 до 2 000 импульсов/с
Максимальный рабочий цикл	0,008	0,015	0,002
Время нарастания/спада импульса (мкс)	0,10/0,15	0,05/0,05	0,05
Выходное устройство	Полупроводниковое	Лампа бегущей волны	Клистрон или магнетрон
Тип диаграммы направленности антенны	Секторная	Сфокусированная	Сфокусированный луч
Тип антенны	Решетка на печатной плате	Фазовая решетка (линейный щелевой волновод)	Параболический рефлектор с облучателем Кассгрена
Поляризация антенны	Круговая	Линейная	Линейная (двойной поляризации)
Усиление главного луча антенны (дБи)	13	42,2	46
Ширина диаграммы направленности антенны по углу места (градусы)	20; 3	0,81	0,9
Ширина диаграммы направленности антенны по азимуту (градусы)	65; 10	1,74	0,9
Скорость горизонтального сканирования антенны	Не применимо	Не применимо	От 0 до 20°/с
Тип горизонтального сканирования антенны (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	Не применимо	Секторное: ± 45° (фазовое сканирование)	Объемное, секторное, стационарное и слежение
Скорость вертикального сканирования антенны	Не применимо	Не определена	От 0 до 20°
Тип вертикального сканирования антенны	Не применимо	Секторное: 90° ± угол наклона решетки (частотное сканирование)	Изменяет угол места после горизонтального вращения или меняет угол места при постоянном значении азимута
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные боковые лепестки)	0 дБи (1-й SL)	Не определены	26 дБи
Высота антенны	Уровень земли	Уровень земли	4 м
Ширина полосы частот приемника по уровню 3 дБ на промежуточной частоте (ПЧ) (МГц)	40	1	10, 4 или 1
Коэффициент шума приемника (дБ)	13	Не определен	-110
Минимальный различимый сигнал (дБм)	-65	-107	Не определен
Ширина радиоимпульса с линейной частотной модуляцией (МГц)	Не применимо	Не применимо	Не применимо
Ширина полосы частот приемника по уровню (МГц) – 3 дБ – 20 дБ	4,7 11,2	0,85 5,50	Не определен 6–60 МГц – зависит от длительности импульса

4 Фиксированная служба

4.1 Применения

В Рекомендации МСЭ-R F.758-3 приведены различные параметры для систем фиксированной службы (ФС), которые используются в данном общем участке спектра, но не представлено никаких конкретных описаний систем ФС для полосы частот 9800–10 000 МГц. Предполагается, что в этой полосе частот системы ФС работают в качестве радиорелейных линий СВЧ-диапазона "из пункта в пункт".

4.2 Параметры

В Рекомендации МСЭ-R F.758-3 приведены различные параметры систем фиксированной службы (ФС), которые используются в данном общем участке спектра, но не представлено никаких конкретных описаний систем ФС для полосы частот 9800–10 000 МГц. Предполагается, что параметры, приведенные для систем фиксированной службы "из пункта в пункт" (P-P), работающих в полосе частот 10,6–10,68 ГГц, будут также применимы в пределах полосы частот 9800–10 000 МГц для исследований в настоящем Отчете. Такие системы преимущественно используются в городах и пригородных районах, однако нет конкретной информации касательно числа таких систем или частотного плана, который следует использовать при исследовании возможности совместного использования частот. В отсутствие более определенной информации предполагалось, что каждый канал используется один раз. Однако следует заметить, что при практической реализации систем фиксированной службы на больших городских территориях каналы в пределах этой полосы частот могут использоваться многократно.

В таблице 8 приведены параметры для фиксированной службы "из пункта в пункт".

ТАБЛИЦА 8

Параметры стационарных систем "из пункта в пункт" фиксированной службы

Параметр	Значение
Модуляция	Частотная манипуляция (ЧМн), квадратурная фазовая модуляция (QPSK)
Емкость	16 Мбит/с
Разнос каналов (МГц)	14
Усиление антенны (максимум) (дБи)	49
Диаграмма направленности антенны	Рекомендация МСЭ-R F.1245-1
Потери в фидере/мультиплексоре (минимум) (дБ)	0
Тип антенны	Параболическая
Максимальная выходная мощность передатчика (дБВт)	-2
э.и.и.м. (максимум) (дБВт)	47
Промежуточная частота приемника (МГц)	14
Коэффициент шума приемника (дБ)	3
Тепловой шум приемника (дБВт)	-129,5
Номинальный сигнал на входе приемника (дБВт)	-60
Сигнал на входе приемника для КОБ = 1×10^{-3} (дБВт)	-114

5 Анализ помех

5.1 Аналитическое исследование № 1: Оценка возможных помех от службы радиоопределения активным спутниковым датчикам, работающим в полосе частот 9300–9500 МГц и полосе частот 9800–10 000 МГц

5.1.1 Метод анализа

Была разработана компьютерная имитационная модель, с помощью которой вычисляется изменяющийся во времени уровень мощности помех приемнику активного спутникового датчика SAR от систем радиоопределения. С использованием данной модели собирались статистические данные по помехам в виде вероятности превышения некоторого уровня мощности помех и максимального уровня мощности помех на входе приемника SAR.

В Рекомендации МСЭ-R RS.1166 определяются качественные показатели и критерии помех для активных спутниковых датчиков. Критерием недопустимого ухудшения качественных показателей для радаров формирования изображений или для топографических интерферометрических РЛС SAR, работающих в полосе частот 9500–9800 МГц, является пиковый уровень мощности, равный -104 дБ(Вт/20 МГц) или $-89,9$ дБ(Вт/512 МГц) для РЛС SAR3. Этот критерий применяется к источникам импульсных (не ЧМ) помех длительностью 2 мкс или меньше. Для импульсов продолжительностью более 2 мкс рассчитан порог помех, равный -102 дБ(Вт/20 МГц); однако в настоящем аналитическом исследовании используется критерий для наихудшего случая, равный -104 дБ(Вт/20 МГц).

В Рекомендации МСЭ-R RS.1166 критерий доступности определен как: "В совместно используемых полосах частот готовность данных РЛС SAR должна превышать 99% для всех географических пунктов, являющихся целевыми отобранными участками или глобального покрытия в топографической картографии".

Моделирование было выполнено для двух вариантов. Моделирование по первому варианту предполагает работу в канале, совпадающем с центральной частотой РЛС SAR 9600 МГц, при совпадающей поляризации и с шириной полосы пропускания приемника SAR по промежуточной частоте (ПЧ) 512 МГц. При моделировании по второму варианту используется частотно-зависимое подавление (FDR). В ходе моделирования вычислялся уровень помех от единственного источника помех, а также совокупные уровни помех от 1000 радиолокационных систем распределенных случайным образом.

Для определения влияния на работу РЛС SAR3 множества радиолокационных систем, предполагалось, что по всему миру развернуто по сто РЛС каждого из десяти видов типовых радиолокационных систем, что в результате составляет 1000 развернутых радиолокационных систем.

Использовалось случайное расположение радарных систем, равномерно распределенных по территории от -60° до $+70^\circ$ по широте и от -180° до $+180^\circ$ по долготе. Были произведены небольшие изменения в случайном расположении радаров таким образом, чтобы все фиксированные радары располагались на земле, а все судовые радары базировались на морях, озерах и реках. Самолетные радары были размещены повсюду с разной высотой над уровнем моря в пределах от 1 до 10 км.

Изначально углы места передающей антенны были выбраны такими, как описано ниже, и оставались неизменными в течение всего времени моделирования.

- Радар A1 – значения углов места были выбраны как случайное значение между $\pm 60^\circ$
- Радар A2 – значения углов места для всех радаров A2 были равны 0°
- Радар A3 – значения углов места были выбраны как случайное значение между -40° и $+25^\circ$
- Радар A7d – значения углов места были выбраны как случайное значение между -90° и 0°
- Радар A8 – значения углов места были выбраны как случайное значение между $\pm 15^\circ$
- Радар G3 – значения углов места были выбраны как случайное значение между 0° и 90°
- Радар S1 – значения углов места для всех радаров S1 были равны 3°
- Радар S3 – значения углов места для всех радаров S3 были равны 0°

- Радар S6 – значения углов места для всех радаров S6 были равны 5°
- Радар S7 – значения углов места для всех радаров S7 были равны 8°

Каждая передающая антенна радара вела сканирование по азимуту со скоростями, указанными в таблицах 5, 6 и 7, используя начальное значение азимута, случайно выбранное в пределах $\pm 180^\circ$. Ориентация направления для каждого самолетного радара или судового радара также выбиралось случайно между $\pm 180^\circ$.

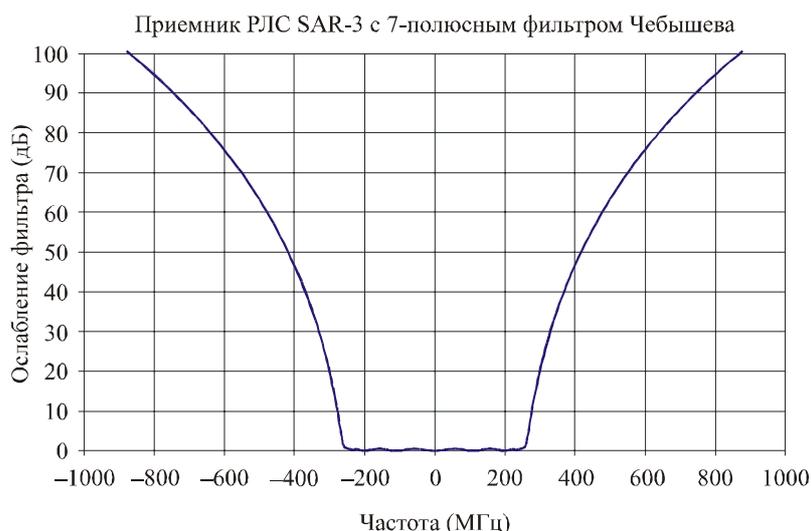
Для моделей с использованием FDR частота приема SAR была установлена равной 9600 МГц, а частоты передачи радара менялись случайным образом в течение каждой временной выборки в пределах диапазона настройки, указанного в таблицах 5, 6 и 7. Значения FDR в децибелах были получены при использовании описанного ниже способа и применены при вычислении помех.

Каждое моделирование производилось для 10-дневного интервала с шагом приращения времени, равным трем секундам. При каждом приращении определялись азимут и угол места каждой радиолокационной антенны, исходя из скорости сканирования антенны. Расстояние между приемником радиолокационной станции SAR и передатчиками радара рассчитывалось на основе параметров орбиты РЛС SAR и данных о местонахождении радиолокационной станции. Мощность помех радарных станций по отношению к радиолокационной станции SAR, испытывающей воздействие этих помех, вычислялась по уравнениям (15) и (16) из Приложения 1 к Рекомендации МСЭ-R M.1461-1.

Частотно-зависимое подавление (FDR), использованное в данном анализе, представляет собой величину ослабления, вносимого приемником РЛС SAR3 в сигналы, передаваемые радаром. Данное ослабление состоит из двух частей: подавление на частоте настройки (OTR) и подавление внеполосных сигналов (OFR). Значение FDR вычисляется в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SM.337-4 "Частотное и пространственное разнесение".

На рисунке 1 изображен семиполосный фильтр Чебышева с центральной частотой 9,6 ГГц и полосой пропускания по промежуточной частоте на уровне 3 дБ, равной 512 МГц, который был применен в приемнике РЛС SAR3.

РИСУНОК 1

Фильтр Чебышева в приемнике РЛС SAR3

Отч 2094-01

Чтобы определить спектральную плотность мощности для передатчика каждого радара, были использованы формулы расчета ширины полосы частот импульса радиолокационного передатчика по уровню 40 дБ из Рекомендации МСЭ-R SM.1541, Приложение 8 (ограничения в области

внеполосного излучения для первичных радиолокационных систем). В таблице 9 приведены параметры радара, использованные для вычисления спектральной маски излучения радара. Диаграммы спектра радара, изображенные на рисунке 2 в виде одной боковой полосы, уменьшаются со скоростью 20 дБ на декаду за пределами полосы частот по уровню 40 дБ.

ТАБЛИЦА 9

Параметры радара для вычисления радиочастотного спектра МСЭ-R SM.1541-1

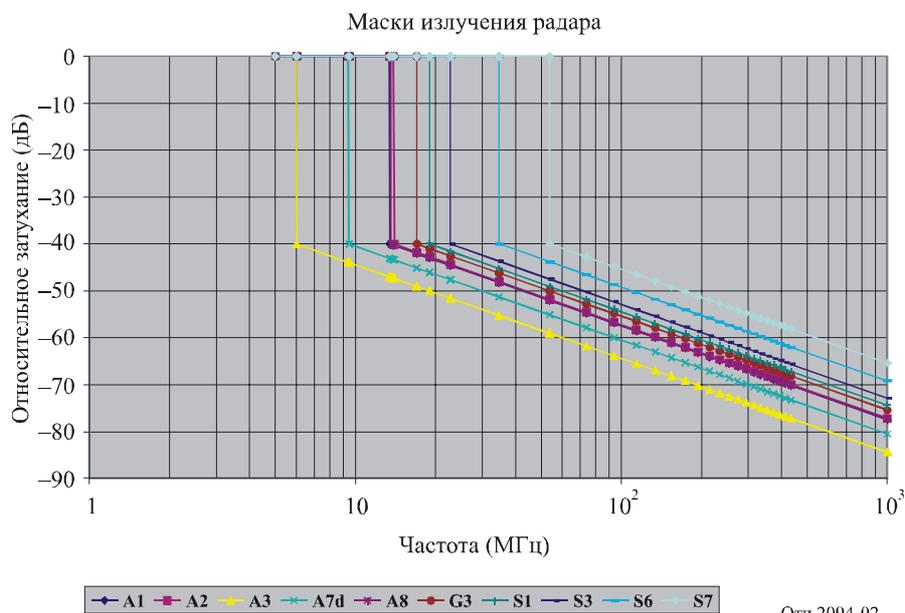
	Радиолокационная система									
	A1	A2	A3	A7d	A8	G3	S1	S3	S6	S7
Пиковая перед. мощность (кВт)	17	143	95	50	10	31	35	10	25	1,5
Тип модуляции	импульсная	импульсная	импульсная	ЛЧМ	ЛЧМ	импульсная	импульсная	импульсная	импульсная	импульсная
Длительность импульса (мкс)	8,00	2,50	4,0	10,0	17,0	1,0	0,5	1,0	1,2	0,5
Время нарастания импульса (мкс)	0,010	0,020	0,100	0,100	0,100	0,050	0,080	0,028	0,010	0,010
Длительность спада импульса (мкс)	0,010	0,020	0,100	0,100	0,100	0,050	0,080	0,030	0,010	0,050
Полоса частот радиоимпульса с линейной частотной модуляцией (МГц)	н/п	н/п	н/п	5	10	н/п	н/п	н/п	н/п	н/п

ЛЧМ: Линейно-частотная модуляция

н/п: не применимо

РИСУНОК 2

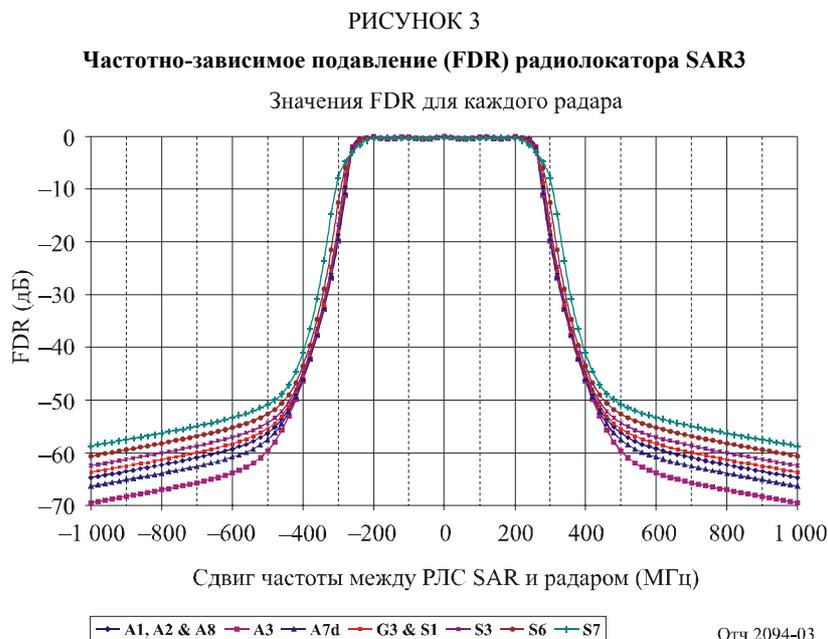
Диаграммы спектра передачи радара



Итоговые диаграммы FDR, полученные при помощи уравнений из Рекомендации МСЭ-R SM.337-4, изображены на рисунке 3. Радары со схожими результатами FDR объединены в одну диаграмму. Объединенные диаграммы показаны для: радаров A1, A2 и A8; радаров A3 и A7d; и радаров G3 и S1. Диаграммы для радаров S3, S6 и S7 изображены раздельно.

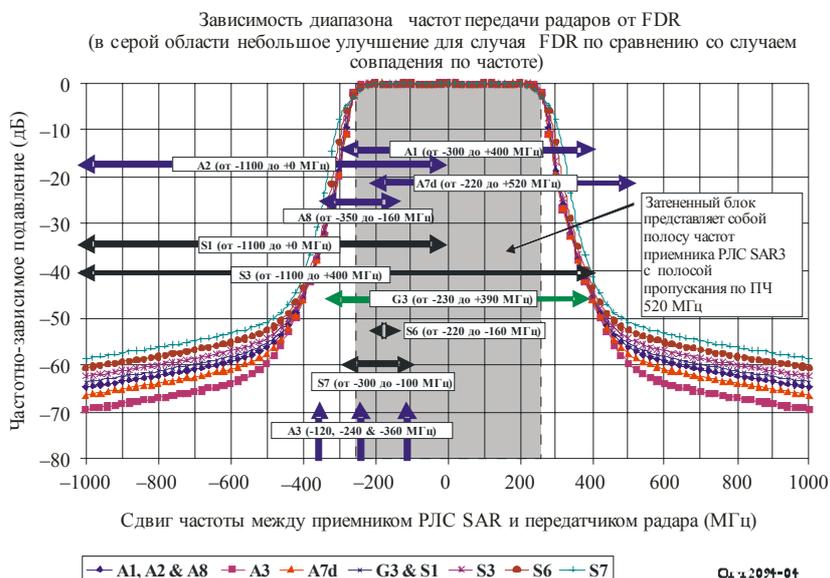
Как видно на центральной части рисунка 3, значения FDR незначительны для разноса частот менее ± 250 МГц. Компонентом подавления на частоте настройки в уравнении FDR можно пренебречь,

поскольку ширина полосы пропускания по ПЧ у РЛС SAR3 велика, по сравнению с шириной полосы частот передачи радара. При вычислении значения FDR основным фактором является внеполосное подавление сигналов из-за разницы между центральной частотой приема РЛС SAR3 и центральной частотой передачи радара. На основе данных о FDR на рисунке 3 была создана справочная таблица, содержащая значения FDR в зависимости от сдвига частот, и она была использована в ходе моделирования, в котором частоты передачи РЛС для каждого шага моделирования изменялись случайным образом.



На рисунке 4 показан диапазон частот, в пределах которого центральные частоты радара изменяются скачкообразно. Если частота радара выбирается из затемненной области, то особой разницы между случаями анализа на совпадающей частоте и анализа для FDR не будет. Вне пределов серой области FDR увеличивается, что приводит к более низкому уровню мощности помех на приемнике радиолокационной станции SAR.

РИСУНОК 4
Сравнение значения FDR радиолокатора SAR3 и диапазона настройки передатчика радара



5.1.2 Результаты анализа

В данном разделе приведены результаты анализа для:

- a) Анализа на совпадающей частоте с целью определения:
 - Индивидуальных уровней помех РЛС SAR3 от каждой радарной системы
 - Суммарного уровня помех РЛС SAR3 от 1000 радарных систем, географически распределенных случайным образом
- b) Анализа частотно-зависимого подавления (FDR) с целью определения:
 - Индивидуальных уровней помех РЛС SAR3 от каждой радарной системы
 - Суммарного уровня помех РЛС SAR3 от 1000 радарных систем, географически распределенных случайным образом.

5.1.2.1 Анализ на совпадающей частоте – Случай отдельного источника помех

На рисунке 5 показаны диаграммы интегральной функции распределения результирующих помех на входе спутниковой РЛС SAR от радиолокационных передатчиков самолетного, судового и наземного базирования. В таблице 10 приведены итоговые статистические данные о помехах для уровней, превышаемых в течение 1% времени, и уровней максимальных помех. Уровни максимальных помех для моделируемых радаров гораздо меньше критерия помех спутниковых радиолокационных станций SAR, равного $-89,9$ дБ(Вт/512 МГц), за исключением радиолокационной системы А1, в которой этот критерий превышает в течение менее чем 0,01% времени. В этих моделях в собранную статистику включались все значения помех свыше -300 дБВт. Предполагается, что для значений меньше -300 дБВт не было видимых различий между РЛС SAR3 и радарными.

В каждом примере моделирования радар вел непрерывную передачу из фиксированной точки с координатами 40° с.ш. и 97° з.д.

РИСУНОК 5

Результаты помех для отдельного мешающего радара

Результаты анализа при совпадении частот

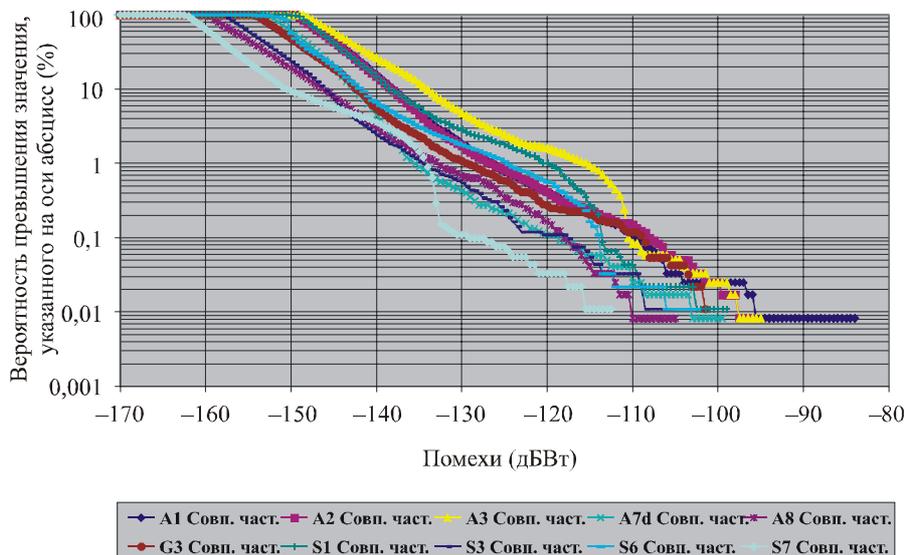


ТАБЛИЦА 10

Итоговые данные о помехах, создаваемых отдельным радаром радиолокационной станции SAR3 при анализе совпадающих частот

Радар	Значение помех при 1,0% пороге (дБВт)	Максимальное значение помех (дБВт)
Самолетные радары		
A1	-126,5	-84,0
A2	-127,0	-96,0
A3	-115,5	-95,5
A7d	-135,5	-99,5
A8	-133,0	-105,0
Судовые радары		
S1	-120,0	-99,5
S3	-135,0	-106,0
S6	-125,0	-102,5
S7	-133,5	-113,0
Радар наземного базирования		
G3	-129,5	-102,0

5.1.2.2 Анализ на совпадающей частоте – Случай помех от многих источников

На рисунке 6 показаны диаграммы интегральной функции распределения суммарных помех работе спутниковой РЛС SAR от 1000 радиолокационных передатчиков самолетного, судового и наземного базирования. В таблице 11 приведены итоговые статистические данные о помехах для уровня, превышаемого в течение 1% времени, и уровне максимальных помех. На рисунке 6 видно, что критерий помех спутниковой радиолокационной станции SAR превышался в течение 0,018% времени.

РИСУНОК 6

Совокупные результаты помех для 1000 радаров при использовании анализа на совпадающей частоте

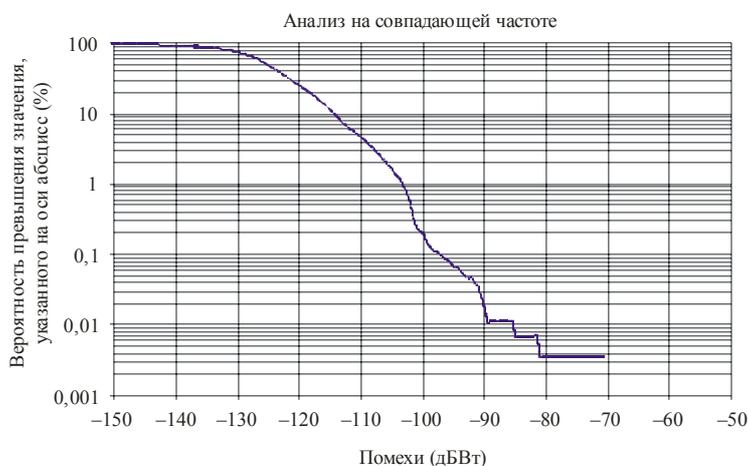


ТАБЛИЦА 11

Итоговые данные о суммарных помехах, создаваемых радаром в работе РЛС SAR3

Значение помех при 1,0% порого (дБВт)	Максимальное значение помех (дБВт)	Процент времени, когда принимался максимальный уровень
-103,5	-70,5	0,0035%

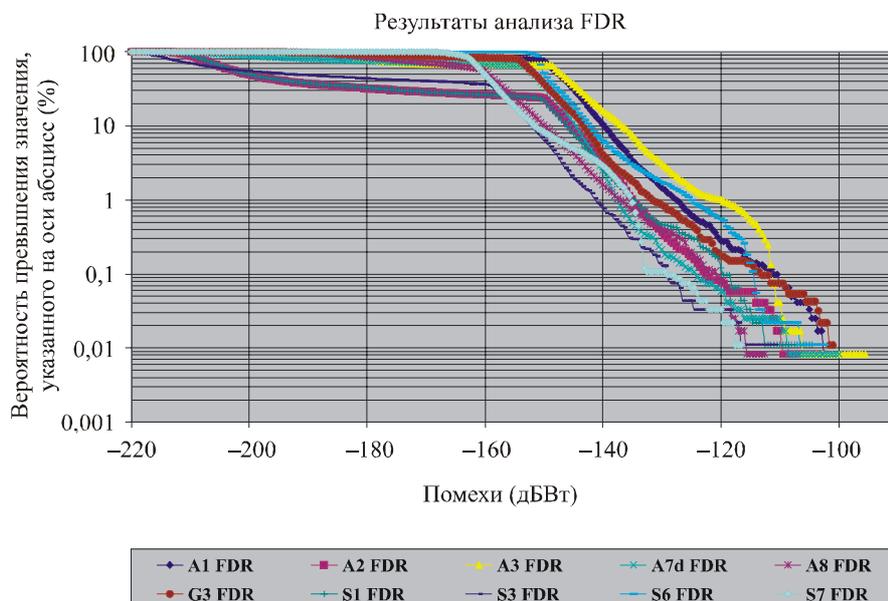
5.1.2.3 Анализ FDR – Анализ с отдельным источником помех

Для анализа FDR использовались та же конфигурация размещения радаров и те же допущения, что и для анализа на совпадающей частоте. На рисунке 7 показана диаграмма интегральной функции распределения итоговых помех спутниковой радиолокационной станции SAR от радиолокационных передатчиков самолетного, судового и наземного базирования. В таблице 12 приведены итоговые статистические данные о помехах для максимальных уровней помех и уровней с вероятностью 1%. Максимальный моделируемый уровень помех для всех радаров гораздо ниже критерия помех спутниковой радиолокационной станции SAR $-9,9$ дБ(Вт/512 МГц).

При сравнении рисунка 7 с результатами моделирования в совпадающем канале в большинстве случаев уровень мощности помех с вероятностью 1% на радиолокационной станции SAR для модели FDR был меньше, чем для модели с совпадающим каналом. Уменьшение мощности помех для случая FDR лежит в диапазоне от 0 дБ для радарной системы S6 до 15 дБ для радарной системы S1. Величина FDR является функцией от диапазона настройки радиолокационного передатчика и его сдвига относительно центральной частоты приемника радиолокационной станции SAR, как показано на рисунке 4.

РИСУНОК 7

Результаты помех для отдельного мешающего радара



Отч 2094-07

ТАБЛИЦА 12

**Помехи, создаваемые отдельным радаром радиолокационной станции SAR3,
использующей FDR**

Радар	Значение помех при 1,0% пороге (дБВт)	Максимальное значение помех (дБВт)
Самолетные радары		
A1	-128,0	-100,5
A2	-135,0	-102,5
A3	-120,0	-95,5
A7d	-137,5	-100,0
A8	-137,5	-112,5
Судовые радары		
S1	-135,0	-104,5
S3	-141,5	-111,0
S6	-125,0	-103,0
S7	-135,0	-116,5
Радар наземного базирования		
G3	-132,0	-101,0

5.1.2.4 Анализ FDR – Анализ помех от многих источников

Для анализа FDR использовались та же конфигурация размещения радаров и те же допущения, что и для анализа по совпадающей частоте. На рисунке 8 показана диаграмма интегральной функции распределения итоговых помех работе спутниковой радиолокационной станции SAR от радиолокационных передатчиков самолетного, судового и наземного базирования. В таблице 13 приведены итоговые статистические данные о помехах для максимальных уровней помех и уровней с вероятностью 1%. На рисунке 8 видно, что критерий помех для спутниковой радиолокационной станции SAR превышался в течение 0,0035% времени. При вычислении значения FDR путем случайного переключения частот передачи радара суммарный уровень помех по отношению к РЛС SAR3 в точке превышения уровня на 1% был примерно на 4,5 дБ ниже, чем в случае, когда предполагалось работа на совпадающих частотах.

5.1.3 Способы уменьшения помех от радиолокаторов SAR

Хотя результаты настоящего исследования показывают, что способы уменьшения помех от радиолокационных станций SAR не являются необходимыми для службы радиоопределения, для некоторых типов сигналов методы обработки сигналов на радиолокационных станциях SAR обеспечивают заметное подавление помех. Для получения радиолокационного изображения необработанные данные от приемника радиолокационной станции SAR обрабатываются в двух измерениях – по дальности, и по азимуту. Возврат точечной цели распределен линейно по частоте, в двух измерениях – по дальности и по азимуту. При обработке данные в обоих измерениях сопоставляются, и выигрыш в отношении сигнал/шум при обработке сигнала для эхо-сигнала, обычно, лежит в пределах от 20 до 40 дБ. Эти значения выигрыша при обработке были учтены в ходе определения критериев для спутниковой радиолокационной станции SAR, как описывается в Рекомендации МСЭ-R RS.1166.

РИСУНОК 8

Анализ частотно-зависимого подавления (FDR)

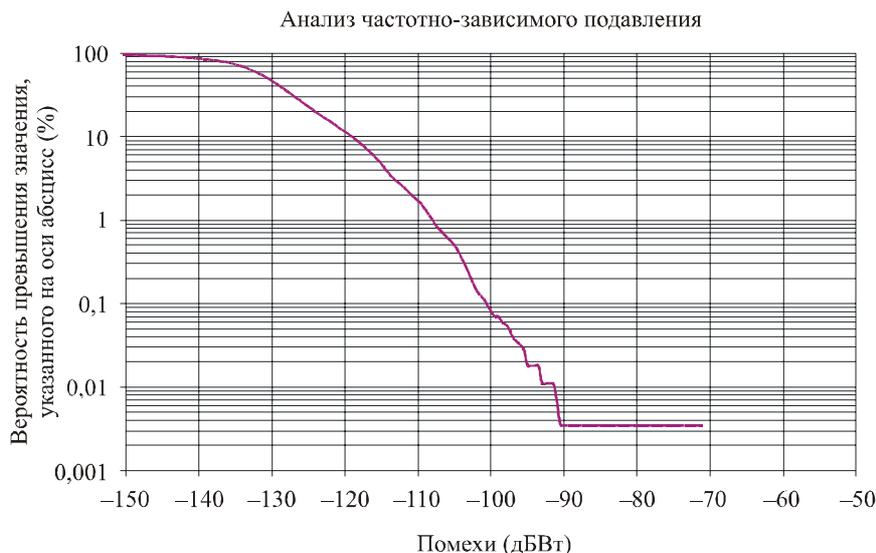


ТАБЛИЦА 13

Итоговые данные о помехах, создаваемых радарными радиолокационной станции SAR3, использующей FDR

Значение помех при 1,0% порого (дБВт)	Максимальное значение помех (дБВт)	Процент времени, когда принимался максимальный уровень
-108,0	-71,0	0,0035%

5.1.4 Выводы из анализа

В настоящем исследовании выполнена оценка уровня мощности помех на входе приемника спутниковой радиолокационной станции SAR от передатчиков службы радиоопределения самолетного, судового и наземного базирования в полосе частот 9300–10 000 МГц. Результаты моделирования показывают следующее:

- Максимальные уровни помех от отдельной радиолокационной системы, рассматриваемые в настоящем исследовании при моделировании для совпадающих каналов, гораздо ниже критерия помех спутниковой радиолокационной станции SAR, равного $-89,9$ дБ(Вт/512 МГц), за исключением радиолокационной системы А1, которая превышает этот критерий в течение менее 0,01% времени.
- Максимальные уровни помех от отдельной радиолокационной системы, рассматриваемые в настоящем исследовании, гораздо ниже критерия помех спутниковой радиолокационной станции SAR, равного $-89,9$ дБ(Вт/512 МГц), для модели частотно-зависимого подавления
- Критерий помех спутниковой радиолокационной станции SAR превышался в течение 0,018% времени в случае случайного размещения по всему миру 1000 радарных систем, работающих в каналах, совпадающих с РЛС SAR3.
- Критерий помех спутниковой радиолокационной станции SAR превышался в течение 0,0035% времени в случае случайного размещения по всему миру 1000 радарных систем, в предположении, что частоты передатчика радара случайным образом переключаются в пределах своего определенного диапазона настройки.

5.2 Аналитическое исследование № 2: Оценка возможных помех от метеорологических радаров наземного базирования службе ССИЗ (активной) в полосе частот 9300–9500 МГц

Возможность помех от метеорологических радаров наземного базирования анализировалась с использованием динамических моделей. Рабочие параметры систем службы ССИЗ (активной) четко определены так же, как и характеристики метеорологических радаров. Однако нет четко задокументированных данных о размещении (количество систем, плотность, местонахождение) метеорологических радаров наземного базирования, работающих в полосе частот 9300–9500 МГц. Потребовалось сделать ряд предположений о местонахождении систем, их плотности и общей численности систем, работающих во всем мире. Моделирование было выполнено для интервала времени в 20 дней для 30, 60 и 120 случайно расположенных метеорологических радаров наземного базирования, работающих по всему миру. Предполагалось, что все радары, которые работают в пределах полосы частот 9300–9500 МГц, попадают в полосу рабочих частот радиолокационной станции SAR.

5.2.1 Смоделированные параметры службы ССИЗ (активной)

Для этого анализа использовалась отдельная радиолокационная станция SAR, работающая с параметрами орбиты, определенными в таблице 1 для РЛС SAR3. Для определения совместимости использовался критерий $-95,9$ дБ(Вт/512 МГц), превышаемый в течение не более 1% времени. Были собраны статистические данные о суммарных помехах на входе приемника радиолокационной станции SAR от метеорологических радаров наземного базирования.

5.2.2 Смоделированные параметры метеорологического радара

Для моделирования случайных мест в пределах участков суши, предназначенных для размещения метеорологических радаров, использовалась электронная таблица. Скорость вращения антенны и начальный угол места для каждого радара выбирались также случайно. Хотя точное число метеорологических радаров наземного базирования, работающих в полосе частот 9300–9500 МГц, определить невозможно, их общее число колеблется между 30 и 60. Для учета возможного увеличения числа метеорологических радаров наземного базирования, работающих в полосе частот 9300–9500 МГц, также было осуществлено моделирование для 120 радаров.

Так как метеорологические радары могут использовать множество вариантов сканирования антенн, при моделировании была заложена возможность осуществлять сканирование объема. При осуществлении сканирования объема радар начинает работать с низким углом места (как правило, примерно $0,5^\circ$), выполняет полное вращение с данным углом места, увеличивает угол на несколько градусов, осуществляет еще одно сканирование по азимуту, повторяет этот процесс, пока не будет достигнут максимальный угол места от 20° до 30° . Затем антенна возвращается к минимальному значению угла места, и процесс повторяется. На рисунке 9 изображена диаграмма изменения угла места антенны для процесса сканирования объема, использованного при моделировании.

5.2.3 Результаты

Результаты моделирования показывают, что в существующие сегодня метеорологические радары (от 30 до 60 радаров по всему миру) будут превышать критерий помех, равный $-95,9$ дБВт в полосе частот шириной 512 МГц в течение не более 0,015–0,025% времени, как показано на рисунке 10, что намного меньше требования по неготовности (1%). Результаты моделирования для 120 радаров показывают незначительное увеличение помех, создаваемых работе радиолокационной станции SAR, при этом критерий превышает в течение 0,04% времени.

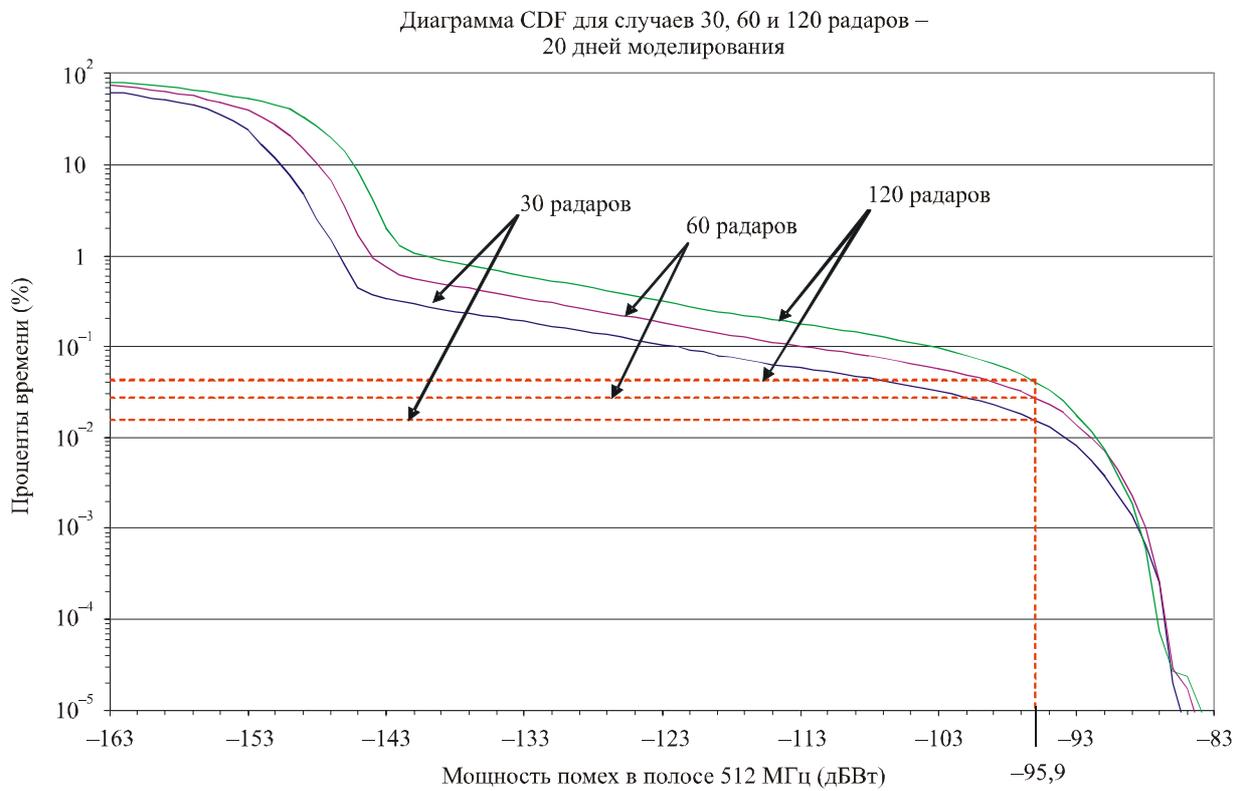
РИСУНОК 9

Изменение угла места антенны при варианте сканирования объема, использованном при моделировании



РИСУНОК 10

Диаграмма интегральной функции распределения (CDF) для моделирования 30, 60 и 120 радаров



5.2.4 Выводы

В результате моделирования стало ясно, что уровень помех, создаваемых службе ССИЗ (активной) 30 и 60 радарными, работающими по всему миру, превышает $-95,9$ дБВт в течение 0,015% и 0,025% времени, соответственно. Чтобы иметь представление о том, как увеличение количества радаров может в будущем повлиять на работу службы ССИЗ (активной), было также выполнено моделирование для случая со 120 радарными, случайно распределенными по всему миру. 120 случайно распределенных радаров создавали суммарный уровень помех, равный $-95,9$ дБВт в течение 0,04% времени. На основе этих результатов можно сделать вывод о том, что суммарные помехи, создаваемые ныне действующими и планируемыми для использования метеорологическими радарными наземного базирования, гораздо меньше критерия помех для службы ССИЗ (активной). Совместная работа возможна при учете пути распространения помех от метеорологических радаров наземного базирования к службе ССИЗ (активной).

5.3 Аналитическое исследование № 3: Оценка максимальных уровней помех, создаваемых службой ССИЗ (активной) работе радиолокационной службы в полосах частот 9300–9500 МГц и 9800–10 000 МГц

5.3.1 Метод анализа

Была создана компьютерная модель, которая вычисляет максимальный уровень отношения помехашум в приемнике системы радиоопределения на уровне земли или немного выше для помех от активного спутникового датчика радиолокационной станции SAR в полосе частот 9300–9500 МГц. Хотя анализ проводился с использованием частот, находящихся в пределах полосы 9300–9500 МГц, многие радиолокационные системы, использованные в анализе, также работают в полосе 9800–10 000 МГц. Поэтому учитывались характеристики радаров, работающих в полосе частот 9800–10 000 МГц, и результаты настоящего исследования так же применимы к полосе частот 9800–10 000 МГц.

При моделировании самолетные радары (системы A1, A2, A8 и A10) помещались на самолете, который перемещался по сетке квадратов на высоте 9,1 км, с размером каждой стороны, равным примерно 500 км. Моделирование производилось с самолетом, летающим по широте между 30° с.ш. и 35° с.ш. и долготе между 90° з.д. и 95° з.д. Точно так же моделировались судовые радары (системы S1, S3, S4 и S9) путем размещения четырех систем на одном-единственном судне, перемещающемся по сетке квадратов, с размером каждой стороны, равным примерно 500 км. Моделирование производилось для судна, перемещающегося по широте между 30° с.ш. и 35° с.ш. и по долготе между 30° з.д. и 35° з.д. Радары наземного базирования (системы G2 и G3) размещались в фиксированной точке на Земле (30° с.ш., 115° з.д.). Сканирование антенны для всех радаров моделировалось в соответствии с параметрами из таблиц 5, 6 и 7. Для радарных систем с изменяемыми углами вертикального наклона (углами места) антенны угол наклона антенны был установлен максимальным.

В ходе моделирования предполагалась работа в канале с совпадающей частотой и совпадающей поляризацией. Моделирование производилось для интервала времени в 10 дней с шагом приращения времени, равным 10 мс, с целью определения максимального уровня I/N на входе приемника радара. При каждом приращении азимут и угол места антенны определялись исходя из ее скорости сканирования. Расстояние между каждым передатчиком радиолокационной станции SAR и приемником радара вычислялось на основе орбитальных параметров радиолокационной станции SAR и местонахождения радиолокационной станции. Мощность помех, создаваемых радиолокационной станцией SAR работе радарной станции, испытывающей помехи, вычислялся с помощью уравнений (15) и (16) из Приложения 1 к Рекомендации МСЭ-R M.1461-1, включая пиковое подавление на частоте настройки (OTR).

5.3.2 Результаты анализа

Пиковые уровни мощности передатчика радиолокационной станции SAR на входе радиолокационного приемника были определены в виде максимальных уровней отношения мощностей I/N . Уровень шума приемной системы радара вычислялся с использованием ширины полосы пропускания приемника по ПЧ и значения коэффициента шума, указанного в таблицах характеристик радара. Если коэффициент шума не был указан, то при вычислении мощности шума предполагалось, что он равен 5 дБ.

Для того чтобы рассчитать разницу между полосами пропускания передатчика радиолокационной станции SAR и радиолокационных приемников, вычислялось подавление на частоте настройки (OTR). Полученные при вычислении значения OTR, показанные в таблице 14, применялись для вычисления значений I/N при моделировании. При вычислениях значения OTR для наихудшего случая использовалась длительность импульса радиолокационной станции SAR, равная 1 мкс.

ТАБЛИЦА 14

Рассчитанные значения подавления на частоте настройки (дБ)

	Самолетные радарные системы				Судовые радарные системы				Радарные системы наземного базирования	
	A1	A2	A8	A10	S1	S3	S4	S9	G2	G3
SAR3	6,7	2,6	0,0	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,5

В таблицах 15, 16 и 17 приводятся максимальные уровни I/N для самолетных радаров, судовых радаров и радаров наземного базирования, соответственно.

ТАБЛИЦА 15

Обзор помех от радиолокационной станции SAR самолетным радарам

Радарная система	Максимальный уровень I/N (дБ)
A1	32
A2	38
A8	42
A10	45

ТАБЛИЦА 16

Обзор помех от радиолокационной станции SAR судовым радарам

Радарная система	Максимальный уровень I/N (дБ)
S1	32
S3	37
S4	52
S9	28

ТАБЛИЦА 17

Обзор помех от радиолокационной станции SAR радарам наземного базирования

Радарная система	Максимальный уровень I/N (дБ)
G2	11
G3	23

5.3.3 Рассмотрение возможности уменьшения помех

При оценке ухудшения параметров радиолокационных систем радиоопределения под влиянием импульсных сигналов должны учитываться другие факторы, такие, как схема подавления помех и выигрыш в отношении сигнал/помеха при обработке сигнала, чтобы определить влияние уровня I/N . Например, согласно Рекомендации МСЭ-R М.1372, для подавления асинхронных импульсных помех на входе приемника радара может использоваться амплитудный дискриминатор импульсов, а при определенных условиях пиковое значение I/N , равное 14 дБ или больше, может исключаться из дальнейшей обработки в приемнике радара. Кроме того, в приемнике радара может использоваться обработка постоянной вероятности ложных тревог (CFAR), позволяющая уменьшить асинхронные импульсные помехи с малым рабочим циклом. Обработка CFAR осуществляется с целью определения порога, подходящего для помех и уровня отражений и помех, и, как утверждается в Рекомендации МСЭ-R М.1372, импульсная помеха не воздействует на порог до тех пор, пока отношения I/N равны примерно 30 дБ или больше.

Кроме того, радары, которые осуществляют обработку доплеровского сдвига частоты в полученном сигнале, "замажут" неоднородный импульсный сигнал, охватывающий несколько элементов разрешения Допплера, что приведет к усреднению уровня мешающего сигнала. Использование в настоящем исследовании средней мощности радиолокационной станции SAR вместо пиковой мощности понизит возможные уровни помех примерно на 23 дБ.

Уровни подавления помех для каждой радарной системы будут различны, и реальные уровни подавления могут быть определены только с помощью испытаний с сигналами предполагаемой радиолокационной станции SAR. Предполагается проводить испытания для сигналов службы ССИЗ с несколькими видами радарных систем, включая морскую радионавигацию, РЛС наблюдения за наземным движением в районе аэропорта (ASDE), и самолетные и наземные метеорологические РЛС. В испытаниях будут использоваться сигналы ССИЗ, которые создают уровни I/N , указанные в таблицах 15, 16 и 17.

Предыдущие исследования и испытания с РЛС обзора воздушного пространства, производившей обработку CFAR, и с определенным импульсом радиолокационной станции SAR, показали, что для существенного ухудшения качественных показателей радара требовался уровень I/N , равный примерно +35 дБ. Способы уменьшения помех и выигрыш в отношении сигнал/помеха при обработке сигнала в приемнике радара явились основным фактором, который мог противостоять воздействию I/N , равного 35 дБ, обусловленного сигналом радиолокационной станции SAR.

5.3.4 Выводы из анализа

В настоящем исследовании оценены уровни I/N на входе приемника радара из-за воздействия спутниковой радиолокационной станции SAR, работающей в полосе частот 9300–9500 МГц на совпадающем канале. Поскольку многие из радиолокационных систем, использованных в настоящем исследовании, также работают в полосе 9800–10 000 МГц, результаты могут быть применимы также и к полосе частот 9800–10 000 МГц. В Рекомендации МСЭ-R М.1461 утверждается, что влияние импульсной помехи более сложно оценить количественно, и что оно сильно зависит от устройства приемников/процессора и режима работы. В частности, дифференциальные выигрыши в отношении сигнал/помеха при обработке сигнала для возврата сигнала от действующей цели, которые являются синхронным импульсом, и мешающих импульсов, которые обычно асинхронны, часто существенно влияют на воздействия данных уровней импульсной помехи.

Из-за такого падения чувствительности может возникнуть несколько различных видов ухудшения качественных показателей. Оценка этого может стать целью анализа взаимодействия между определенными типами радаров. В целом можно ожидать, что многие свойства радаров радиоопределения могут помочь подавить импульсные помехи с малым рабочим циклом, особенно от нескольких изолированных источников. В Рекомендации МСЭ-R М.1372 описываются способы подавления импульсных помех с малым рабочим циклом.

5.4 Аналитическое исследование № 4: Анализ возможных помех от службы ССИЗ (активной) метеорологическим радарам наземного базирования радиолокационной службы в полосе частот 9300–9500 МГц

Результаты анализа совместимости между метеорологическими радаром наземного базирования и службой ССИЗ были получены при использовании динамических моделей, использующих коммерческое программное обеспечение. В настоящем исследовании учитывались только помехи, создаваемые службой ССИЗ работе метеорологических радаров наземного базирования. Для каждого сценария моделирование производилось для интервала времени примерно в 23 дня. Настоящий анализ состоит из двух частей. В первой части, предварительном анализе, использовались

предполагаемые защитные отношения I/N , равные -6 дБ и $+10$ дБ, для того чтобы быстро определить, существует ли проблема совместимости. На основе результатов, демонстрирующих, что порог I/N , равный -6 дБ и $+10$ дБ, может превышаться в течение значительного времени, во второй части был проведен дополнительный анализ для определения способности метеорологических радаров подавлять помехи с более высокими уровнями.

5.4.1 Предварительный анализ

В этой части анализа делается некоторое основное предположение, что радар, испытывающий влияние помех, не способен подавлять импульсные помехи с высокими уровнями.

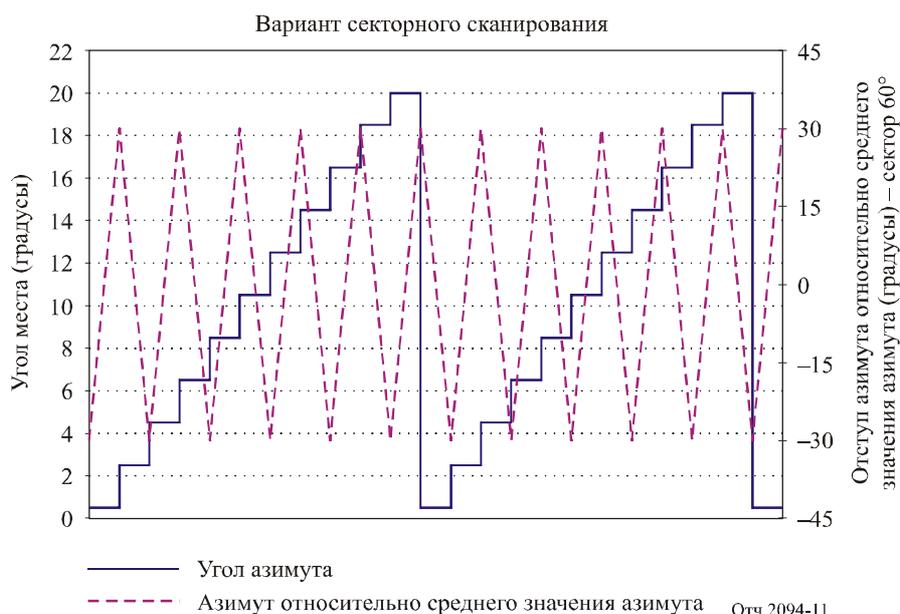
5.4.1.1 Параметры метеорологического радара наземного базирования

Метеорологические радары наземного базирования могут работать в нескольких режимах, отличающихся скоростями вращения антенны и вариантами движения антенны. Наиболее часто встречающийся вариант сканирования – это сканирование объема, когда радар выполняет серии полного вращения антенны, увеличивая угол места примерно от 0° до максимального значения, равного 20° – 30° . На рисунке 9 в § 5.2.2 показан график для варианта антенны сканирования объема, использованной при моделировании, в котором было предусмотрено сканирование объема.

В метеорологических радаров наземного базирования могут также использоваться и другие варианты сканирования, которые соответствуют определенным эксплуатационным требованиям. Для того чтобы контролировать определенную область атмосферы, радар может осуществлять секторное сканирование или работать в точечном режиме. В режиме секторного сканирования объема антенна фокусируется в секторе некоторого азимута, постепенно проходя несколько углов места. В точечном режиме работы азимут антенны и угол места остаются неизменными, что позволяет изучать небольшой район атмосферы в течение продолжительного времени. В настоящем исследовании секторное сканирование объема моделировалось путем сканирования азимутов в диапазоне 60° , т. е. $\pm 30^\circ$ от среднего значения азимута. Моделирование осуществлялось со средними значениями азимута, равными 0° , 90° и 135° . На рисунке 11 приводится график варианта секторного сканирования объема, использованного при моделировании.

РИСУНОК 11

Движение антенны при секторном сканировании, использованное при моделировании (сектор шириной 60°)



Из таблицы 7 видно, что в радарной системе G9 используется несколько больший диапазон скоростей вращения антенны. Варианты сканирования объема и секторного сканирования моделируются при скоростях вращения антенны 5°/с и 20°/с. Предполагается, что метеорологический радар наземного базирования находится в фиксированном местоположении. Поскольку широта расположения радара может повлиять на продолжительность времени, в течение которого радиолокационная станция SAR будет находиться в зоне видимости радара, при моделировании использовались три варианта местонахождения радаров. Моделирование производилось для радаров, размещенных на низких, средних и высоких широтах (0°, 45° с.ш. и 60° с.ш.), соответственно. Поскольку полоса частот по ПЧ регулируется, для рассмотрения всех возможных комбинаций может потребоваться большое количество моделирований. Для получения результатов, указывающих наихудший вариант помех, было использовано значение ширины полосы по ПЧ, равное 10 МГц.

5.4.1.2 Параметры радиолокационной станции SAR

Кроме того, моделировались орбитальные характеристики радиолокационной станции SAR. При моделировании использовались четыре радиолокационные станции SAR, разнесенные по долготе на 90°. В радиолокационной станции SAR используется РЧ импульс с линейной частотной модуляцией, длительностью от 1 до 10 мкс. Для сокращения числа моделирований использовался импульс длительностью 10 мкс, что соответствует самому низкому значению подавления FDR и наихудшему случаю совместного использования частот. Предполагалось, что работа будет проходить на частоте, совпадающей с частотой метеорологического радара. Были проведены испытания, которые показали, что эффективная ширина импульса с линейной частотной модуляцией, полоса частот, которого намного шире, чем полоса приема, была сокращена под действием характеристике цепей ПЧ приемника. Поэтому длительность импульса с линейной частотной модуляцией, равная 10 мкс, радиолокационной станции SAR3 в пределах приемника метеорадара будет значительно уменьшена. Это может содействовать обеспечению совместимости между системами.

5.4.1.3 Частотно-зависимое подавление

Частотно-зависимое подавление (FDR) между источником помех и приемником, испытывающим влияние помех, является комбинацией двух факторов: подавления на частоте настройки (OTR) и подавления внеполосных сигналов (OFR):

$$FDR = OFR + OTR$$

В случае когда РЛС SAR и радар работают на совпадающей частоте, значение OFR равно нулю.

Значение OTR для радиоимпульса с линейной частотной модуляцией вычисляется следующим образом:

$$OTR = 10 \log (B_c / (B_R^2 T)) \quad \text{для } B_c / (B_R^2 T) > 1,$$

где:

T : длительность импульса с линейной частотной модуляцией (с)

B_c : ширина полосы передатчика импульсов с линейной частотной модуляцией в течение длительности импульса T (Гц)

B_R : ширина полосы частот приемника по уровню 3 дБ.

Для выбранной ширины полосы метеорологического радара, равной 10 МГц, и выбранной длительности импульса РЛС SAR с линейной частотной модуляцией, равной 10 мкс, значение OTR равно нулю. В процессе моделирования использовалось значение 0 дБ для FDR, равной 10 мкс.

5.4.1.4 Результаты анализа

Поскольку способность метеорологического радара наземного базирования подавлять помехи от радиолокационной станции SAR к моменту получения первых результатов была неизвестна, в качестве опорной величины использовалось общее значение I/N , равное -6 дБ. Общее значение I/N , равное -6 дБ, связано с непрерывным сигналом (CW) или шумоподобным мешающим сигналом, и оно может не подходить для сигнала спутниковой радиолокационной станции SAR из-за своего вида импульса с линейной частотной модуляцией. Следует заметить, что радар, использованный в настоящем анализе, и другие типы метеорологических радаров, работающие в этом диапазоне, могут не содержать способов подавления помех, которые описаны в Рекомендации МСЭ-R M.1372 для

устранения влияния импульсных помех. Первые результаты в том виде, как они представлены, не следует использовать для определения совместимости на основе обработки сигнала.

5.4.1.5 Результаты для радара сканирования объема

В таблице 18 представлены результаты моделирования сканирования объема. Длительность времени не зависит от максимального значения I/N . Значения длительности дают некоторое представление о том, как долго оператор РЛС может испытывать помехи от радиолокационной станции SAR, прежде чем к результатам анализа будут применяться какие-либо методы получения выигрыша в отношении сигнал/помеха при обработке сигнала или подавление помех. Также в таблице 18 представлены данные о пороге I/N , равном +10 дБ, что позволяет увидеть, как будут изменяться результаты из-за потенциальной способности радара подавлять влияние помех на уровнях выше, чем I/N –6 дБ. Так же, как и в случае с уровнем I/N , равным –6 дБ, уровень, равный +10 дБ, не имеет никакого значения и выбирался только в качестве иллюстрации того, что, поскольку радар способен противостоять более высоким уровням помех, количество случаев помех и длительность помех изменяются.

На территории Соединенных Штатов Америки метеорологические радары наземного базирования, работающие в этой полосе частот используются, в основном, для исследования атмосферных процессов и других применений, которые могут противостоять импульсным помехам в течение некоторых периодов времени. Другие администрации могут иметь более строгие требования к защите для радаров, работающих в полосе частот 9300–9500 МГц.

ТАБЛИЦА 18

Результаты моделирования сканирования объема

Вращение со скоростью 5°/с							
Местоположение радара	Макс I/N (дБ)	Самая большая длительность при превышении $I/N = -6$ дБ (с)	Средняя длительность при превышении $I/N = -6$ дБ (с)	Количество случаев $I/N > -6$ дБ в период 23 дней	Самая большая длительность при превышении $I/N = +10$ дБ (с)	Средняя длительность при превышении $I/N = +10$ дБ (с)	Количество случаев $I/N > +10$ дБ в период 23 дней
Низкая широта	23,8	0,55	0,34	225	0,40	0,22	139
Средняя широта	27,3	2,50	0,38	366	0,35	0,22	231
Высокая широта	24,6	0,55	0,34	488	0,40	0,22	371
Вращение со скоростью 20°/с							
Низкая широта	23,9	0,15	0,09	853	0,10	0,06	523
Средняя широта	24,2	2,5	0,10	1321	0,10	0,06	836
Высокая широта	24,2	0,15	0,09	2205	0,01	0,06	1330

Результаты, представленные в таблице 18, показывают, что метеорологический радар наземного базирования может испытывать влияние максимального значения I/N , равного примерно 24–27 дБ, при работе в типичном режиме сканирования объема. Также было произведено ограниченное число моделирований в подтверждение того, что количество случаев помех прямо пропорционально числу радиолокационных станций SAR, использованных при моделировании. Результаты показали, что количество случаев помех уменьшалось в 4 раза, когда использовалась одна-единственная радиолокационная станция SAR, но пиковые уровни и длительность оставались примерно одинаковыми.

5.4.1.6 Результаты для радаров секторного сканирования объема

В таблице 19 представлены результаты моделирования работы радара в режиме секторного сканирования объема. В режиме секторного сканирования объема ни одна из характеристик приемника не меняется. Антенна движется по схеме, показанной на рисунке 11. Моделирование производилось только для местоположения на широте 45°.

ТАБЛИЦА 19

Результаты моделирования секторного сканирования (на широте 45°)

Сектор изменения азимута 60° начало/конец	Скорость вращения 5°/с			Скорость вращения 20°/с		
	Макс I/N (дБ)	Наибольшая длительность выше I/N = -6 дБ (с)	Средняя длительность выше I/N = -6 дБ (с)	Макс I/N (дБ)	Наибольшая длительность выше I/N = -6 дБ (с)	Средняя длительность выше I/N = -6 дБ (с)
Северный сектор (от 330° до 60°)	24,0	2,50	0,36	28,3	2,50	0,10
Восточный сектор (от 60° до 120°)	23,6	2,50	0,37	24,3	2,50	0,10
Юго-восточный сектор (от 105° до 165°)	24,1	2,50	0,38	23,0	2,50	0,10

5.4.1.7 Результаты для точечного режима радара

В таблице 20 представлены результаты моделирования работы радара в точечном режиме. Метеорологические радары наземного базирования, работающие в полосе частот 9300–9500 МГц, предназначены для исследования атмосферных процессов и будут периодически использоваться в точечном режиме работы, при котором в течение долгого времени изучается небольшой участок атмосферы. Во время такой работы угол места антенны и азимут не изменяются. Моделирование производилось с радаром, размещенным на широте 45 градусов, а значения азимута и угла места антенны не изменялись. Использовались значения азимута 0° и 90°, и углы места антенны, равные 0,5, 20 и 45°.

ТАБЛИЦА 20

Результаты моделирования в точечном режиме работы (только на широте 45°)

	Значение азимута 0° (северный сектор)			Значение азимута 90° (восточный сектор)		
	Макс I/N (дБ)	Наибольшая длительность выше I/N = -6 дБ (с)	Средняя длительность выше I/N = -6 дБ (с)	Макс I/N (дБ)	Наибольшая длительность выше I/N = -6 дБ (с)	Средняя длительность выше I/N = -6 дБ (с)
Угол места антенны 0,5°	17,0	23,0	14,0	18,0	13,55	7,14
Угол места антенны 20°	24,6	11,75	6,98	15,6	5,65	2,83
Угол места антенны 45°	24,5	4,75	3,36	3,3	2,5	1,86

5.4.1.8 Выводы из предварительного анализа

Трудно сделать окончательный вывод о том, обеспечивается ли совместимость между ССИЗ и метеорологическими радаром наземного базирования, без более четкого понимания того, может ли метеорологический радар подавлять влияние помех от РЛС SAR. В настоящем исследовании для получения данных о периодах времени, в течение которых РЛС SAR может оказывать влияние на

работу радара, использовались общие значения порогов $I/N = -6$ дБ и $+10$ дБ. Это значение, скорее всего, не является подходящим значением порога, и порог, возможно, понизится до полученных значений I/N в пределах $0 - +40$ дБ. Максимальное значение I/N , которое было получено в этом исследовании, было равно $I/N = +28,3$ дБ, причем большинство значений пиковых уровней лежало вблизи $I/N = +24$ дБ. Эти результаты получены для импульсных помех, и обычные значения порогов I/N , равные -6 дБ или -10 дБ, не применимы для метеорологических радаров, поскольку они применимы только для шумоподобных и непрерывных помех. Разница в длительности помех при использовании критериев защиты -6 дБ и $+10$ дБ незначительна. Использование критерия, равного $+10$ дБ, снижает длительность помех примерно на 30–36%. Влияние более высоких критериев защиты больше сказывается на числе случаев помех. Для того чтобы значительно снизить длительность и частоту случаев помех, метеорологические радары должны будут работать с уровнями I/N со значениями больше $+10$ дБ.

5.4.2 Дополнительные факторы, способствующие уменьшению помех работе метеорологических радаров

Результаты предварительного анализа показывают, что при неспособности метеорологических радаров подавлять импульсные помехи совместимость между службой ССИЗ и метеорологическими радаром наземного базирования может быть проблематичной. В этом разделе сделаны дальнейшие оценки способности метеорологических радаров работать в присутствии сигналов импульсных помех, создаваемых службой ССИЗ (активной). Подавление импульсных помех происходит вследствие обычной обработки данных метеорологического радара, поскольку в предварительном анализе не учитывались эксплуатационные характеристики службы ССИЗ. Эти факторы подробно изучаются в настоящем разделе. Специальные способы подавления, которые могут быть внедрены, не учитываются, поскольку они, как правило, не используются при работе метеорологических радаров из-за ухудшения качественных характеристик радаров.

5.4.2.1 Периоды работы службы ССИЗ (активной)

Из-за мощности, требуемой для работы радиолокационной станции SAR, предполагается, что ССИЗ работает в течение, максимум, 20% времени. Данный рабочий цикл эксплуатации отличается от импульсного рабочего цикла; он представляет собой процент времени, в течение которого РЛС SAR будет работать, собирая данные. В течение одного года (8766 часов) радиолокационная станция SAR проработает, максимум, 1753 часа, что существенно сократит количество случаев помех. В таблицах 18, 19 и 20 приводится длительность уровней максимальных помех, которые могут возникать в течение времени ее работы. В предварительном моделировании предполагалось, что РЛС SAR непрерывно работала в течение всего периода моделирования, поэтому количество случаев помех может быть снижено в 5 раз.

5.4.2.2 Рассмотрение случаев подавления на частоте настройки

Для того, чтобы быстрее выполнить предварительный анализ, ранее учитывалась только ситуация для наихудшего случая совместного использования частот. Ширина полосы пропускания метеорологического радара по ПЧ была выбрана, равной 10 МГц, что привело к получению значения подавления на частоте настройки, равного 0 дБ. (Дальнейшее исследование показало, что ширина полосы пропускания по ПЧ, равная 10 МГц, должна быть больше, чем та, которая используется в большинстве метеорологических радаров). Ширина полосы пропускания по ПЧ большинства метеорологических радаров равна от 1 до 4 МГц, что способствует улучшению ситуации совместного использования частот. Учитывая, что ширина импульса РЛС SAR меняется от 1 до 10 мкс, ширина полосы пропускания по ПЧ, равная 4 МГц, обеспечит подавление на частоте настройки на 14,5–4,5 дБ. Тем не менее более узкая полоса пропускания по ПЧ увеличит чувствительность радара за счет уменьшения уровня собственных шумов радара на 4 дБ. Благодаря OTR возможно получение суммарного улучшения на 10,5–0,5 дБ по сравнению с анализируемой ранее ситуацией совместного использования частот. Для ширины полосы пропускания по ПЧ метеорологического радара, равной 1 МГц, улучшение ситуации совместного использования частот, с учетом OTR и уменьшения уровня собственных шумов радара, составит от 6,5 дБ до 15,5 дБ. В таблице 21 представлен обзор значений ширины полосы пропускания по ПЧ, уровней шума приемника и соответствующих значений OTR.

ТАБЛИЦА 21

Значения подавления на частоте настройки

Ширина полосы пропускания импульса с ЛЧМ РЛС SAR (МГц)	Длительность импульса РЛС SAR (мкс)	Ширина полосы пропускания метеорадара по ПЧ (МГц)	OTR (дБ)	Уровень собственных шумов радара (дБм)
450 МГц	1,0	1 МГц	25,5	-110
	5,0		19,5	
	10,0		16,5	
	1,0	4 МГц	14,5	-104
	5,0		7,5	
	10,0		4,5	
	1,0	10 МГц	6,5	-100
	5,0		0,0	
	10,0		0,0	

5.4.2.3 Получение уровней I/N для импульсной помехи

Метеорологические радары обрабатывают отраженные сигналы с целью измерения уровня осадков и ветрового режима. Обработка предусматривает сбор и обработку базовых данных; отражательной способности, средней радиальной скорости и ширины спектра. Проще говоря, радиолокационная система усредняет обратные сигналы для получения оценок, необходимых для создания метеорологических данных. Функция усреднения позволит метеорологическому радару обрабатывать более высокие уровни импульсных помех, относительно непрерывных сигналов или шумоподобных сигналов.

Метеорологические радары обрабатывают множество отраженных импульсных сигналов, находящихся в пределах диапазона разрешения по дальности, с тем чтобы создать выборку с размером, определенным пользователем. Множество импульсных отраженных сигналов, создающих выборку по дальности, усредняются, и на их основе рассчитывается среднее значение выборки по дальности. Предложенные системы ССИЗ и метеорологические радары работают со значительно отличающимися частотами повторения импульсов, так что, учитывая малый размер выборки, вероятность того, что в диапазон одной выборки по дальности попадет более одного мешающего сигнала, мала. Подход заключается в том, чтобы определить максимальный уровень отдельного импульса, при котором средний размер выборки искажаться не будет и будет оставаться в пределах значений качественных показателей работы радара, связанных с получением базовых данных радара.

Для определения критерия защиты требуется знание уровня шума приемника радара, минимального уровня S/N , использованного для обработки, и требуемой точности основных характеристик радара (отражательной способности, основной радиальной скорости и ширины спектра). Поскольку в этой полосе частот работает множество метеорологических радаров, должны быть сделаны некоторые предположения. Радар, использованный при анализе, имеет уровень собственных шумов приемника, равный -110 дБм в самой узкой полосе пропускания по ПЧ. Требуемую точность основных характеристик радаров, работающих в этой полосе частот, определить сложно, но можно предположить, что могут быть применимы значения точности, определенные в Приложении 3 Рекомендации МСЭ-R М.1464. Минимальные значения S/N , вероятно, определить наиболее трудно, если не указывать определенные радары. Для радаров, работающих в полосе частот $2700-2900$ МГц, используются отношения S/N , равные от 0 до -3 дБ, начиная с меньшего.

Частотные РЛС, как правило, работают для обнаружения целей на больших расстояниях. Метеорологические радары, работающие в полосе частот $9300-9500$ МГц, как правило, используются на более коротких расстояниях, для обнаружения с более высоким разрешением, и могут работать с более высокими минимальными отношениями S/N . Для настоящего анализа будет использоваться значение S/N , равное $+3$ дБ.

Как показано в Приложении 3 к Рекомендации МСЭ-R М.1464, предполагается, что максимальный предел наклона отражательной способности для метеорологического радара равен 1 дБ, это значение переводится в отношение помехи к минимальному уровню сигнала (I/S), равное 0,26, или отношение мощностей, равное 1,26. Предполагается, что будет использоваться выборка из 25 отсчетов отражающей способности. Возможно использование выборки размером более 25, что еще больше снизит влияние одиночного импульса, но выборки большего размера также увеличат вероятность возникновения второй импульсной помехи в той же выборке:

$$\frac{25 * S_{min} + P_i}{25 * S_{min}} = 1,26 \quad \text{или} \quad P_i = 6,5 S_{min}, \quad (1)$$

где:

- S_{min} : минимальный уровень принимаемого сигнала
 P_i : пиковая мощность сигнала импульсной помехи.

Из этого следует:

$$P_i = S_{min} + 8,2 \text{ дБ}. \quad (2)$$

Как утверждалось выше, для радаров, работающих в полосе частот 9300–9500 МГц, предполагается, что минимальное значение отношения сигнал-шум равно 3 дБ, это приводит к максимальному значению отношения сигнал-шум для импульсных сигналов службы ССИЗ, равному 11,2 дБ.

5.4.2.4 Сокращение рабочего цикла импульсного ЛЧМ сигнала службы ССИЗ в ПЧ фильтре радара, испытывающего помехи

Результаты испытаний показали способность фильтров ПЧ приемника, испытывающего помехи, эффективно сокращать ширину спектра импульсного ЛЧМ сигнала. Предварительные результаты испытаний показывают, что в зависимости от скорости передачи импульсного мешающего сигнала ЛЧМ ширина импульсного мешающего сигнала может быть уменьшена следующим образом:

Для низких скоростей передачи импульсов с ЛЧМ ($\sim < 5$ МГц/мкс) коэффициент уменьшения ширины импульса равен:

$$C \approx \frac{B_{IF}}{B_c}, \quad (3)$$

где:

- B_{IF} : ширина полосы пропускания приемника, испытывающего помехи, по ПЧ
 B_c : ширина полосы пропускания мешающего импульса сигнала ЛЧМ.

Для более высоких скоростей передачи импульсов с ЛЧМ ($\sim > 40$ МГц/мкс) коэффициент уменьшения ширины импульса равен:

$$C \approx \frac{2 * B_{IF}}{B_c} \quad (4)$$

Следовательно, на основе значения SAR 3 ($B_c = 450$ МГц), использованного в предыдущем моделировании, можно предсказать сокращение минимального рабочего цикла. В таблице 22 показаны факторы сокращения рабочего цикла для низких и высоких скоростей передачи импульсов ЛЧМ.

ТАБЛИЦА 22

Коэффициент сокращения рабочего цикла (для $V_c = 450$ МГц)

V_{IF} (МГц)	Низкая скорость импульса с ЛЧМ	Высокая скорость импульса с ЛЧМ
1,0	0,0022	0,0044
4,0	0,0089	0,018
10,0	0,022	0,044

В разделе 5.4.2.3 обсуждался тот факт, что метеорологические радары усредняют значения выборки импульсов в пределах элемента разрешения по дальности для оценки базовых данных. Неясно, какое влияние окажет сокращение рабочего цикла при усреднении значений выборок диапазона разрешения по дальности. Сокращение времени рабочего цикла мешающего сигнала может быть непосредственно преобразовано в уменьшение чувствительности к помехам из-за уменьшения элемента разрешения по дальности, в который попадает меньшая мощность. В таком случае коэффициенты сокращения рабочего цикла в диапазоне от 0,0022 до 0,044 приведут к уменьшению с 26,6 до 13,6 дБ выигрыша в отношении сигнал/помеха при обработке сигнала, соответственно. Однако эти значения, вероятно, являются чрезмерно оптимистичными, и требуется дальнейшее исследование.

5.4.2.5 Обзор – Совместное использование частот службой ССИЗ и метеорологическими радаром

Во второй части анализа, содержащейся в § 5.4.2.1–5.4.2.4, описывается несколько механизмов, которые улучшат ситуацию совместного использования частот для случая ССИЗ (активной), передающей импульсные сигналы и метеорологических радаров, как показано в предыдущих исследованиях. Улучшение результатов совместного использования частот происходит из-за применения более высокого критерия защиты I/N для импульсных помех, создаваемых метеорологическому радару службой ССИЗ, подавлению на частоте настройки для типичной ширины полосы пропускания метеорологического радара по ПЧ и сокращению рабочего цикла службы ССИЗ благодаря более узкой ширине полосы пропускания метеорологического радара по ПЧ. В таблице 23 представлен обзор этих улучшений.

ТАБЛИЦА 23

Обзор дополнительных значений уменьшения помех

Описание	Исходное значение, использованное при предыдущих исследованиях	Дополненное значение	Комментарии
Критерий защиты I/N (дБ)	-6 и +10	Минимум +11,2	Зависит от числа импульсов, усредненных в выборке по дальности
Подавление на частоте настройки (дБ)	0	0,5–15,5	Зависит от ширины полосы пропускания радара по ПЧ и длительности импульса РЛС SAR
Сокращение рабочего цикла из-за использования фильтра ПЧ с полосой пропускания более узкой, чем ширина импульса с ЛЧМ	Не рассматривалось	Фактическое значение неизвестно – возможное улучшение составляет 13,6–26,6 дБ	Прежде чем применить фактическое значение к результатам, требуется дальнейшее исследование

С учетом информации из таблицы 23 результаты предварительно рассмотренных вариантов моделирований могут быть повторно обработаны, для того чтобы определить типичное время длительности помех, которые могут создаваться метеорологическому радару. К сожалению, из-за изменчивости некоторых значений в таблице 23, обусловленной изменением различных параметров РЛС SAR и метеорологического радара, единый порог помех не может быть определен. Как минимум, метеорологический радар должен быть способен работать при импульсных помехах, создаваемых службой ССИЗ (активной) с уровнем $I/N = 11,2$ дБ. Введение обновленного значения OTR может усилить подавление помех так, что радар сможет выдерживать уровни I/N на 0,5–15,5 дБ выше уровня 11,2 дБ. Это приведет к получению новых значений максимальных приемлемых уровней I/N в диапазоне от 11,7 до 26,7 дБ. Из-за неопределенности влияния сокращения рабочего цикла (которое рассмотрено в § 5.4.2.5) на способность метеорологического радара подавлять помехи, конкретные значения не будут применяться к результатам, полученным в настоящем документе. Будет только определено, что сокращение рабочего цикла должно еще больше улучшить ситуацию совместного использования частот.

5.4.3 Вывод – Повторная оценка данных, полученных при предварительном анализе

В результате предварительного анализа получены значения периодов времени, в течение которых помехи превышали пороги $I/N = -6$ дБ и $+10$ дБ. Однако, учитывая дополнительный анализ и информацию об обработке сигнала и рабочие характеристики, метеорологические радары с максимальным уровнем I/N , работающие в полосе частот 9300–9500 МГц, смогут справляться с импульсными помехами от службы ССИЗ (активной), лежащими в диапазоне от 11,7 до 26,7 дБ и даже, возможно, выше. Результаты моделирования были повторно обработаны с использованием порогов, равных $+19,2$ дБ и $+26,7$ дБ, представляющих собой среднее значение порога в диапазоне 11,7–26,7 дБ и высокого порога, соответственно. Результаты для уровня, равного 11,7 дБ, примерно совпадают с ранее представленными результатами для $I/N = +10$ дБ. Читателю следует знать, что эти результаты не учитывают влияния сокращения рабочего цикла, которое обсуждалось в § 3.5, или других способов уменьшения помех, реализованных в радаре.

Результаты, сведенные в таблицу 24, показывают, что даже если обычные метеорологические радары наземного базирования испытывают влияние импульсных помех от службы ССИЗ (активной), с уровнями на 24–28 дБ выше уровня собственных шумов радара, снижение качественных показателей будет незначительно. Подавление на частоте настройки и обработка данных радара в предварительном анализе не учитывались. Эти дополнительные факторы дают реальную возможность для совместного использования частот метеорологическими радарными службами радиоопределения и службой ССИЗ (активной). Эти результаты применимы только к случаям совместного использования полосы частот 9300–9500 МГц службой ССИЗ (активной) и метеорологическими радарными наземного базирования и не могут распространяться на другие случаи для других мешающих систем или других полос частот. Другие факторы, рассмотренные в настоящем документе, но не принятые во внимание, также могут улучшить ситуацию совместного использования частот.

ТАБЛИЦА 24

Результаты моделирования, с учетом уменьшения помех

Скорость вращения антенны 5°/с									
		Пороговое значение $I/N = +19,2$ дБ				Пороговое значение $I/N = +26,7$ дБ			
Место нахождения радара	Макс. уровень I/N (дБ)	Максимальная длительность при превышении порога (с)	Средняя длительность при превышении (с)	Количество превышений порога за 23 дня ⁽¹⁾	Усредненный искаженный сектор по углу азимута (градусы)	Максимальная длительность при превышении порога (с)	Средняя длительность при превышении (с)	Количество превышений порога за 23 дня ⁽¹⁾	Усредненный искаженный сектор по углу азимута ⁽³⁾ (градусы)
Низкая широта	23,8	0,20	0,12	8	0,6	0	0	0	0
Средняя широта	27,3	0,25	0,13	13	0,65	0,05	0,05	1	0,25
Высокая широта	24,6	0,25	0,12	19	0,6	0	0	0	0
Скорость вращения антенны 20°/с									
		Пороговое значение $I/N = +19,2$ дБ				Пороговое значение $I/N = +26,7$ дБ			
Низкая широта	23,9	0,10	0,05 ⁽²⁾	97	1	0	0	0	0
Средняя широта	24,2	0,05	0,05 ⁽²⁾	31	1	0	0	0	0
Высокая широта	24,2	0,05	0,05 ⁽²⁾	42	1	0	0	0	0

⁽¹⁾ Учитывает тот факт, что РЛС SAR имеет максимальный рабочий цикл, равный 20%.

⁽²⁾ Длина шага моделирования составила 0,05 с. Поэтому значение длительности в таблице 24, равное 0,05 с, реально может быть меньше.

⁽³⁾ Обычные метеорологические радары используют радиальное разрешение, равное примерно 1°. Азимут, искаженный менее, чем на 1°, приведет к искажению, как минимум, в одном радиусе, и возможно, в двух, если помехи происходят на границе радиусов. Небольшое число метеорологических радаров использует радиальное разрешение со значением десятых долей градуса.

5.5 Аналитическое исследование № 5: Изучение совместимости службы ССИЗ (активной) и фиксированной службы в полосе частот 9800–10 000 МГц

5.5.1 Способы анализа

Для получения статистических данных о помехах приемникам фиксированной службы от предполагаемого спутникового передатчика радиолокационной станции SAR и статистических данных о помехах предполагаемому спутниковому приемнику SAR от передатчиков фиксированной службы использовалась компьютерная модель.

5.5.1.1 Помехи от системы "из пункта в пункт" ФС приемнику РЛС SAR3

Была разработана компьютерная модель, которая вычисляет изменяющийся во времени уровень мощности помех приемнику активного спутникового датчика SAR от передатчиков фиксированной службы. При помощи этой модели были собраны статистические данные в виде вероятности превышения некоторого уровня мощности помех и данные о максимальном уровне помех на входе приемника SAR.

Моделирование было выполнено для интервала времени в 10 дней с шагом приращения времени, равным одной секунде. Для каждого момента приращения расстояние между приемником SAR и передатчиками фиксированной службы рассчитывалось на основе орбитальных параметров РЛС SAR и местоположения станции фиксированной службы. Для этого исследования антенна РЛС SAR была установлена в точке под углом 44° от надира в направлении перпендикуляра к сейсмическому профилю. Мощность помех на входе приемника SAR рассчитывалась на основе мощности передатчика, потерь на распространении развязки антенны. В настоящем исследовании предполагалось, что работа ведется с совпадающей поляризацией антенны и в совпадающем канале, а вносимые потери не учитывались. Предполагается, что станции ФС "из пункта в пункт" ведут непрерывную передачу со средней мощностью.

Параметры станций службы ССИЗ (активной) и "из пункта в пункт" ФС, использованные в настоящем исследовании, приведены в § 2 и § 4 настоящего Отчета, соответственно.

Моделирование осуществлялось для двух вариантов размещения станций фиксированной службы:

- 1536 станций ФС "из пункта в пункт", географически распределенных случайным образом по всему миру
- 1536 станций ФС "из пункта в пункт", размещенных на территории администраций, перечисленных в п. 5.477 Регламента Радиосвязи.

Критерий защиты РЛС SAR, использованный для данного анализа, равен $I/N = -6$ дБ. Средняя мощность шума в приемнике SAR составляет:

$$P_N = k T_0 B \quad (\text{Вт}),$$

где:

- k : постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/°К)
- T_0 : шумовая температура приемника SAR3 (600 К)
- B : ширина полосы пропускания приемника SAR3 по ПЧ ($512 \cdot 10^6$ Гц),

следовательно:

$$P_N: -113,73 \text{ дБВт.}$$

Для того чтобы выполнялись критерии защиты РЛС SAR, мощность помех на входе приемника SAR должна быть ниже $-119,73$ дБ(Вт/512 МГц) в течение 99% времени.

5.5.1.1.1 Моделирование станций, случайно распределенных по всему миру

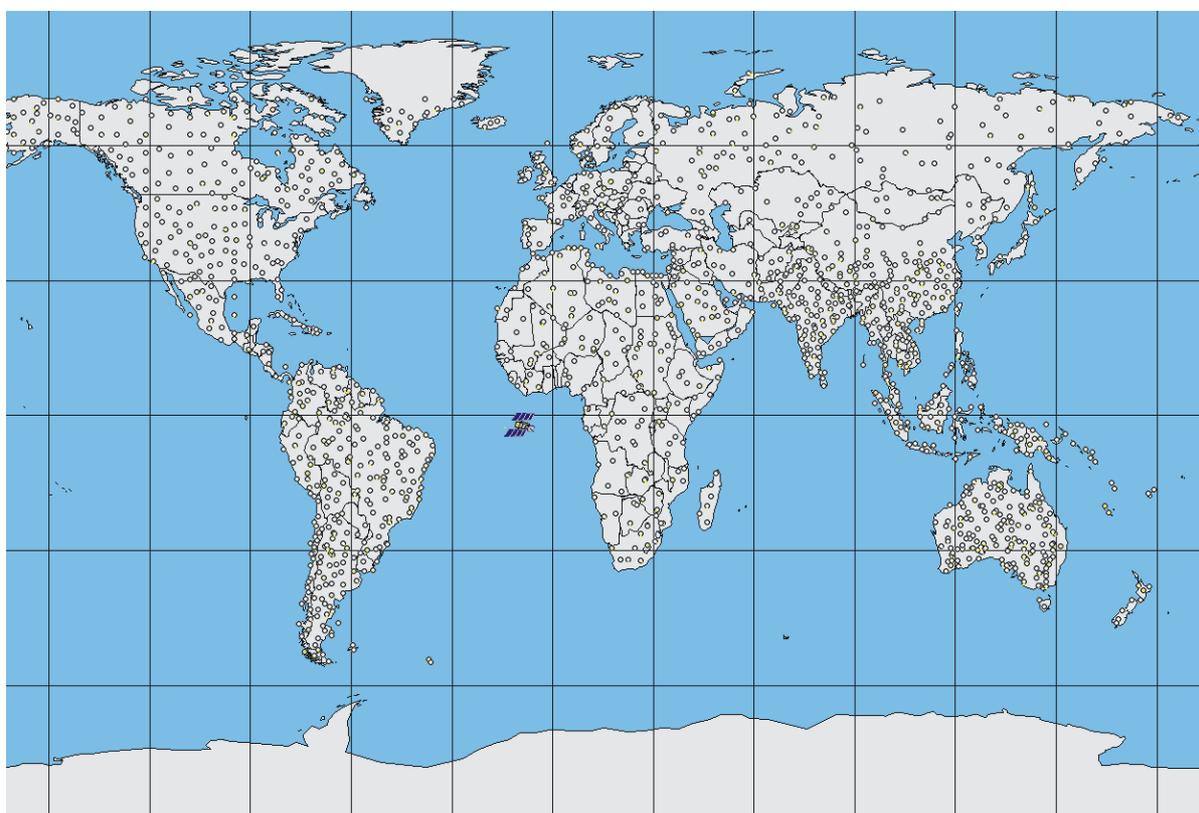
Все 1536 станций фиксированной службы (ФС) "из пункта в пункт" были случайным образом распределены по области, лежащей пределах от -55 до $+70^\circ$ по широте и $\pm 180^\circ$ по долготе. Некоторые случайные местоположения были изменены, для того чтобы все станции располагались на суше. Нижеприведенные параметры станции ФС были выбраны изначально и оставались неизменными в течение всего времени моделирования:

- широта каждой станции была выбрана как случайное значение между $-55^\circ - 70^\circ$
- долгота каждой станции была выбрана как случайное значение между $\pm 180^\circ$
- высота антенны станции была выбрана как случайное значение между 10–100 м
- угол места передающего луча антенны был выбран как случайное значение между $\pm 5^\circ$
- азимут антенны станции был выбран как случайное значение между $\pm 180^\circ$.

На рисунке 12 представлено изображение распределения станций ФС "из пункта в пункт".

РИСУНОК 12

Местоположения станций фиксированной службы, использованных при моделировании



Отч 2094-12

5.5.1.1.2 Моделирование местоположения на основе п. 5.477 Регламента Радиосвязи

Станции ФС "из пункта в пункт" располагались на территории администраций, перечисленных в п. 5.477 Регламента Радиосвязи. Примечание 5.477 определяет, что:

5.477 *Другая категория служб:* в Алжире, Саудовской Аравии, Бахрейне, Бангладеш, Брунее, Камеруне, Египте, Объединенных Арабских Эмиратах, Эритрее, Эфиопии, Гайане, Индии, Индонезии, Иране (Исламской Республике), Ираке, на Ямайке, в Японии, Иорданской Республике, Кувейте, Ливане, Либерии, Малайзии, Нигерии, Омане, Пакистане, Катаре, КНДР, Сингапуре, Сомали, Судане, Тринидаде и Тобаго и Йемене распределение полосы частот 9800–10 000 МГц в фиксированной службе произведено на первичной основе (см. № 5.33). (ВКР-03)

На рисунке 13 территории этих администраций изображены черным цветом.

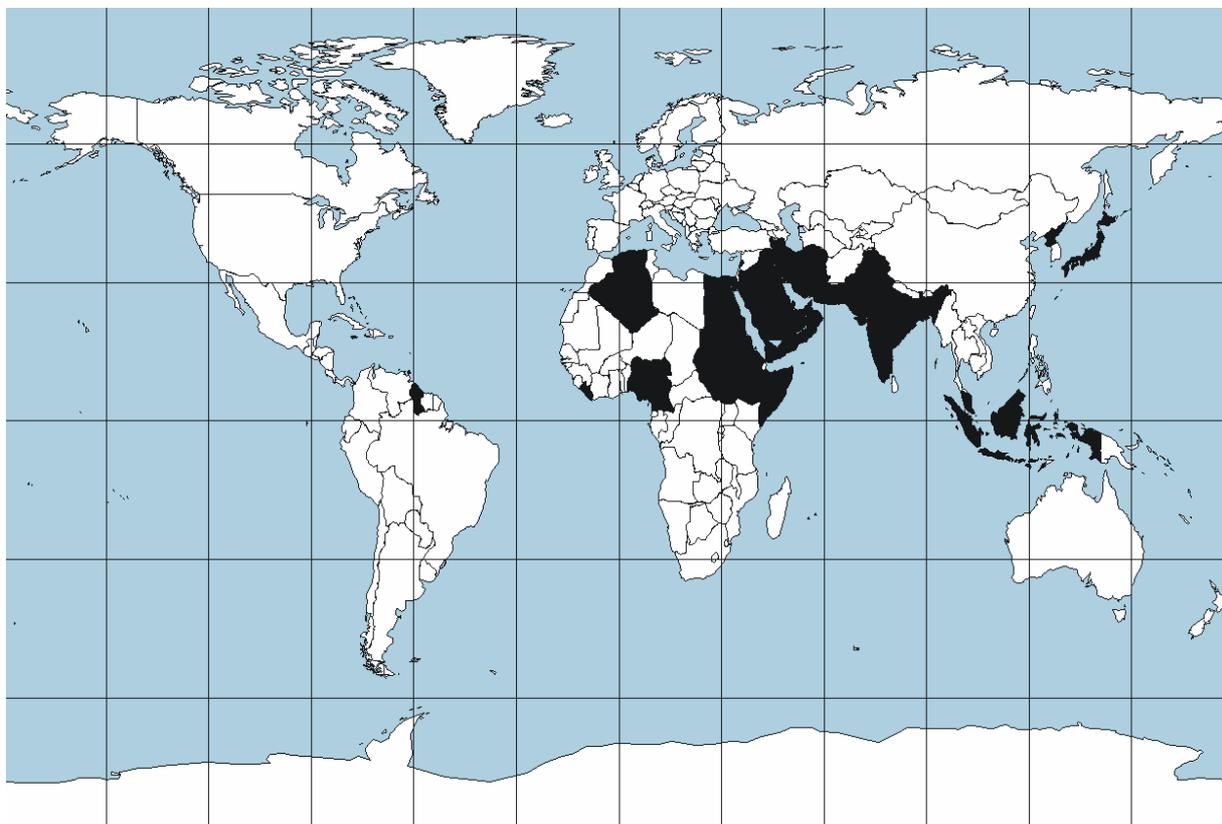
Системы ФС преимущественно размещены в городских и пригородных районах, и очень малое число станций расположено в сельской местности. 12 станций ФС "из пункта в пункт" были случайным образом размещены на территориях администраций, перечисленных в п. 5.477 Регламента Радиосвязи, в пределах каждого большого городского района. Для моделирования реальных условий станции ФС "из пункта в пункт" были расположены попарно и их антенны были направлены друг на друга. В результате было использовано 128 городских районов, что дало в итоге 1536 станций ФС "из пункта в пункт".

Следующие параметры станции ФС были выбраны изначально, как указано ниже, и оставались неизменными в течение всего времени моделирования:

- Высота антенны станции была выбрана как случайное значение между 10–100 м
- Угол места передающего луча антенны станции был выбран как случайное значение между $\pm 5^\circ$.

РИСУНОК 13

Страны, перечисленные в документе п. 5.477 Регламента Радиосвязи



Отч 2094-13

5.5.1.2 Помехи от РЛС SAR3 приемникам фиксированной службы (ФС) "из пункта в пункт"

Была разработана компьютерная модель, которая вычисляет изменяющийся во времени уровень мощности помех от активного спутникового датчика РЛС SAR3 на входе приемника фиксированной службы. При помощи этой модели были собраны статистические данные в виде вероятности превышения некоторого уровня помех и данные о максимальном уровне помех на входе приемника ФС.

Моделирование было выполнено для интервала времени в 60 дней с шагом приращения времени, равным 0,5 секунды. Для каждого приращения расстояние между передатчиком РЛС SAR и приемником фиксированной службы измерялось на основе орбитальных параметров и

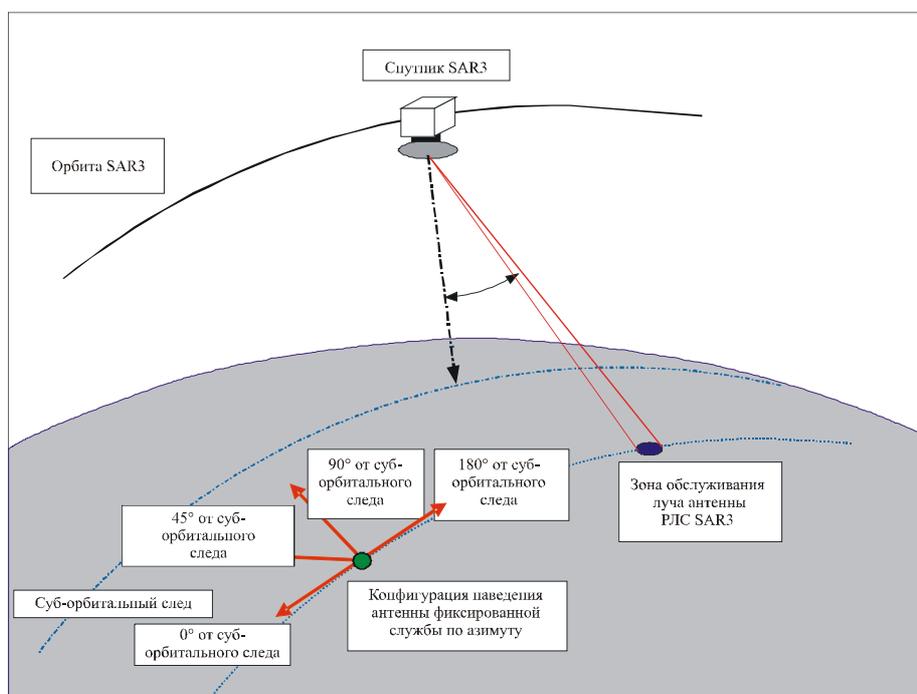
местоположения станции фиксированной службы. Мощность помех на входе приемника фиксированной службы рассчитывалась на основе мощности передатчика, потерь на распространении развязки антенны. В настоящем исследовании предполагалось, что работа ведется с совпадающей поляризацией антенны и в совпадающем канале, а вносимые потери не учитывались. Предполагалось, что РЛС SAR3 ведет непрерывные передачи со средней мощностью, которая вычисляется из пиковой мощности и импульсов рабочего цикла. В результатах, представленных ниже, не учитывали тот фактор, что РЛС SAR работает только в секторе, составляющем 10–20% обычной орбиты.

Администрации, указанные в п. 5.477 Регламента Радиосвязи, располагаются примерно в пределах 15° ю.ш. – 45° с.ш.. В таблице 25 приведены сценарии размещения и рассмотренные конфигурации наведения антенны, использованные в настоящем исследовании, а углы азимута антенн станций ФС были установлены по отношению к азимуту, соответствующему углу наклонения SAR3, как показано на рисунке 14. Значение высоты антенны станции было установлено равным 20 м.

Статистические данные о помехах собирались для пяти станций ФС "из пункта в пункт" при разных значениях угла места и азимутов антенны, что в результате дало 60 случаев.

РИСУНОК 14

Конфигурация наведения антенны станции ФС "из пункта в пункт" по азимуту



Отч 2094-14

ТАБЛИЦА 25

Параметры установки станций ФС "из пункта в пункт" (все 60 случаев)

Широта местоположения станции (градусы)	Долгота местоположения станции (градусы)	Направление азимута антенны относительно угла наклона РЛС SAR3 (градусы)	Угол места антенны (градусы)
45	0	0, 45, 90, 180	-5, 0, 5
30	0	0, 45, 90, 180	-5, 0, 5
15	0	0, 45, 90, 180	-5, 0, 5
0	0	0, 45, 90, 180	-5, 0, 5
-15	0	0, 45, 90, 180	-5, 0, 5

5.5.2 Результаты анализа

5.5.2.1 Помехи от службы ФС "из пункта в пункт" приемнику РЛС SAR3

Результаты анализа представлены для двух моделей расположения станций фиксированной службы:

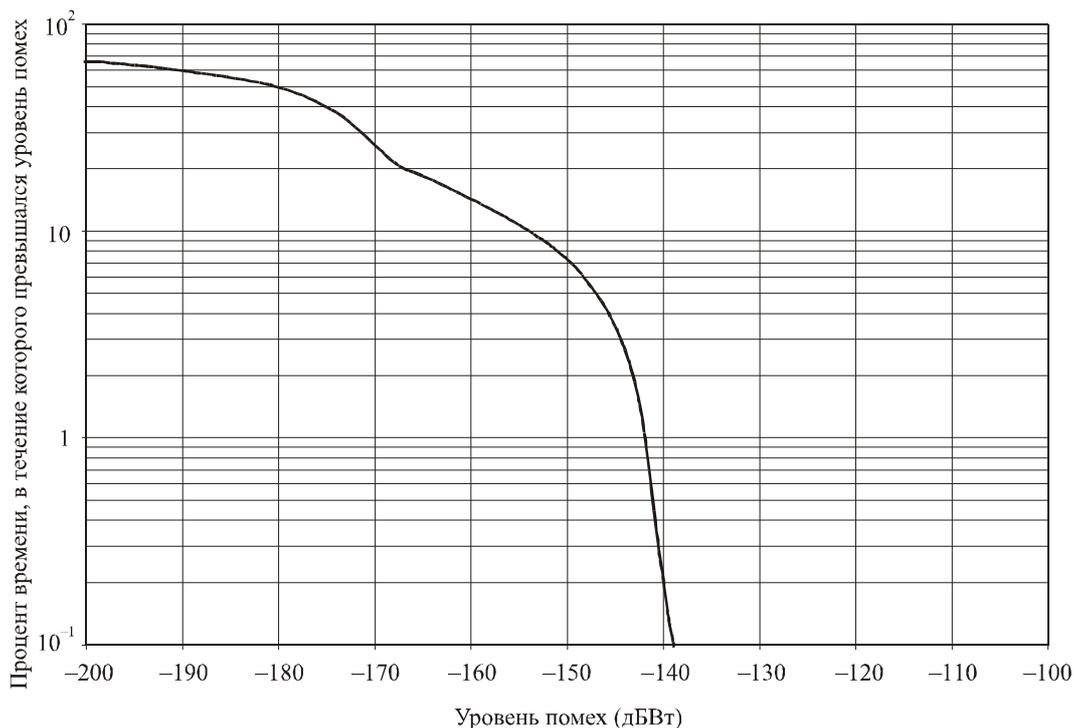
- 1536 станций ФС "из пункта в пункт", географически распределенных случайным образом по всему миру
- 1536 станций ФС "из пункта в пункт", размещенных на территории администраций, перечисленных в п. 5.477 Регламента Радиосвязи.

5.5.2.1.1 Моделирование станций, случайно распределенных по всему миру

На рисунке 15 показан график интегральной функции распределения (CDF) помех от 1536 станций ФС "из пункта в пункт" на входе приемника РЛС SAR3. Результаты представлены в виде мощности сигнала помех, получаемых на входе приемника спутникового датчика с шириной полосы пропускания по ПЧ, равной 512 МГц, в виде процента времени. Как видно на рисунке, мощность мешающего сигнала была равна примерно -142 дБВт для 99% готовности данных (точка 1%). Максимальный уровень помех, полученный на входе приемника РЛС SAR3, был равен $-125,0$ дБВт, что на 5,3 дБ ниже значения критериев защиты РЛС SAR.

РИСУНОК 15

Функция CDF помех от 1536 станций ФС "из пункта в пункт", случайно распределенных по всему миру



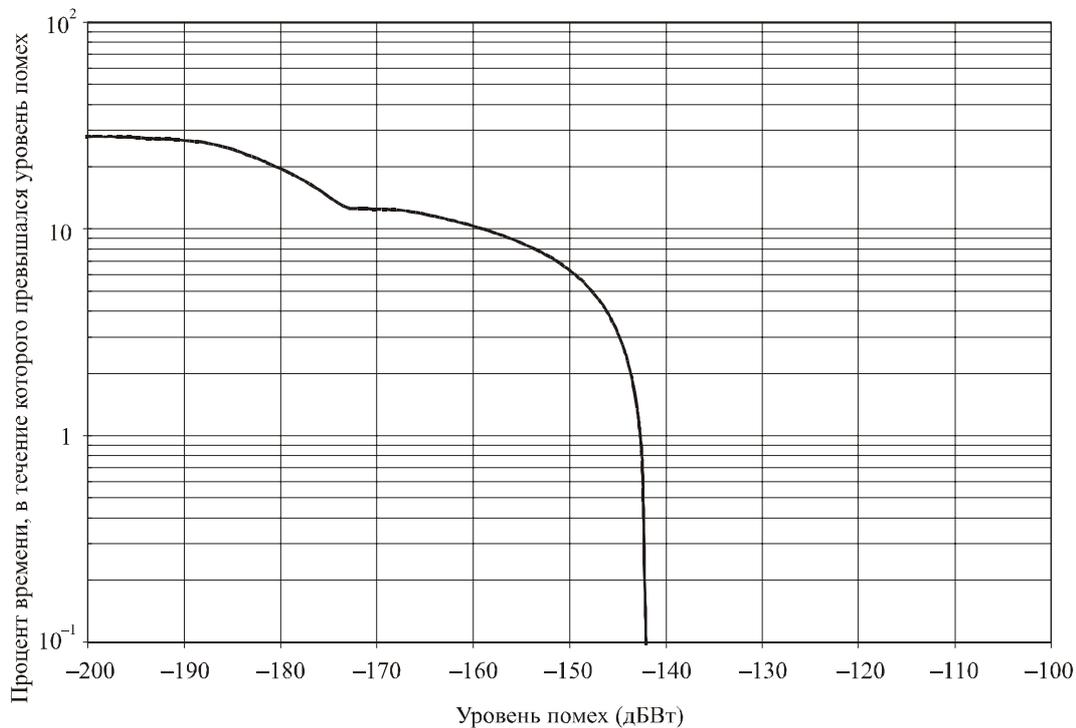
Отч 2094-15

5.5.2.1.2 Распределение в соответствии с п. 5.477 Регламента Радиосвязи

На рисунке 16 показан график функции CDF помех на входе приемника РЛС SAR3 от 1536 станций ФС "из пункта в пункт", распределенных в пределах 128 городских центров администраций, упомянутых в п. 5.477 Регламента Радиосвязи. Результаты представлены в виде мощности сигнала помех, принимаемых на входе приемника спутникового датчика с шириной полосы пропускания по ПЧ, равной 512 МГц, в течение определенного процента времени. Как видно на рисунке, мощность мешающего сигнала была равна примерно -143 дБВт для 99% готовности данных (точка 1%). Максимальный уровень помех на входе приемника РЛС SAR3 был равен $-125,17$ дБВт, что на 5,4 дБ ниже критерия защиты радиолокационной станции SAR.

РИСУНОК 16

Функция CDF помех от 1536 станций ФС "из пункта в пункт", размещенных на территории администраций, упомянутых в п. 5.477 Регламента Радиосвязи



Отч 2094-16

5.5.2.2 Помехи от РЛС SAR3 станциям ФС "из пункта в пункт"

5.5.2.2.1 Результаты анализа – Влияние угла места антенны станции фиксированной службы

При моделировании для всех углов азимута и всех значений широты местоположения различных станций службы ФС были использованы значения углов места антенны ФС, равные -5° , 0° и 5° . Для того чтобы определить влияние значения угла места на уровни I/N на входе станции ФС, было выполнено сравнение с использованием результатов моделирования, изображенных на рисунке 16.

На рисунке 17 представлены результаты анализа в виде интегральной функции распределения (CDF) значений I/N на входе приемника станции ФС, расположенной на широте 0° . Как видно на рисунке, уровни I/N при значении угла места, равном -5° , примерно на 5 дБ меньше уровней при значении угла места, равном 5° , для 0,1% точек. Точно так же, уровни I/N при значении угла места, равном 0° , примерно на 3 дБ меньше уровней при значении угла места, равном 5° , для 0,1% точек. Для 1% точек графики функции сходятся в одной точке значений углов места антенны службы ФС. Сходные результаты были получены для станций, расположенных на других широтах, которые были упомянуты в настоящем исследовании.

5.5.2.2.2 Результаты анализа – Влияние угла азимута антенны станции ФС

При моделировании для значения каждой широты различных станций ФС были использованы значения углов азимута антенны ФС, равные 0° , 45° , 90° и 180° относительно угла наклона РЛС SAR3. Для того чтобы определить влияние значений угла азимута на уровни I/N на входе станции ФС, было выполнено сравнение с использованием результатов моделирования на двух типичных широтах, как изображено на рисунках 18 и 19.

На рисунке 18 представлены результаты в виде функции CDF значений I/N на входе приемника станции службы ФС, расположенной на широте 0° , и похожие результаты представлены на рисунке 18 для широты 30° . Как видно на рисунке 18 (на широте 0°), влияние изменений значений углов азимута антенны ФС невелико в единицах уровня I/N , и все значения расположения в пределах примерно 0,5 дБ друг от друга для 0,1% точек.

РИСУНОК 17

Функция CDF уровней I/N в приемнике службы ФС на широте 0°

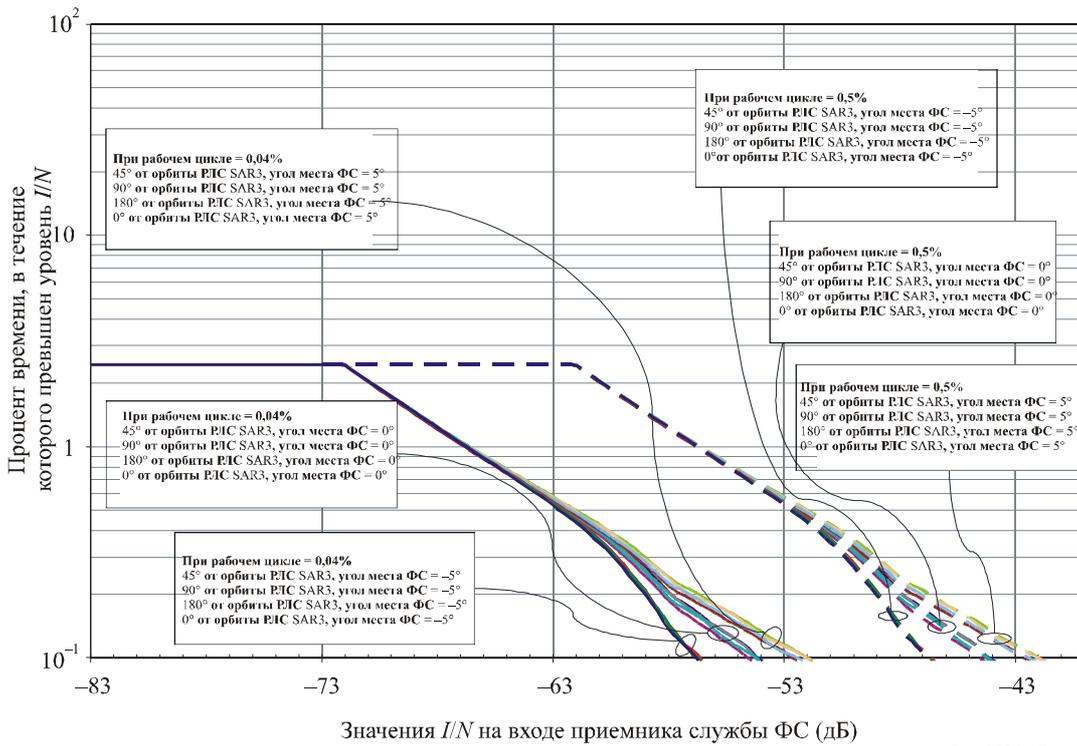


РИСУНОК 18

Функция CDF уровней I/N в приемнике службы ФС на широте 0° и значении угла места, равном 5°

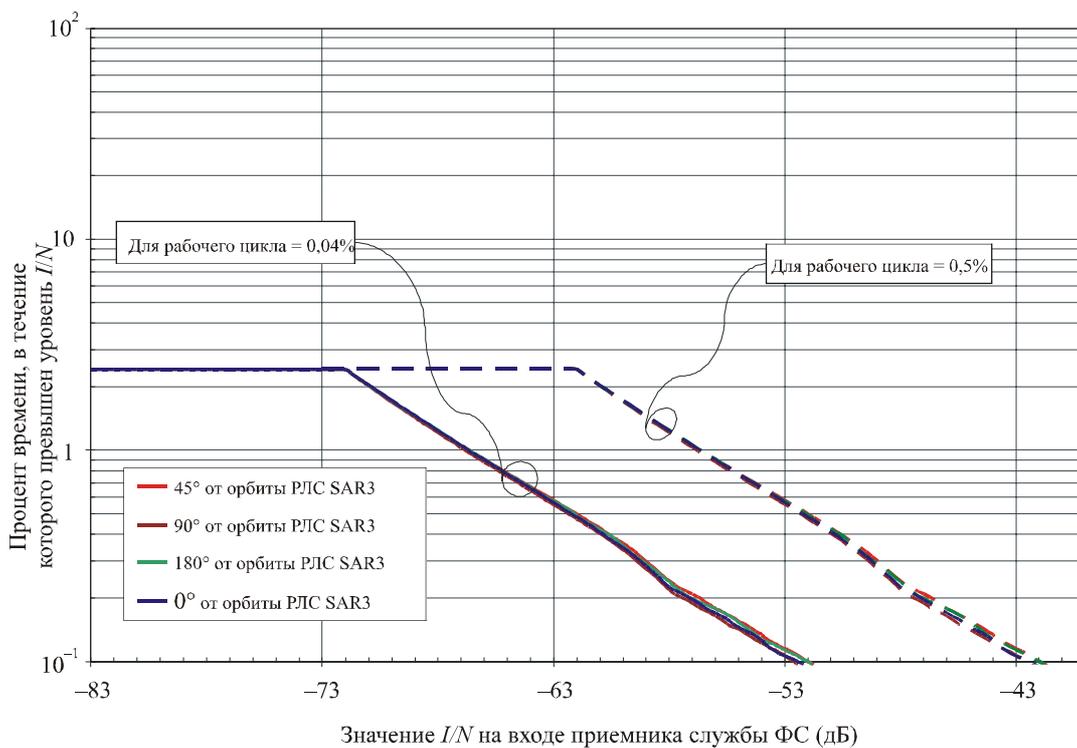
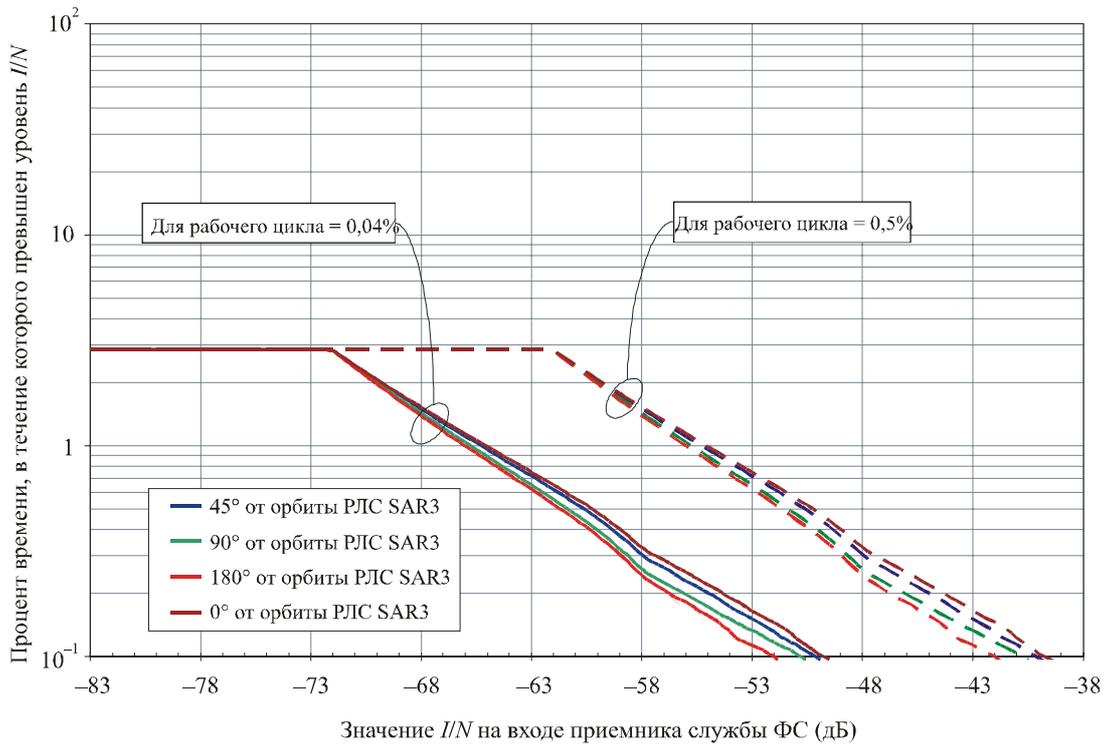


РИСУНОК 19

Функция CDF уровней I/N в приемнике службы ФС на широте 30° и угле места, равном 5°



Точно так же, на рисунке 19 (широта 30°) уровни I/N находятся друг от друга в пределах 2 дБ в 0,1% точек. В 1% точек графики функции CDF начинают сходиться в одной точке для значений углов азимута четырех антенн станций ФС.

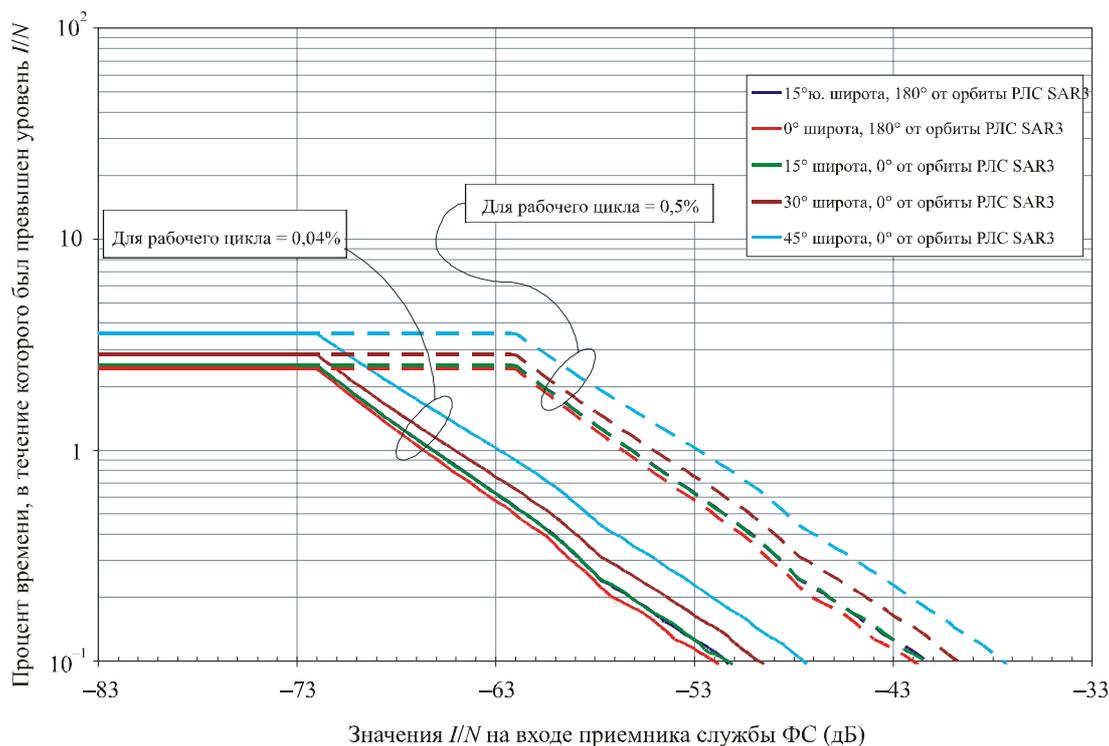
Сходные результаты были получены на других широтах использования станций ФС, упомянутых в настоящем исследовании.

5.5.2.2.3 Результаты анализа – Влияние широты местоположения станции ФС

В предыдущих разделах этого документа были представлены результаты, показывающие, что для наихудшего случая значение угла места антенны ФС было равно 5° , а значение угла азимута антенны было равно или 0° или 180° в зависимости от угла наклона спутникового датчика SAR. В этом разделе описывается воздействие широты местоположения ФС на уровень I/N на входе приемника ФС. При моделировании использовались значения широт, равные -15° , 0° , 15° , 30° , и 45° , и результаты наихудшего случая изображены на рисунке 20. В таблице 26 приведены конечные результаты.

РИСУНОК 20

Функция CDF для наихудшего случая уровней I/N в приемнике ФС с углом места = 5° на различных широтах



Отч 2094-20

ТАБЛИЦА 26

Обзор результатов для наихудшего случая помех

Широта станции ФС (градусы)	Направление азимута антенны ФС относительно угла наклона РЛС SAR3 (градусы)	Угол места антенны станции ФС (градусы)	Уровень I/N на входе приемника ФС (дБ)		Максимальный уровень I/N на входе приемника ФС (дБ) (0,04% рабочий цикл/ 0,5% рабочий цикл)	Процент времени, в течение которого наблюдался максимальный уровень I/N (%)
			Превышение уровня I/N в течение 1% времени (0,04% рабочий цикл/ 0,5% рабочий цикл)	Превышение уровня I/N в течение 0,1% времени (0,04% рабочий цикл/ 0,5% рабочий цикл)		
-15	180	5	-66,0/-56,0	-51,5/-41,5	-11,5/-1,5	0,04
0	180	5	-66,5/-56,5	-52,0/-42,0	-12,0/-2,0	0,04
15	0	5	-66,0/-56,0	-51,5/-41,5	-12,0/-2,0	0,06
30	0	5	-65,0/-55,0	-49,8/-39,8	-11,2/-1,2	0,07
45	0	5	-63,0/-53,0	-47,5/-37,5	-11,2/-1,2	0,03

5.5.3 Выводы из анализа

В настоящем исследовании изучалось совместное использование полосы частот 9800–10 000 МГц спутниковой РЛС SAR службы ССИЗ (активной) и станциями ФС "из пункта в пункт". Результаты моделирования показали следующее:

- Максимальные уровни помех спутниковой РЛС SAR были примерно на 5,3 дБ ниже критерия помех SAR как для 1536 станций ФС "из пункта в пункт", случайно распределенных по всему миру, так и для 1536 станций ФС "из пункта в пункт", размещенных на территории администраций, перечисленных в п. 5.477 Регламента Радиосвязи.
- Значения уровней I/N для наихудшего случая на входе приемников фиксированной службы "из пункта в пункт" от спутниковых РЛС SAR были получены, когда антенна ФС находилась

в точке с углом места, равным 5° , и углом азимута, равным 0° или 180° относительно угла наклона РЛС SAR3. Значения уровней I/N изменялось с изменением значений широты местоположения станции ФС со значением для наихудшего случая, равного $-53,0$ дБ, с импульсным рабочим циклом, $0,5\%$ превышаемым в течение 1% времени, для станции ФС, расположенной на широте 45° .

6 Примеры способов уменьшения помех от спутниковых РЛС SAR

6.1 Пример 1: Набор характеристик излучения для уменьшения помех от активных спутниковых датчиков в службе ССИЗ (активной), предназначенных для использования в полосе частот шириной 500 МГц вблизи 9,6 ГГц

6.1.1 Набор характеристик службы ССИЗ (активной) для уменьшения помех

Уровень мощности усредненного мешающего сигнала рассчитывался при помощи процедуры, описанной в Рекомендации МСЭ-R RS.1280.

В таблице 1 сравниваются ключевые параметры для расчетов значений помех для рассматриваемых радиолокационных станций SAR.

Самым большим различием между радиолокационными станциями SAR1, SAR2 и SAR3 является диапазон, сказывающийся как на ширине импульса, так и на частоте повторения импульсов. Учитывая длительность импульса, различие между минимальными и максимальными значениями для РЛС SAR2 и SAR3 составляет примерно 8 и 10, соответственно. Учитывая частоту повторения импульсов, максимальное значение для РЛС SAR2 примерно на 250% больше минимального.

Исходя из этого, считается необходимым, чтобы для РЛС SAR2 были выполнены отдельные вычисления для двух крайних значений диапазона. В таблицах 27 и 28 РЛС SAR2 разделена на:

- РЛС SAR2a с шириной импульса 10 мкс и частотой повторения импульсов (PRF) 2000 Гц и коэффициентом усиления антенны, равным 44,0 дБи.
- РЛС SAR2b с шириной импульса 80 мкс и частотой повторения импульсов (PRF) 4500 Гц и коэффициентом усиления антенны, равным 46,0 дБи.

Таким образом, представлен полный диапазон помех от минимального до максимального значений.

ТАБЛИЦА 27

Пример ослабления принимаемой нежелательной мощности датчика за счет изменений ширины импульсов датчика и ширины полосы частот импульса с ЛЧМ для РЛС SAR2a

	Новые значения параметров для РЛС SAR2a			ΔOTR (дБ)	ΔP_{avg} (дБ)	ΔI (дБ)
	τ (мкс)	PRF (Гц)	B_c (МГц)			
РЛС 1 (слежение)	10	2 000	400	-16,0	1,4 ⁽¹⁾	-14,6
РЛС 2 (поиск)	10	2 000	400	-19,0	-3,2	-22,3

⁽¹⁾ Считается необходимым использовать усредненный уровень мощности мешающего сигнала для самолетной РЛС и пиковый уровень мощности мешающего сигнала для РЛС слежения.

ТАБЛИЦА 28

Пример ослабления принимаемой нежелательной мощности датчика посредством изменений ширины импульсов датчика и ширины полосы частот импульса с ЛЧМ для РЛС SAR2b

	Новые значения параметров для РЛС SAR2b			ΔOTR (дБ)	ΔP_{avg} (дБ)	ΔI (дБ)
	τ (мкс)	PRF (Гц)	B_c (МГц)			
РЛС 1 (слежение)	80	4 500	400	-7,0	3,4 ⁽¹⁾	-3,6
РЛС 2 (поиск)	80	4 500	400	-19,0	11,3	-7,7

⁽¹⁾ Считается необходимым использовать усредненный уровень мощности мешающего сигнала для самолетной РЛС и пиковый уровень мощности мешающего сигнала для РЛС слежения.

В таблицах 29 и 30 приведены значения ширины импульса РЛС SAR3, составляющие 1–10 мкс, значения PRF, составляющие 410–515 Гц, значения коэффициента усиления антенны, составляющие 39,5–42,5 дБ, значения ослабления принимаемой нежелательной мощности датчика для PRF, составляющие 410 Гц, и значения коэффициента усиления антенны, составляющие 39,5–42,5 дБ. Для РЛС SAR3 были проведены отдельные вычисления для двух крайних значений диапазона ширины импульса и частоты повторения импульсов. В таблицах 29 и 30 РЛС SAR3 разделена на:

- РЛС SAR3a с шириной импульса, равной 1 мкс, частотой повторения импульсов (PRF) 410 Гц и коэффициентом усиления антенны, равным 39,5 дБи.
- РЛС SAR3b с шириной импульса, равной 10 мкс, частотой повторения импульсов (PRF) 515 Гц и коэффициентом усиления антенны, равным 42,5 дБи.

Если спутниковые датчики из таблицы 1 могут работать с различными значениями ширины импульса и ширины полосы радиоимпульса с линейной частотной модуляцией, например такими, которые приводятся в таблицах 27 и 28, тогда может быть достигнуто значительное уменьшение уровня мощности нежелательного сигнала. Например, в Рекомендации МСЭ-R RS.1280 предполагается, что существуют две радиолокационные станции, которые работают в полосе частот 9500–9800 МГц:

- радар слежения с шириной полосы по ПЧ = 1 МГц (радар 1);
- радар поиска с шириной полосы по ПЧ = 5 МГц (радар 2).

ТАБЛИЦА 29

Пример ослабления принимаемой нежелательной мощности датчика посредством изменений ширины импульсов датчика и ширины полосы частот импульса с ЛЧМ для РЛС SAR3a

	Новые значения параметров для РЛС SAR3a			ΔOTR (дБ)	ΔP_{avg} (дБ)	ΔI (дБ)
	τ (мкс)	PRF (Гц)	B_c (МГц)			
РЛС 1 (слежение)	1	410	450	-26,5	5,7 ⁽¹⁾	-20,9
РЛС 2 (поиск)	1	410	450	-19,5	-15,9	-35,4

⁽¹⁾ Считается необходимым использовать усредненный уровень мощности мешающего сигнала для самолетной РЛС и пиковый уровень мощности мешающего сигнала для РЛС слежения.

ТАБЛИЦА 30

Пример ослабления принимаемой нежелательной мощности датчика посредством изменений ширины импульсов датчика и ширины полосы частот импульса с ЛЧМ для РЛС SAR3b

	Новые значения параметров для РЛС SAR3b			ΔOTR (дБ)	ΔP_{avg} (дБ)	ΔI (дБ)
	τ (мкс)	PRF (Гц)	B_c (МГц)			
РЛС 1 (слежение)	10	515	450	-16,5	8,7 ⁽¹⁾	-7,9
РЛС 2 (поиск)	10	515	450	-19,5	-1,9	-21,4

⁽¹⁾ Считается необходимым использовать усредненный уровень мощности мешающего сигнала для самолетной РЛС и пиковый уровень мощности мешающего сигнала для РЛС слежения.

6.1.2 Выводы из анализа

В настоящем приложении представлены технические и эксплуатационные характеристики нескольких широкополосных радиолокационных станций SAR. Степень, до которой некоторые характеристики могут быть выбраны для уменьшения возможного влияния помех на радары наземного базирования и самолетные радары, также была рассчитана и показана. Все случаи для значений ширины полосы частот радара 1 и радара 2 (1 МГц и 5 МГц), соответственно, демонстрируют реальное уменьшение помех от РЛС SAR1.

6.2 Пример 2: Способ уменьшения помех с использованием антенны активного спутникового датчика SAR3 службы ССИЗ (активной), предназначенного для использования в полосе частот шириной 500 МГц вблизи 9,6 ГГц

В данном разделе представлен способ уменьшения помех от антенны РЛС SAR3 для использования в исследованиях совместимости и совместного использования частот.

6.2.1 Технические характеристики антенны широкополосного активного спутникового датчика SAR3

В таблице 1 представлены технические характеристики активного спутникового датчика РЛС SAR3. Диаграмма направленности передающей антенны РЛС SAR3 по азимуту отличается от азимута приемной антенны. Разрешающая способность обработки подмассива по азимуту может быть увеличена до одного метра. При обработке подмассива длина массива по азимуту делится на подмассивы, в результате чего отдельные подмассивы одновременно получают отраженные сигналы. Эффективная длина массива приема по азимуту равна длине подмассива, так что ширина луча антенны по азимуту шире, что соответствует меньшей длине подмассива. Диаграмма направленности передающей антенны использует все подмассивы и применяет фазовые искажения в массиве таким образом, что ширина диаграммы направленности антенны по азимуту по уровню 3 дБ приблизительно равна ширине диаграммы направленности антенны по азимуту для каждого подмассива приема. Одним из двух преимуществ фазового взвешивания по всему массиву является то, что может применяться пиковый уровень передачи, равный 25 кВт, по сравнению с 1/32 этой мощности для одного из подмассивов. Другим преимуществом является то, что при использовании фазовых искажений на передаче диаграмма направленности антенны по азимуту быстрее уменьшается с увеличением угла от главной оси, обеспечивая таким образом уменьшение помех, поскольку с увеличением угла от главной оси уменьшаются уровни боковых лепестков.

6.2.1.1 Проектные параметры

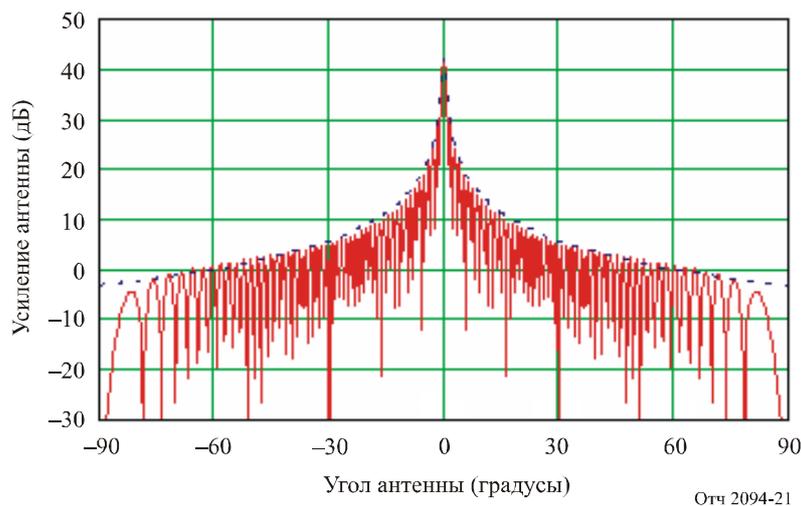
Предполагается, что РЛС SAR3 передает импульсы с линейной частотной модуляцией на центральной частоте около 9,6 ГГц с частотой повторения импульсов от 410 до 515 Гц, как показано в таблице 1. Сигнал передачи и приема имеет вертикальную или горизонтальную поляризацию, которую можно выбирать (ГГ или ВВ). Длительность импульса равна 1–10 мкс, а ширина полосы равна 450 МГц.

6.2.1.2 Диаграмма направленности антенны

На рисунке 21 показана диаграмма направленности антенны для равномерного взвешивания по отдельной панельной антенне и соответствующей огибающей для значений углов азимута между -90° и $+90^\circ$.

РИСУНОК 21

Равномерная передача спутниковой РЛС SAR3 (сплошная линия для равномерного взвешивания платы), равномерное взвешивание настройки огибающей кривой (пунктирная линия) на частоте 9600 МГц ($-4,5^\circ - +4,5^\circ$)



И для равномерного, и для фазового взвешивания, эффект "острия ножа" диаграммы направленности антенны линейных фазовых решеток также обеспечивает подавление помех, т. к. усиление антенны существенно снижается в стороне от основной оси излучения.

В таблице 31 приведены пересмотренные уравнения диаграммы направленности антенны. Пересмотренные уравнения включают в себя минимальное значение, равное -48 дБ на азимуте главной оси, но исключают общее минимальное внеосевое значение, равное -5 дБи. На рисунке 22 показана диаграмма направленности антенны в диапазонах углов азимута и места $-90^\circ < \theta_v < 90^\circ$ и $-90^\circ < \theta_h < -90^\circ$. Эффект "острия ножа" очевиден на главной оси по углу места и азимуту в этих уравнениях, поскольку коэффициент усиления антенны падает ниже значения -40 дБи во внеосевых областях графика.

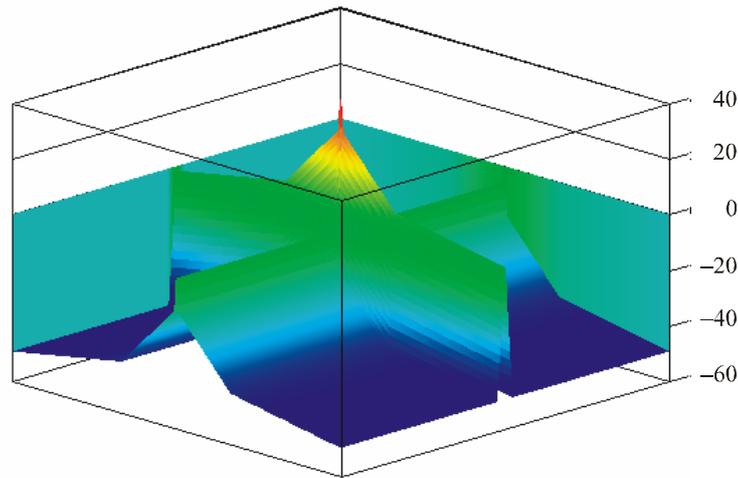
ТАБЛИЦА 31

Пересмотренные уравнения диаграммы направленности антенны спутниковой РЛС SAR3 на частоте 9600 МГц

Диаграмма	Усиление $G(\theta)$ (дБи) как функция угла от оси θ (градусы)	Угловой диапазон (градусы)
Вертикальная (по углу места)	$G_v(\theta_v) = 42,5 - 9,92(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 31,4 - 0,83 \theta_v$ $G_v(\theta_v) = 10,5 - 0,133 \theta_v$	$0 < \theta_v < 1,1$ $1,1 \leq \theta_v < 30$ $\theta_v \geq 30$
Горизонтальная (по азимуту)	$G_h(\theta_h) = 0,0 - 9,07(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = +1,9 - 12,08 \theta_h$ $G_h(\theta_h) = -48$	$0 < \theta_h < 1,15$ $1,15 \leq \theta_h < 4,13$ $\theta_h \geq 4,13$
Диаграмма луча	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

РИСУНОК 22

Трехмерная диаграмма направленности антенны спутниковой РЛС SAR3 на частоте 9600 МГц ($-90^\circ < \theta_h < +90^\circ$ и $-90^\circ < \theta_v < +90^\circ$) с использованием формул из таблицы 32



Отч 2094-22

6.2.2 Технические характеристики радиолокационной системы наземного базирования

РЛС G3 в таблице 7 зафиксирована с углом места, равным 0° , с шириной диаграммы направленности антенны по углу места, равной $0,81^\circ$, так, что если бы РЛС SAR3 смотрела вниз с углом наклона, равным 50° , то радиолокационная система G3 видела бы РЛС SAR3 боковым лепестком примерно под углом места 40° , что будет примерно в 48-м боковом лепестке для значения ДНА $0,81^\circ$ при коэффициенте усиления антенны -4 дБи в боковых лепестках для равномерного облучения, хотя реальное облучение, вероятно, проводит взвешивание амплитуды по углу места, что обеспечивает более высокую скорость уменьшения боковых лепестков.

6.2.3 Профили принимаемой мощности на станциях наземного базирования

Профили мощности помех от РЛС SAR3 радиолокационной системе G3 будут рассчитываться в момент, когда спутник пролетает над данной станцией G3 наземного базирования. Первый профиль будет получен при помощи фазового взвешивания по всем 50 метрам длины антенны, а второй профиль будет получен для помощью передачи с той же пиковой э.и.и.м. от отдельного подмассива антенны.

Мощность помех от РЛС SAR на входе РЛС наземного базирования рассчитывалась с помощью уравнений (15) и (16) из Приложения 1 Рекомендации МСЭ-R М.1461.

Характеристики РЛС SAR3 приведены в таблице 1. В этом примере помех от РЛС SAR3 радиолокационной системе G3 ширина импульса выбрана равной 10 мкс, а пиковое усиление антенны составляет 42,5 дБи.

На рисунке 23 показаны уровни помех радиолокационной системе G3 от РЛС SAR3, наблюдаемые в течение 2 минут орбитального времени, в виде орбитального пути РЛС SAR3 над фиксированным местоположением радиолокационной системы G3 при значении угла обзора, равном 44° .

Порог помех предполагает, что уровень I/N равен -10 дБ. РЛС SAR превышает этот порог в течение примерно 118 с при использовании равномерного взвешивания в отдельной панельной антенне; с другой стороны, при использовании фазового взвешивания в массиве РЛС SAR превышает порог в течение примерно 14 с. В этом примере фазовое взвешивание обеспечивает уменьшение помех и сокращает время, в течение которого помехи от РЛС SAR превышают порог РЛС наземного базирования в 8 раз.

Если используются пересмотренные уравнения диаграммы направленности антенны из таблицы 31, то для усиления антенны РЛС SAR3 больше не учитывается уровень, равный -5 дБи. Предполагается, что радар наземного базирования находится в области боковых лепестков РЛС SAR3 на 23° дальше точки, которую проходит спутник. На рисунке 24 показаны уровни помех системе G3 от РЛС SAR3 в

течение 2 минут орбитального времени в виде орбитального пути РЛС SAR3 над фиксированным местоположением РЛС G3 в пределах 23° в области боковых лепестков РЛС SAR3. Профиль с большей принимаемой мощностью отражает уравнения диаграммы направленности РЛС SAR3 с уровнем, равным 5 дБи, и показывает мощность принимаемых помех в виде прохождения главного лепестка РЛС SAR3 через РЛС наземного базирования. Профиль с меньшей принимаемой мощностью отражает уравнения диаграммы направленности РЛС SAR3 из таблицы 31 и показывает мощность принимаемых помех в виде главного лепестка РЛС SAR3 на 23° дальше в области боковых лепестков.

РИСУНОК 23

Уровни помех на входе радиолокационной системы наземного базирования G3 от РЛС SAR3 (при использовании или фазового взвешивания по всей решетке или равномерного взвешивания по всей плате) на орбите высотой 506 км

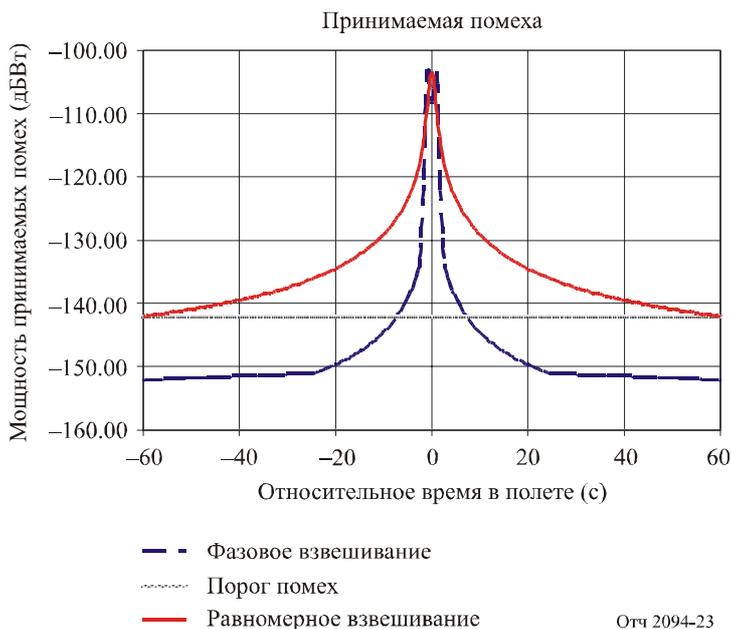
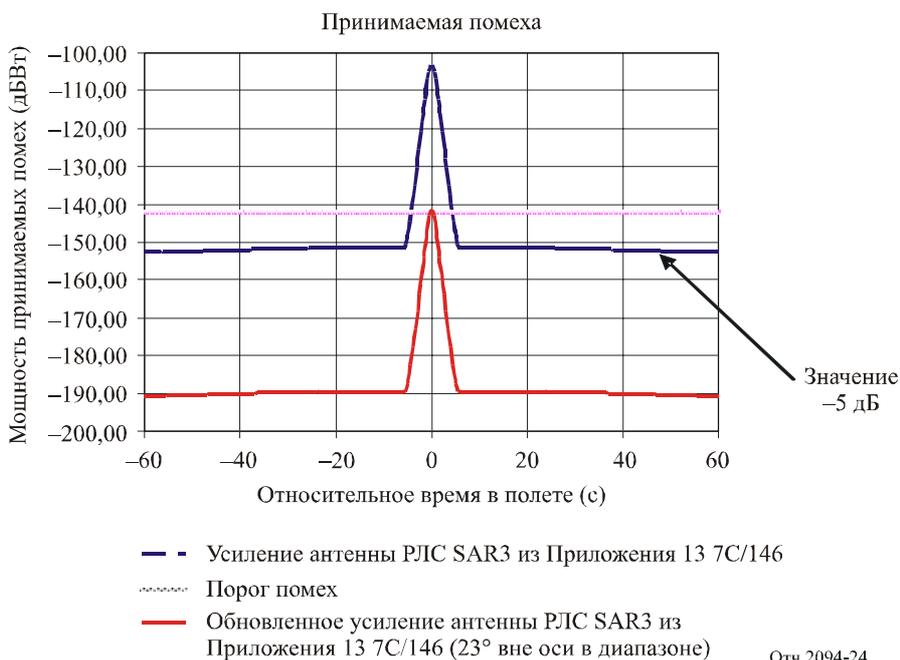


РИСУНОК 24

Уровни помех на входе радара наземного базирования G3 от РЛС SAR3 (при использовании исходных уравнений расчета усиления антенны для РЛС SAR3 и пересмотренных уравнений из таблицы 31) на орбите высотой 506 км



6.2.4 Выводы из анализа

В настоящем документе описан способ уменьшения помех при помощи фазового взвешивания в широкополосной антенной решетке РЛС SAR3. Было показано, что использование подхода на основе фазового взвешивания может значительно уменьшить помехи работе РЛС наземного базирования, создаваемых боковыми лепестками антенны РЛС SAR. Этот способ уменьшения помех может улучшить условия совместного использования частот радиолокационной станцией SAR и РЛС наземного базирования.

7 Заключение и выводы

В настоящем Отчете представлены подробные данные исследований, связанных с совместным использованием частот службой ССИЗ (активной) и службой радиоопределения в полосах частот 9300–9500 МГц и 9800–10 000 МГц и совместным использованием частот ССИЗ (активной) и фиксированной службой в полосе частот 9800–10 000 МГц. Кроме данных исследований совместного использования частот и помех, в Отчете представлена информация о способах уменьшения помех в службе ССИЗ (активной).

8 Справочные материалы

Документы МСЭ-R

- Рекомендация МСЭ-R M.1796 – Характеристики и критерии защиты для наземных радаров, работающих в службе радиоопределения в полосе частот 8500–10 500 МГц.
- Рекомендация МСЭ-R M.2081 – Результаты испытаний, иллюстрирующие совместимость типичных радионавигационных и радиолокационных систем и систем ССИЗ в полосе частот 8,5–10 ГГц.
- Рекомендация МСЭ-R F.758-4 – Принципы разработки критериев совместного использования частот наземной фиксированной службой и другими службами (Январь 2005 г.).
- Рекомендация МСЭ-R SM.337-4 – Частотное и пространственное разнесение (Октябрь 1997 г.).
- Рекомендация МСЭ-R SM.1541-1 – Нежелательные излучения в области внеполосных излучений (Ноябрь 2002 г.).
- Рекомендация МСЭ-R RS.1166-2 – Качественные показатели и критерии помех для активных спутниковых датчиков (Октябрь 1999 г.) (Заменяет МСЭ-R SA.1166-2).
- Рекомендация МСЭ-R M.1461-1 – Процедуры для определения возможности помех между РЛС, работающими в службе радиоопределения, и РЛС других служб (Июнь 2003 г.).
- Рекомендация МСЭ-R M.1372-1 – Эффективное использование радиоспектра радиолокационными станциями службы радиоопределения (Июнь 2003 г.).
- Рекомендация МСЭ-R RS.1280 – Выбор характеристик излучения активных спутниковых датчиков с целью уменьшения возможности возникновения помех наземным радиолокационным станциям, работающим в полосе частот 1–10 ГГц (Октябрь 1997 г.).
-