

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R RS.1260-2
(09/2017)

**Возможность совместного использования
частот активными датчиками на борту
космических аппаратов и другими
службами в диапазоне 420–470 МГц**

Серия RS
Системы дистанционного зондирования



Предисловие

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

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

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

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

Серии Рекомендаций МСЭ-R

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

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

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2018 г.

© ITU 2018

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

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R RS.1260-2

Возможность совместного использования частот активными датчиками на борту космических аппаратов и другими службами в диапазоне 420–470 МГц

(Вопрос МСЭ-R 218/7)

(1997–2003–2017)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлены подлежащие соблюдению технические и эксплуатационные характеристики датчиков ССИЗ (активной), действующих в полосе частот 432–438 МГц, в целях обеспечения защиты других первичных служб, действующих в данной полосе частот.

Ключевые слова

ССИЗ, активные датчики, радар с синтезированной апертурой (SAR), радар для отслеживания космических объектов, зона исключения

Соответствующие Рекомендации и Отчеты

Рекомендации МСЭ-R F.758, МСЭ-R F.1108, МСЭ-R M.1462.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что радары с синтезированной апертурой (SAR) могут измерять влажность почвы, биомассу лесов, обнаруживать такие скрытые геологические структуры, как сбросы, разломы, синклинали и антиклинали, а также могут размечать и измерять толщину антарктических льдов и гидрогеологические свойства засушливых и полусухих регионов;
- b)* что экспериментальные SAR, установленные на воздушных судах, продемонстрировали возможность проведения таких измерений;
- c)* что такие космические SAR должны работать на частотах ниже 500 МГц в целях проникновения сквозь плотную растительность и поверхность Земли на всемирной повторяющейся основе;
- d)* что полосы частот в диапазоне 420–470 МГц в настоящее время распределены радиолокационной, фиксированной, любительской службам, службе космической эксплуатации и подвижным службам;
- e)* что в рамках любительской службы операции со слабым сигналом (включая линии связи Земля–Луна–Земля) производятся в диапазоне частот с центром 432 МГц, а работа в любительской спутниковой службе (как на линии вверх, так и на линии вниз) осуществляется в полосе частот 435–438 МГц;
- f)* что участки этих полос частот используются другими службами, в том числе:
 - радаром профиля ветра в полосе 440–450 МГц, а в случае несовместимости радаров профиля ветра и других применений – в полосах 420–435 МГц и 438–440 МГц (Резолюция **217 (ВКР-97)**);
 - приемниками устройств для подрыва запускаемых космических летательных аппаратов по команде в целях обеспечения безопасности полигонов в полосе 449,75–450,25 МГц (пункт **5.286** Регламента радиосвязи (РР)), а также вблизи частот 421,0; 425,0; 427,0; 440,0 и 445,0 МГц в Соединенных Штатах Америки и Бразилии, а во Французских заморских департаментах в Районе 2 и в Индии – в полосе 433,75–434,25 МГц (пункт **5.281** РР);

- g)* что определенные космические радары SAR могут создавать у поверхности Земли значения п.п.м., превышающие уровни п.п.м., необходимые для защиты фиксированной службы и сухопутной подвижной службы, которым распределены частоты в данном диапазоне;
- h)* что совместное использование частот с радаром профиля ветра, вероятнее всего, невозможно ввиду помех космическим активным датчикам;
- i)* что радары SAR и любительская служба (на первичной основе в Районе 1 и на вторичной основе в Районах 2 и 3, за исключением указанных в пункте **5.278** PP) могут сосуществовать в полосе 430–440 МГц при принятии соответствующих технических и эксплуатационных мер, определенных в Приложении 1 к данной Рекомендации;
- j)* что в качестве дополнения в положениях пунктов **5.274**, **5.275**, **5.276**, **5.277**, **5.278**, **5.281** и **5.283** PP приведен список стран, для которых определены участки полос частот между 430 и 440 МГц, имеющих первичный статус для фиксированной, подвижной, космической служб и/или любительской службы;
- k)* что некоторые исследования совместного использования показали, что совместное использование частот любительскими службами и некоторыми предложенными радаром SAR в составе спутниковой службы исследования Земли (ССИЗ) является возможным для некоторых любительских режимов передачи, таких как ЧМ- и многостанционный доступ с временным разделением каналов (TDMA), но будет сложным для режимов работы с непрерывным излучением и на одной боковой полосе;
- l)* что Рекомендация МСЭ-R М.1462 содержит технические и эксплуатационные характеристики, а также критерии защиты для радаров (воздушных, судовых и отслеживающих космические объекты), функционирующих в составе радиолокационной службы, работающей в полосе 420–450 МГц;
- m)* что существует вероятность неприемлемых помех от некоторых космических радаров SAR наземным радарам для отслеживания космических объектов, функционирующих в полосе 420–450 МГц, если космический радар SAR окажется в пределах видимости наземных радаров (т. е. выше видимого горизонта радаров);
- n)* что некоторые космические радары SAR будут отслеживаться наземными радаром для отслеживания космических объектов, и результирующий нежелательный уровень мощности, принимаемый космическим SAR, может приближаться к его максимально допустимому уровню мощности;
- o)* что существует потенциальная возможность неприемлемых помех от некоторых космических радаров SAR воздушным и судовым радаром, работающим в полосе частот 420–450 МГц, вероятность и степень воздействия которых во многом зависят от характеристик SAR;
- p)* что любая вредная помеха, даже в течение очень коротких промежутков времени, создаваемая радаром SAR приемникам устройств для подрыва запускаемых космических летательных аппаратов по команде, может нанести ущерб безопасности человеческой жизни и имущества;
- q)* что ввиду сложности использования оборудования ССИЗ (активной) на таких низких частотах ожидается наличие на орбите весьма небольшого количества платформ одновременно,
рекомендует,
- 1** чтобы активные космические датчики, работающие в полосах частот, используемых любительской службой, любительской спутниковой службой, фиксированной, радиолокационной службами, службой космической эксплуатации, подвижными службами, а также ПСС в диапазоне 420–470 МГц, соответствовали техническим и эксплуатационным ограничениям, оговоренным в Приложении 1 к данной Рекомендации;
- 2** чтобы космические активные датчики, работающие в диапазоне 420–450 МГц, не вводились в эксплуатацию в пределах видимости наземных радаров для отслеживания космических объектов, перечисленных в таблице 2, до проведения детального анализа на основе рассмотрения каждого отдельного случая, включая рассмотрение эффектов обработки приемником радара нежелательных сигналов SAR, а также, по возможности, полевых испытаний для подтверждения совместимости со взаимными соглашениями между затронутыми администрациями;

3 чтобы космические радары SAR, предназначенные для работы в диапазоне 420–450 МГц, разрабатывались с учетом устойчивости к уровням мощности нежелательных сигналов, являющихся результатом отслеживания наземными радаром космических объектов;

4 что может потребоваться обеспечение достаточного частотного и географического разноса между космическими радаром SAR и радаром профиля ветра, работающими в диапазонах 420–432 МГц и 438–450 МГц;

5 чтобы полосы частот активных космических датчиков выбирались таким образом, чтобы избежать перекрытия с полосами частот приемников устройств для подрыва запускаемых космических летательных аппаратов по команде, перечисленными в пункте *f*) раздела *учитывая*;

6 чтобы в случаях, вызывающих трудности с реализацией пункта 5 раздела *рекомендует*, активные космические датчики, работающие в полосах частот, распределенных приемникам устройств для подрыва запускаемых космических летательных аппаратов по команде в целях безопасности полигонов, не вводились в эксплуатацию в пределах определенного расстояния от точек использования команд для запуска ракет во избежание помех от активных космических датчиков приемникам устройств для подрыва запускаемых космических летательных аппаратов.

Приложение 1

Технические и эксплуатационные ограничения для ССИЗ (активной), работающей в диапазоне 420–470 МГц

В целях защиты станций, функционирующих в составе существующих служб, излучения передатчиков SAR станций ССИЗ (активной), работающих в диапазоне частот 420–470 МГц, являются предметом технических и эксплуатационных ограничений, определенных в данном Приложении.

Приведенные ниже ограничения базируются на исследованиях МСЭ-R. В Приложении 2 приведена информация о возможности совместного использования активными космическими датчиками и другими службами диапазона частот 420–470 МГц.

1 Технические ограничения

ТАБЛИЦА 1

Технические ограничения для оборудования ССИЗ (активной) в диапазоне 420–470 МГц

Параметр	Значение
Пиковая п.п.м. у поверхности Земли, создаваемая основным лепестком антенны	-140 дБ(Вт/(м ² · Гц))
Максимальная средняя п.п.м. у поверхности Земли, создаваемая основным лепестком антенны	-150 дБ(Вт/(м ² · Гц))
Максимальная средняя п.п.м. у поверхности Земли, создаваемая 1-м боковым лепестком антенны	-170 дБ(Вт/(м ² · Гц))

2 Эксплуатационные ограничения

ССИЗ (активная), работающая в полосе 420–450 МГц, не должна вести передачу в пределах видимости наземных радаров для отслеживания космических объектов, перечисленных в таблице 2, до проведения детального анализа, включающего рассмотрение эффектов обработки приемником радара нежелательных сигналов SAR, а также, по возможности, полевых испытаний для подтверждения совместимости.

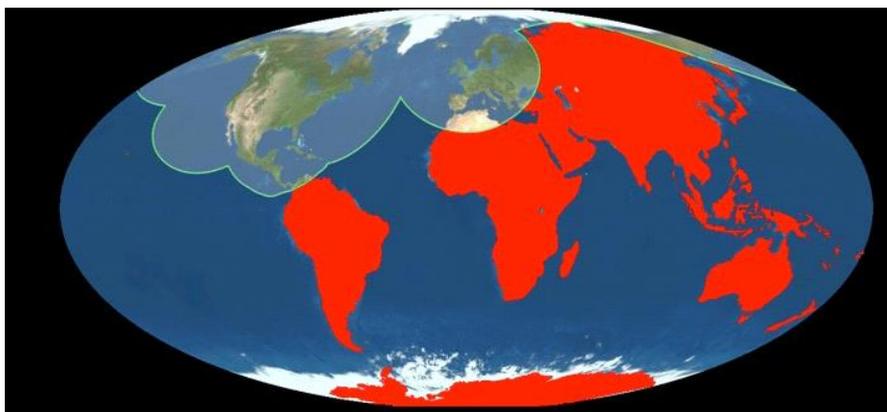
Как следствие вышеприведенных ограничений, оборудование ССИЗ (активной) должно разрабатываться таким образом, чтобы сделать возможным программируемое отключение всех РЧ-излучений над географическими зонами или странами, где регламентарные положения МСЭ или национальные положения запрещают их функционирование.

Профиль работы оборудования ССИЗ (активной) должен быть программно ориентированным, нацеленным на определенные географические зоны и должен ограничивать время активности оборудования минимально необходимым для достижения целей программы. Таким образом измерения, выполняемые данным оборудованием, не требуют продолжительного функционирования оборудования, и можно ожидать интервалы длительностью в месяцы между успешными измерениями в одной и той же зоне.

Дежурный цикл работы в программно ориентированном режиме составит максимум 15% (обычно 10%). Оборудование будет выключаться, если оно не будет задействовано в программно ориентированном режиме.

РИСУНОК 1

Пример зоны исключения вокруг радаров для отслеживания космических объектов для SAR на орбите 665 км (массивы суши за пределами зоны исключения выделены красным цветом)



RS.1260-01

ТАБЛИЦА 2

Радары для отслеживания космических объектов, работающие в полосе частот 430–440 МГц

Расположение радара	Широта	Долгота
Массачусетс (Соединенные Штаты Америки)	41,8° с. ш.	70,5° з. д.
Техас (Соединенные Штаты Америки)	31,0° с. ш.	100,6° з. д.
Калифорния (Соединенные Штаты Америки)	39,1° с. ш.	121,5° з. д.
Джорджия (Соединенные Штаты Америки)	32,6° с. ш.	83,6° з. д.
Флорида (Соединенные Штаты Америки)	30,6° с. ш.	86,2° з. д.
Северная Дакота (Соединенные Штаты Америки)	48,7° с. ш.	97,9° з. д.
Аляска (Соединенные Штаты Америки)	64,3° с. ш.	149,2° з. д.
Туле (Гренландия)	76,6° с. ш.	68,3° з. д.
Файлингдэйлс Мур (Соединенное Королевство)	54,5° с. ш.	0,4° з. д.

3 Защитные критерии для существующих служб в диапазоне частот 420–470 МГц

Не все защитные критерии, приведенные в данном разделе, содержатся в Рекомендациях МСЭ-R. Поэтому некоторые из защитных критериев были взяты из информации, полученной в ходе исследований МСЭ-R. Таблица 3 отражает информацию, доступную на момент разработки данной Рекомендации.

Необходимо отметить, что любые будущие Рекомендации, описывающие защитные критерии для любой заданной службы, будут иметь преимущество перед значениями, содержащимися в таблице и полученными из результатов исследований МСЭ-R.

ТАБЛИЦА 3

Защитные критерии для служб в диапазоне 420–470 МГц

Полоса частот (МГц)	Службы РР	Процент времени и критерии из колонок 4 и 5, которые должны применяться только в следующих географических зонах	Максимальный процент времени возможного превышения критерия ⁽¹⁾	Критерии помех на приемных станциях	Источники
430–440	Любительская	В пределах прямой видимости (LoS) наземных любительских станций, расположенных в районах, определенных в п. i) раздела <i>учитывая</i>	1%	п.п.м. = = -204 дБ(Вт/ (м ² · Гц)) ⁽²⁾	Исследования МСЭ-R
435–438	Любительская спутниковая	В пределах LoS спутниковых любительских наземных станций, расположенных в районах, определенных в п. i) раздела <i>учитывая</i>	1%	п.п.м. = = -197 дБ(Вт/ (м ² · Гц))	Исследования МСЭ-R
435–438	Любительская спутниковая	В пределах LoS приемников любительских космических станций	1%	п.п.м. = = -187 дБ(Вт/ (м ² · Гц))	Исследования МСЭ-R
420–470 ⁽³⁾	Фиксированная	В пределах LoS станций фиксированной службы, включая станции, расположенные в районах, определенных в п. j) раздела <i>учитывая</i>	Неприменимо	(I/N) _{средн.} = -20 дБ (эквивалентно 1% частичного ухудшения качества)	Рек. МСЭ-R F.758 и МСЭ-R F.1108
420–432 и 438–450	Радиолокационная	В пределах LoS радаров профиля ветра	⁽⁴⁾	(I/N) _{пик.} = -6 дБ	Rec. ITU-R M.1462
420–450	Космической эксплуатации	В пределах LoS приемников устройств для подрыва запускаемых КЛА, расположенных в районах, определенных в п. j) раздела <i>учитывая</i>	Требуется частотный или географический разнос		Исследования МСЭ-R

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

Защитные критерии для служб в диапазоне 420–470 МГц

Полоса частот (МГц)	Службы РР	Процент времени и критерии из колонок 4 и 5, которые должны применяться только в следующих географических зонах	Максимальный процент времени возможного превышения критерия ⁽¹⁾	Критерии помех на приемных станциях	Источники
420–450	Радио-локационная	В пределах LoS наземных радаров для отслеживания космических объектов ⁽⁵⁾	⁽⁴⁾	$(I/N)_{\text{пик}} = -6$ дБ	Rec. ITU-R M.1462
420–450	Радио-локационная	В пределах LoS бортовых судовых радаров	⁽⁴⁾	$(I/N)_{\text{пик}} = -6$ дБ	Rec. ITU-R M.1462
420–450	Радио-локационная	В пределах LoS бортовых авиационных радаров	⁽⁴⁾	$(I/N)_{\text{пик}} = -6$ дБ	Rec. ITU-R M.1462
420–470 ⁽³⁾	Подвижная	В пределах LoS подвижных станций, включая станции, расположенные в районах, определенных в п. j) раздела <i>учитывая</i>	0,1%	п.п.м. = = -204 дБ(Вт/ (м ² · Гц)) ⁽²⁾	Исследования МСЭ-R

Примечания к таблице 3

- ⁽¹⁾ Учитывая все активные радары SAR в этом диапазоне частот.
- ⁽²⁾ Максимальная совокупная п.п.м., определенная для полосы 430–440 МГц, основана на максимальном приемлемом уровне помех, принимаемых усредненным боковым лепестком любительской приемной антенны.
- ⁽³⁾ В полосе 430–440 МГц распределения фиксированной и подвижной службам существуют только для некоторых стран, указанных в Примечании.
- ⁽⁴⁾ Критерий, приведенный в Recommendation ITU-R M.1462, основан на защите радиолокационных систем от шумоподобных помех. Совместное использование частот радиолокационными системами и активными космическими датчиками может оказаться возможным при уровнях помех выше приведенных в Recommendation ITU-R M.1462, при использовании методов обработки сигнала, отфильтровывающих нежелательные импульсные излучения. В Recommendation ITU-R M.1372 приводится описание некоторых из таких методов подавления помех.
- ⁽⁵⁾ ССИЗ (активная), работающая в полосе 420–450 МГц, не должна вести передачу в пределах видимости наземных радаров для отслеживания космических объектов, перечисленных в таблице 2, до проведения детального анализа на основе каждого отдельного случая, включающего рассмотрение эффектов обработки приемником радара нежелательных сигналов SAR, а также, по возможности, полевых испытаний для подтверждения совместимости со взаимными соглашениями между затронутыми администрациями.

Приложение 2

Методология оценки и уменьшения уровня помех

1 Введение

В данном разделе приводится методология, позволяющая произвести оценку в отношении того, создаст ли трудности нежелательный сигнал, принимаемый другими службами в полосе 420–470 МГц от активных космических датчиков, если работа осуществляется в общих полосах частот. Большая часть содержания данного Приложения была извлечена из Приложения 1 к

Рекомендации МСЭ-R RS.1280 "Выбор характеристик излучения активных космических датчиков для снижения потенциальных помех наземным радарам, работающим в полосах частот 1–10 ГГц". В расчетах выделяется ряд параметров датчика, которые надо выбирать таким образом, чтобы улучшить ситуацию совместного использования частот.

2 Расчет помех другим службам

Средняя п.п.м. мешающего сигнала I_{pfd} (дБ(Вт/(м² · Гц))) и средний уровень мощности мешающего сигнала I (дБВт), принимаемого другими службами от активных космических датчиков, рассчитываются следующим образом:

$$I_{pfd} = 10 \log P_t + 10 \log (\tau \text{ PRF}) + G_t - (130,99 + 20 \log R + 10 \log B) + \text{OTR} - \text{PG} \quad (1a)$$

и

$$I = 10 \log P_t + 10 \log (\tau \text{ PRF}) + G_t + G_r - (32,44 + 20 \log (f R)) + \text{OTR} - \text{PG}, \quad (1b)$$

где:

- P_t : пиковая мощность передатчика космического датчика (Вт);
- τ : ширина импульса космического датчика (с);
- PRF: частота следования импульсов космического датчика (Гц);
- G_t : коэффициент усиления антенны космического датчика в направлении других служб (дБи);
- R : наклонная дальность от датчика до радара (км);
- B : ширина полосы датчика (МГц);
- OTR: подавление помехи при настройке приемника (дБ);
- PG: выигрыш от обработки (дБ), подавление нежелательных сигналов вследствие обработки принимаемого сигнала (если неизвестен, предполагается равным нулю);
- f : частота (МГц).

Выражение (1a) дает значение среднего уровня п.п.м. мешающего сигнала, а выражение (1b) дает значение среднего уровня мощности мешающего сигнала. Средний уровень мощности помехи используется, если определено, что такое использование приемлемо. Например, радар, который производит над принимаемым сигналом быстрое преобразование Фурье (БПФ), "размажет" неоднородный импульсный сигнал по некоторому числу накопителей, вследствие чего уровень мешающего сигнала усредняется. Коэффициент подавления помехи при настройке приемника рассчитывается следующим образом:

$$\text{OTR} = 10 \log (B_r / B_t) \quad \text{при } B_r \leq B_t; \quad (2a)$$

$$= 0 \quad \text{при } B_r > B_t, \quad (2b)$$

где:

- B_r : ширина полосы пропускания приемника;
- B_t : ширина полосы передаваемого мешающего сигнала.

Если представляет интерес пиковый мешающий сигнал, то второй член выражения (1) отбрасывается и подавление помехи при настройке приемника рассчитывается следующим образом:

входной импульс без частотной модуляции:

$$\text{OTR} = 20 \log (B_r \tau) \quad \text{при } B_r \tau < 1; \quad (3a)$$

$$= 0 \quad \text{при } B_r \tau > 1; \quad (3b)$$

входной импульс с частотной модуляцией:

$$\text{OTR} = 10 \log \left(\frac{B_r^2 \tau}{B_c} \right) \quad \text{при } \frac{B_r^2 \tau}{B_c} < 1; \quad (4a)$$

$$= 0 \quad \text{при } \frac{B_r^2 \tau}{B_c} > 1, \quad (4b)$$

где:

B_r : ширина полосы по ПЧ приемника другой службы;

B_c : ширина полосы импульса с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) космического датчика;

τ : ширина импульса датчика.

3 Критерии помех для других служб

Конкретные критерии для определенных систем других служб приведены в таблице 1 в виде пределов максимальной совокупной п.п.м. на приемных станциях (дБ(Вт/(м² · Гц))), а также максимального процента времени превышения этих пределов п.п.м. Существует несколько случаев, описанных далее, где используются другие критерии.

3.1 Обзорные радары в радиолокационной службе

Предполагается, что отношение S/N на входе приемника обзорного радара не должно ухудшаться более чем на 0,5 дБ за один период сканирования, принимаемый равным 10 с. Это выражается в отношении I/N по мощности в тракте ПЧ приемника, равном -9 дБ. Считается, что в случае обзорных радаров интерес представляет средний уровень мощности мешающего сигнала.

3.2 Радары слежения в радиолокационной службе

В радаров слежения часто используются селекторы по дальности для исключения всех отраженных сигналов, кроме приходящих с интересующих расстояний. Важным фактором при определении чувствительности радаров слежения к последовательности мешающих импульсов является доля мешающих импульсов, совпадающая с селекторными импульсами дальности. Совпадение мешающих импульсов с селекторными импульсами дальности зависит от того, являются ли частоты следования полезных и мешающих импульсов (PRF) по отношению друг к другу целыми кратными (случай I) или нет (случай II). Доля совпадающих импульсов f_c определяется из выражения:

$$f_c = \frac{\text{GCF}(\text{PRF}_i, \text{PRF}_g)}{\text{PRF}_g} \quad \text{для случая I}; \quad (5a)$$

$$f_c = \text{PRF}_i (\tau_g + \tau_i) \quad \text{для случая II}, \quad (5b)$$

где:

PRF_i : частота следования мешающих импульсов;

PRF_g : частота следования селекторных импульсов;

$\text{GCF}(\text{PRF}_i, \text{PRF}_g)$: наибольший общий множитель PRF_i и PRF_g ;

τ_i : ширина мешающего импульса;

τ_g : ширина селекторного импульса.

Следует отметить, что в случае если $\tau_i > \tau_g$, а полезные и мешающие PRF не связаны как целые кратные (случай II), f_c приблизительно равно коэффициенту заполнения мешающих импульсов. Данная ситуация рассматривается как типичный случай и используется для дальнейшего определения порога ухудшения эксплуатационных характеристик радаров слежения.

Для получения высокоточных данных о позиционировании интересующих объектов радары слежения используют антенны с высоким коэффициентом усиления и четко определенными узкими основными лучами. Сервопривод поддерживает наведение основного луча антенны на цель; данный сервопривод управляется сигналом ошибки, генерируемым посредством определения угла ошибки между направлением на цель и направлением луча антенны. Нежелательные сигналы на входе радара могут увеличить эту систематическую ошибку.

Порог ухудшения эксплуатационных характеристик радара слежения, выраженный в допустимой доле совпадающих мешающих импульсов f_c как функция отношения S/I на выходе тракта ПЧ, определяется следующим образом:

$$f_c = \frac{a^2 - 1}{\frac{90B_r\tau}{(S/I - 1)} - 1} \quad \text{при } S/I > 1; \quad (6a)$$

$$f_c = \frac{a^2 - 1}{\frac{90B_r\tau}{(S/I - 1)} - 1} \quad \text{при } S/I < 1, \quad (6b)$$

где:

a : коэффициент, связанный с общей ошибкой слежения, включающий ухудшение ввиду помехи (например, $a = 1,1$ допускает 0,1 или 10% увеличения за счет помех);

B_r : ширина полосы пропускания фильтра ПЧ радара по уровню 3 дБ;

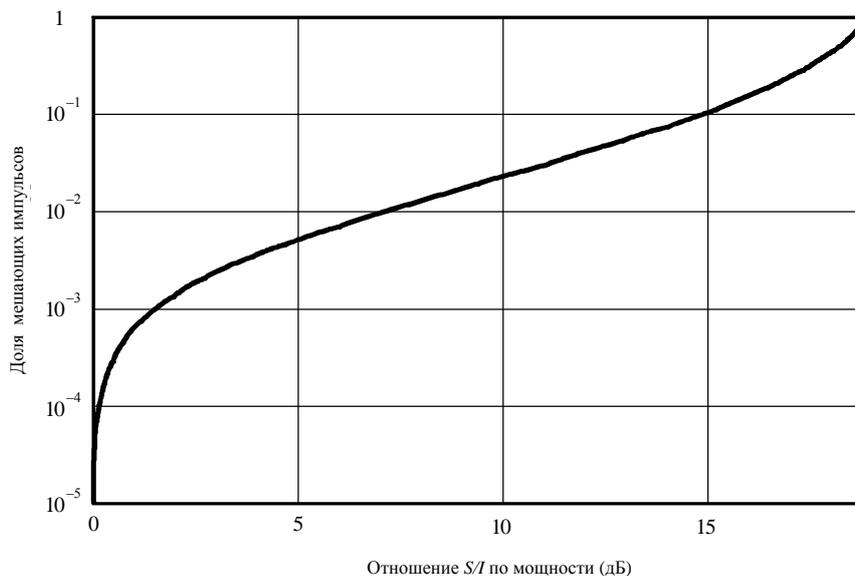
τ : длительность импульсов цели (следует отметить, что для радара слежения $B_r \tau \cong 1$);

S/I : отношение S/I (сигнал/помеха) по мощности на выходе тракта ПЧ радара (не в децибелах).

Рисунок 2 представляет собой зависимость доли совпадающих импульсов от отношения S/I на выходе тракта ПЧ радара, допускающая 10% увеличения ошибки слежения радара ввиду помехи. Доля совпадающих импульсов приблизительно равна коэффициенту заполнения импульсов датчика (6%), так что отношение $S/I = 13$ дБ соответствует ошибке слежения 10%. Считается, что отношение S/I должно быть ≥ 13 дБ для периодов времени более 3 с. (Так как критерий помехи разрабатывался на основании совпадения импульса помехи с селекторным импульсом дальности радара, необходимо использовать пиковое значение мощности мешающего сигнала.)

РИСУНОК 2

Отношение S/I радара как функция доли совпадающих мешающих импульсов (10% увеличения ошибки слежения)



RS.1260-02

4 Пример анализа нежелательного сигнала от космического датчика, оказывающего влияние на другие службы

4.1 Технические характеристики

4.1.1 Космический датчик

В таблице 4 приведены технические характеристики типичного космического датчика, используемые при дальнейшем анализе.

ТАБЛИЦА 4

Характеристики космического радара SAR1

Параметр	Значение
Высота орбиты (км)	750
Наклонение орбиты (градусы)	98,4
Пиковая излучаемая РЧ-мощность (Вт)	400
Средняя излучаемая РЧ-мощность (Вт)	4,4
Ширина импульса (мкс)	50
PRF (Гц)	2200
Модуляция импульсов	Линейная ЧМ
Ширина полосы импульса (МГц)	4,8
Пиковое усиление антенны (дБ)	27,9
Ориентация антенны (градусы)	37 от надира
1-й боковой лепесток антенны (дБ)	-17,6 от пикового
5-й боковой лепесток антенны (дБ)	-34 от пикового

4.1.2 Авиационные бортовые радары

В Recommendation ITU-R M.1462 описываются характеристики и критерии защиты для радаров, работающих в полосе частот 420–450 МГц. Заключение предыдущих анализов гласит, что активные космические датчики технически несовместимы с высокочувствительными радарными наземного базирования для отслеживания космических объектов.

Совместимость космических радаров SAR и авиационных бортовых радаров в данной полосе частот анализировалась посредством компьютерного моделирования. Результаты для судовых радаров аналогичны результатам для авиационных бортовых радаров. Проект пересмотра данной Рекомендации указывает полосу частот пропускания приемника воздушного судна 1 МГц и плоскую антенную решетку с усилением 22 дБи в качестве радарной антенны. При анализе считалось, что антенна сканирует по азимуту с углом места 0°. Критерием защиты для радаров является отношение I/N (помеха/шум), равное –6 дБ.

4.2 Условия и результаты анализа

4.2.1 Компьютерное моделирование

4.2.1.1 Выигрыш от обработки

Анализ потенциальных помех от космических радаров SAR приемникам радиолокационной службы не предполагал какого-либо выигрыша от обработки (то есть возможности подавления помех вследствие обработки принятого сигнала). В случае радиолокационных систем могло бы быть полезным исследование потенциальной реакции приемника на импульсные мешающие сигналы, характерные для SAR.

Подробные данные об устойчивости радаров к мешающим импульсным сигналам обычно не публикуются. Тем не менее многие современные приемники радаров, в частности те, которые должны осуществлять функцию наблюдения при наличии значительных помех, производят доплеровскую обработку в целях различения цели на фоне мешающих отражений. Воздействие БПФ на входную импульсную помеху выразится в "размазывании" пиковой мощности импульса по соседним накопителям доплеровского сигнала/сигнала дальности, приводя к усреднению воздействия мощности помехи.

4.2.1.2 Критерий помехи для радара

В Recommendation ITU-R M.1462 в качестве критерия защиты для авиационных бортовых радаров указано отношение I/N , равное –6 дБ. Процент времени или продолжительность времени, в течение которых разрешено превышение помехой этого значения, отсутствует. Нецелесообразно применение концепции разрешенного процента времени, в течение которого помеха может превышать данное значение, к радарам, в частности к таким радарам слежения, как рассматриваемые в данном анализе авиационные бортовые радары. Концепция потери данных или разрешенного "перерыва" может применяться к линиям связи или системам датчиков, однако обнаружение целей – основная и крайне важная функция радарной системы – происходит в короткие моменты времени, в связи с чем длительные перерывы недопустимы.

В ряде аналогичных аналитических работ, проводимых МСЭ-R, использовался подход, при котором результаты моделирования рассматривались в предположении, что характеристики работы обзорного радара не могут ухудшаться в период времени, превышающий один цикл сканирования антенны. Это означает, что цель может не быть обнаружена в течение первого цикла сканирования, после чего осуществляется обнаружение. Авиационные бортовые радары, рассматривавшиеся в данном анализе, имели период вращения антенны порядка 10 с. Таким образом, помеха не должна превышать $I/N = -6$ дБ более 10 с. (Если исходить из этого предположения, то цель, приближающаяся со скоростью 800 км/ч, окажется ближе примерно на 2 км по сравнению с тем, если бы обнаружение происходило в отсутствие помех. Это может быть приемлемым или нет в зависимости от ситуации.) После рассмотрения результатов моделирования (при котором учитывалась как пиковая, так и средняя мощность помехи для радаров) стало ясно, что совместное использование частот космическими SAR и радарными может оказаться затруднительным.

4.2.1.3 Результаты компьютерного моделирования

Моделирование проводилось с использованием радара типа SAR1 (см. таблицу 5). В таблице 6 приведены результаты компьютерного моделирования ожидаемой помеховой ситуации от космического радара SAR1 системам радиолокационной службы. Моделирование проводилось с шагом 2 с за 60-дневный период. Следует отметить, что в таблице 6 также приведены два результата касательно процента времени, в течение которого действовала помеха.

Первый из них касается процента времени, в течение которого критерий помехи превышает в периоды, когда на земной станции (станциях) видны один или несколько радаров SAR (то есть находятся над горизонтом); второй – это процент времени, в течение которого критерий помехи превышает за весь период моделирования (то есть включая периоды, когда в некоторых районах Земли не видно ни одного радара SAR).

ТАБЛИЦА 5

Пиковая/средняя п.п.м. помехи от основных и боковых лепестков радара SAR1 в Р-диапазоне у поверхности Земли

Параметр	Значение	дБ
Мощность передатчика (Вт)	400,00	26,02
Пиковое усиление основного лепестка антенны (дБи)	27,90	27,90
Уровень боковых лепестков антенны (дБи)	-6,10	-6,10
$1/(4\pi)$	$7,96 \times 10^{-2}$	-10,99
$1/(\text{расстояние})^2$ (км)	972,80	-119,76
$1/\text{ширина полосы}$ (МГц)	1/4,80	-66,81
Ширина импульса (мкс)	50	
ЧПИ (Гц)	2200	
Пиковая плотность мощности в основном лепестке (дБВт)		-75,86
Пиковая плотность мощности в боковом лепестке (дБВт)		-109,86
Пиковая п.п.м. в основном лепестке (дБ(Вт/(м ² · Гц)))		-143,6
Средняя п.п.м. в основном лепестке (дБ(Вт/(м ² · Гц)))		-153,2
Пиковая п.п.м. в боковых лепестках (дБ(Вт/(м ² · Гц)))		-177,6
Средняя п.п.м. в боковых лепестках (дБ(Вт/(м ² · Гц)))		-187,2

ТАБЛИЦА 6

Результаты компьютерного моделирования

Приемник	Критерий	SAR1
Авиационный бортовой радар	I/N худшее (дБ)	36,2
	I/N среднее (дБ)	-4,4
	Процент времени, когда $I/N > -6$ дБ (SAR виден) (%)	12,0
	Процент времени, когда $I/N > -6$ дБ (за все время) (%)	0,6
	Максимальное время, когда $I/N > -6$ дБ (мин)	4,8
	Среднее время, когда $I/N > -6$ дБ (с)	7,3
	Число случаев, когда $I/N > -6$ дБ (событий)	3 823

5 Процедура использования методологии

Средняя п.п.м. активного космического датчика должна рассматриваться на этапах разработки. Уравнения с (1) по (4) могут применяться для определения параметров, которые потенциально могут быть отрегулированы в процессе разработки космического датчика в целях улучшения совместного использования частот с другими службами. Мощность передатчика, коэффициент усиления антенны (в частности уровни боковых лепестков), ширина и частота повторения импульсов, а также ширина полосы импульса с ЛЧМ, вероятно, могут быть настраиваемыми параметрами.

При анализе совместимости космического датчика с системой определенной службы необходимо учитывать выигрыш от обработки в приемной системе (в случае его наличия), так как в настоящем анализе считалось, что он отсутствует. Такое предположение справедливо для общего случая, так как не все приемные станции обеспечивают подобный выигрыш.

Для примера рассмотрим два радара, работающих в полосе частот 420–450 МГц:

- радар слежения с шириной полосы по ПЧ 0,1 МГц (радар 1);
- авиационный бортовой радар перехвата с шириной полосы по ПЧ 1 МГц (радар 2).

Если космический датчик из таблицы 4 может работать с различной шириной импульса и шириной полосы импульса с ЛЧМ, как указано в таблице 7, то может быть достигнуто значительное снижение уровня мощности нежелательного сигнала.

ТАБЛИЦА 7

Пример снижения нежелательной принимаемой мощности датчика посредством изменения ширины импульса датчика и ширины полосы импульса с ЛЧМ

	Новые значения параметров SAR1		ΔOTR (дБ)	ΔP_{avg} (дБ)	ΔI (дБ)
	τ (мкс)	B_c (МГц)			
Радар 1	25	6	-4,0	Нет данных ⁽¹⁾	-4,0
Радар 2	25	6	-0,0	-3,0	-3,0

⁽¹⁾ Считалось целесообразным использовать среднюю мощность мешающего сигнала для авиационного бортового радара и пиковую мощность мешающего сигнала для радара слежения.

6 Заключение

Было продемонстрировано, что существует возможность снижения п.п.м. для улучшения характеристик излучения активного космического датчика в целях повышения совместимости с другими службами. Мощность передатчика датчика, диаграмма направленности антенны, ширина импульса, ЧПИ, а также ширина полосы импульса с ЛЧМ (при использовании частотной модуляции) являются вероятными характеристиками, которые можно подстраивать для улучшения совместимости.