

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1652-1
(05/2011)

**Динамическая частотная селекция в системах
беспроводного доступа, включая локальные
радиосети в целях защиты службы
радиоопределения в диапазоне 5 ГГц**

Серия М

**Подвижная спутниковая служба, спутниковая
служба радиоопределения, любительская
спутниковая служба и относящиеся к ним
спутниковые службы**



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 1 МСЭ-R. 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	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая 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 1 МСЭ-R.

Электронная публикация
Женева, 2011 г.

© ITU 2011

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 М.1652-1

Динамическая частотная селекция* в системах беспроводного доступа, включая локальные радиосети в целях защиты службы радиоопределения в диапазоне 5 ГГц

(Вопросы МСЭ-R 212/5)

(2003-2011)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации изложены требования к динамической частотной селекции (ДЧС) как методу ослабления помех для внедрения в системах беспроводного доступа (СБД), в том числе в локальных радиосетях (RLAN), с целью содействия совместному использованию частот со службой радиоопределения в диапазоне 5 ГГц. В Приложении 1 определены требования к обнаружению, эксплуатационные требования и требования к отклику. В других приложениях рассматриваются методики и предоставляется информация, которая может применяться администрациями при проведении исследований совместного использования частот радарными и СБД, включая RLAN.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что наличие согласованных частот в полосах 5150–5350 МГц и 5470–5725 МГц для подвижной службы будет способствовать внедрению систем беспроводного доступа (СБД), в том числе локальных радиосетей (RLAN);
- b) что существует необходимость защиты радаров в службе радиоопределения, работающих в полосах 5250–5350 МГц и 5470–5725 МГц;
- c) что многие администрации широко применяют наземные метеорологические радары, которые обеспечивают работу важных служб прогноза погоды;
- d) что процедуры и методики анализа совместимости радаров и систем в других службах приведены в Рекомендации МСЭ-R М.1461;
- e) что типичные технические и эксплуатационные характеристики радаров в радиолокационной службе, радионавигационной службе и метеорологической службе, включая радары в морской радионавигационной службе, в том числе в полосе 5470–5650 МГц, приведены в Рекомендации МСЭ-R М.1638;
- f) что СБД, включая RLAN, описанные в Рекомендации МСЭ-R М.1450, могут работать как внутри, так и вне помещений;
- g) Отчет МСЭ-R М.2034, в котором рассматривается воздействие определенных требований к ДЧС в отношении обнаружения на качество работы СБД,

* Динамическая частотная селекция – это общий термин, используемый в настоящей Рекомендации для описания способов ослабления помех, которые в том числе обеспечивают обнаружение и недопущение помех в совмещенном канале в отношении радиолокационных систем

признавая,

- a) что полоса 5250–5350 МГц распределена на первичной основе радиолокационной службе; что полоса 5250–5350 МГц распределена также на первичной основе спутниковой службе исследования Земли (ССИЗ) (активной);
- b) что полоса 5470–5650 МГц распределена на первичной основе морской радионавигационной службе;
- c) что полоса 5350–5650 МГц распределена на вторичной основе радиолокационной службе;
- d) что наземным радарам, используемым в метеорологических целях, разрешено работать на равных основаниях со станциями морской радионавигационной службы в полосе 5600–5650 МГц;
- e) что полоса 5650–5725 МГц распределена на первичной основе радиолокационной службе;
- f) что администрации могут принимать во внимание подробную информацию о реальном развертывании радаров при разработке руководства по использованию ДЧС в СБД при консультации с возможно затронутыми администрациями,

отмечая,

- a) что высокие уровень мощности по РЧ и чувствительность приемников радаров в службе радиоопределения в сочетании с ожидаемой высокой плотностью СБД, включая RLAN, в общем случае не обеспечивают возможность совместной работы СБД, включая RLAN, и радаров в совмещенном канале при отсутствии способов ослабления помех;
- b) что СБД, включая RLAN, возможно будут развернуты в этих полосах в качестве безлицензионных устройств, поэтому контроль за плотностью их развертывания окажется более сложным;
- c) что существуют различные стандарты для технических характеристик RLAN;
- d) что администрации могут рассматривать процедуры для подтверждения способности механизмов недопущения помех правильно работать в присутствии радиолокационных систем, развернутых в этой полосе,

рекомендует

- 1** в целях содействия совместному использованию частот с радарными реализовать в СБД, включая RLAN, способы ослабления помех, описанные в Приложении 1, в полосах, используемых радарными в диапазоне 5 ГГц;
- 2** чтобы способы ослабления помех соответствовали требованиям в отношении обнаружения, эксплуатации и отклика, приведенным в п. 2 Приложения 1;
- 3** чтобы методики, приведенные в Приложениях 4, 5, 6 и 7, могли использоваться администрациями при проведении исследований совместного использования частот радарными и СБД, включая RLAN.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Дополнительная информация о результатах исследований, касающихся требований, которые указаны в пункте 2 раздела *рекомендует*, приведена в Отчете МСЭ-R М.2115, содержащем информацию о процедурах, имеющихся в различных администрациях и/или региональных группах для проверки соответствия требованиям к ДЧС.

Приложение 1

Использование ДЧС в СБД, включая RLAN, в целях защиты службы радиоопределения в диапазоне 5 ГГц

1 Введение

1.1 ДЧС

В отношении исследования возможности совместного использования частот подвижной службой для СБД¹ и службой радиоопределения в полосах частот 5250–5350 МГц и 5470–5725 МГц расчеты бюджетов линий показали, что для обеспечения возможности совместного использования частот СБД и другими службами, такими как радиолокационные системы, необходимы методы ослабления помех. В настоящем Приложении описан(ы) метод(ы) ослабления помех ДЧС², указанный в стандартах RLAN диапазона 5 ГГц, при этом расчеты рабочих характеристик были основаны на типовых реализациях.

Системы СБД и радары, работающие в диапазоне 5 ГГц, будут создавать помехи при функционировании на тех же частотах и в пределах одного и того же диапазона.

Метод ДЧС предусматривался в целях:

- обеспечения распределения нагрузки по имеющемуся спектру СБД в пределах поля зрения спутника для снижения уровней суммарного излучения со стороны СБД на спутниках ФСС (фидерные линии) и ССИЗ (активной); и
- недопущения работы в совмещенном канале с другими системами, а именно с радиолокационными системами.

Расширение описанного здесь использования ДЧС обеспечивает недопущение создания помех службе радиоопределения со стороны СБД. Общий применяемый принцип состоит в том, что СБД должна обнаруживать помехи и выявлять источники помех радарам и не должна использовать те частоты, которые применяются радарам.

1.2 Задача использования ДЧС по отношению к радарам

Задача использования ДЧС в СБД состоит в обеспечении достаточной защиты радаров в диапазоне 5 ГГц. Это достигается путем недопущения использования или освобождения канала, который определяется как занятый оборудованием радаров на основе обнаружения их сигналов.

В целях настоящего Приложения рассмотрение систем радиоопределения в диапазоне 5 ГГц, использованных при определении характеристик ДЧС, приведено в Приложении 3.

Вопрос реализации механизмов и процедур обнаружения, используемых в СБД, входит в сферу применения настоящего Приложения. Основные причины этого состоят в следующем:

- проектирование СБД затрагивает реализацию;
- практический опыт может приводить к появлению новаторских и более эффективных способов, чем те, которые могут быть разработаны в настоящее время;
- различные производители могут выбирать разные методы реализации для достижения наименьших затрат при заданном уровне качества; поэтому в регуляторных документах в отношении того или иного конкретного механизма следует приводить только критерии качества работы, а не технические характеристики.

¹ В настоящей Рекомендации термин "СБД" означает "системы беспроводного доступа, включая RLAN".

² Первоначально функция ДЧС была точно определена в стандартах RLAN диапазона 5 ГГц в целях ослабления помех между нескорректированными группами RLAN и для обеспечения оптимального использования спектра для высокоскоростной передачи данных при большой пропускной способности.

2 Требования к качеству работы ДЧС

Требование к качеству ДЧС устанавливается в понятиях отклика на обнаружение сигнала помех.

СБД диапазона 5 ГГц должны отвечать изложенным ниже требованиям в отношении обнаружения и отклика.

Процедуры проверки соответствия должны быть включены в соответствующие отраслевые стандарты RLAN.

2.1 Требования к обнаружению

Механизм ДЧС должен быть способен обнаруживать сигналы помех, превышающие минимальный порог обнаружения ДЧС, равный -62 дБм для устройств с максимальной э.и.и.м. < 200 мВт и -64 дБм для устройств с максимальной э.и.и.м. от 200 мВт до 1 Вт³, усредненной за 1 мкс.

Это определяется как напряженность приемного сигнала (НПС) (дБм), приведенная к выходу приемной антенны с усилением 0 дБи, который необходимо обнаружить в пределах полосы пропускания канала СБД.

2.2 Эксплуатационные требования

Система СБД должна быть способна осуществлять проверку доступности каналов, во время которой СБД прослушивает определенный радиоканал в течение 60 с для определения того, работает ли в этом радиоканале радар.

Система СБД должна быть способна осуществлять в рабочем режиме контроль работающего канала для проверки того, не появился ли радар в совмещенном канале или не начал ли он действовать в пределах диапазона СБД. Во время контроля в рабочем режиме функция обнаружения радара постоянно осуществляет поиск сигналов радаров в период между обычными передачами СБД. Такие действия требуют использования интервалов молчания между последовательными передачами СБД (см. Приложение 4).

Если ранее СБД не эксплуатировалась или не осуществляла постоянного контроля канала в рабочем режиме, она не должна начинать передачу в каком-либо канале до завершения проверки доступности канала.

2.3 Требования к отклику

К каналу, который был отмечен как содержащий сигнал радара в результате проверки доступности канала либо контроля в рабочем режиме, следует применять 30 -минутный период (период незанятости), в течение которого он не может использоваться устройством СБД, для обеспечения защиты сканирующего радара. Период незанятости должен начинаться в момент обнаружения сигнала радара.

Кроме того, если в полосе 5350 – 5650 МГц канал был отмечен как содержащий сигнал радара, то перед его использованием необходимо осуществить 10 -минутный непрерывный контроль. В ином случае потребовались бы другие соответствующие методы, как, например, исключение канала.

Время переноса канала определяется как период, равный 10 с, необходимый СБД для прекращения всех передач по рабочему каналу после обнаружения сигнала помех, превышающего порог обнаружения ДЧС. Передача в течение этого периода может включать обычный трафик в течение, как правило, менее 100 мс и максимально 200 мс после обнаружения сигнала радара. Кроме того, в оставшееся время могут передаваться сигналы управления и контроля для содействия освобождению рабочего канала. Суммарное время действия нерегулярных сигналов управления и контроля обычно не превышает 20 мс.

³ На практике может отсутствовать необходимость в реализации полных функциональных возможностей ДЧС для каждого устройства в том случае, если такие устройства могут быть способны осуществлять передачу под управлением устройства, обеспечивающего выполнение всех требований к ДЧС.

2.4 Резюме требований

В таблице 1 представлено резюме изложенных выше требований. Пример рабочих процедур приведен в Приложении 2.

ТАБЛИЦА 1

Параметр	Значение
Пороговый уровень обнаружения ДЧС	–62 дБм для устройств с максимальной э.и.и.м. < 200 мВт и –64 дБм для устройств с максимальной э.и.и.м. от 200 мВт до 1 Вт, усредненной за 1 мкс
Время проверки доступности канала	60 с
Период незанятости	30 мин
Время переноса канала	≤ 10 с

Приложение 2

Обнаружение радара и пример соответствующих процедур ДЧС

В настоящем Приложении приведен пример того, каким образом можно было бы описать механизм ДЧС.

1 Определения

Следующие определения даны для использования в рамках настоящего Приложения:

Доступный канал: Радиоканал, проверка доступности канала в котором не выявила присутствия радара.

Принимаемый сигнал радара: Сигнал, имеющий приведенные ниже характеристики:

- НПС равна пороговому уровню обнаружения ДЧС T_{DFS} (дБм) в пределах ширины полосы канала СБД;
- частота повторения импульсов в диапазоне 200–4000 импульсов/с;
- номинальные значения ширины импульсов в диапазоне 1–20 мкс.

Рабочий канал: После того как СБД начинает работу на доступном канале, этот канал становится рабочим каналом.

2 Процедуры

2.1 Нахождение изначально доступного канала

До того как начать передачу, и в случае если доступный канал еще не был выявлен, СБД должна осуществить проверку доступности канала в отношении радиоканала перед его использованием для передачи. Следовательно, если сеть установлена и включена первый раз, то должна(ы) быть осуществлена(ы) проверка(и) доступности канала, с тем чтобы определить по крайней мере один доступный канал. После выявления того или иного доступного канала СБД может начать работать на этом канале; проверка других радиоканалов для выявления доступных каналов является необязательной.

2.2 Начало работы

После того как СБД начинает работу на доступном канале, этот канал становится рабочим каналом.

2.3 Осуществление контроля рабочего канала

Система СБД осуществляет контроль в рабочем режиме в целях повторной проверки рабочего канала на наличие действующих в совмещенном канале сигналов радара, которые могут появиться в диапазоне СБД или начать действовать в рабочем канале.

3 Вопросы реализации

3.1 Обнаружение сигналов радара

Сигналы радара могут появиться в любое время, и они могут возникнуть при наличии сигналов СБД в совмещенном канале.

В то время как осуществляется поиск первоначального свободного канала, СБД не будет работать, и это обеспечит быстрое и надежное обнаружение любого сигнала радара за возможным исключением очень медленно вращающихся радаров. Однако они будут обнаружены путем контроля в рабочем режиме.

В ходе контроля в рабочем режиме функция обнаружения радара осуществляет непрерывный поиск последовательностей сигналов радара – в течение обычных передач СБД или между ними. В случае слабых принимаемых сигналов время, необходимое для обнаружения сигналов радара, может увеличиться. Это отражено в требованиях, содержащихся в Приложении 1.

3.1.1 Обнаружение радаров со скачкообразной перестройкой частоты

Радары со скачкообразной перестройкой частоты работают в широком диапазоне частот при быстром изменении рабочей частоты.

Время, необходимое СБД для надежного обнаружения, изменяется в зависимости от импульсных характеристик радара. В случае радаров со скачкообразной перестройкой частоты время, в течение которого радар занимает канал СБД (время удержания), влияет также на вероятность обнаружения.

В итоге получим один из следующих результатов:

- при достаточно большом времени удержания ДЧС обнаруживает сигнал радара (см. Приложение 4), и передачи СБД на действующем канале будут прекращены;
- очень короткое время удержания может отразиться на вероятности обнаружения радара системой СБД в работающем канале в зависимости от числа импульсов в течение времени удержания.

3.1.2 Порог и усиление антенны

Порог обнаружения определяется в дБм, приведенной к выходу приемной антенны с усилением 0 дБи. Если в СБД используются антенны с большими усилениями, то уровень T_{DFS} должен быть увеличен на величину усиления антенны.

3.1.3 Побочные излучения

Для определения воздействия на взаимодействие побочных излучений со стороны СБД и радаров требуется проведение дополнительного исследования.

3.2 Время переноса канала

После того как обнаружен сигнал, превышающий порог обнаружения, процедуры ДЧС требуют направления команд для прекращения всех действующих передач и осуществления переноса на доступные каналы (один из них), выявленные путем проверки доступности канала. Эта передача команд будет повторена несколько раз для гарантирования приема всеми устройствами системы. Часть устройств СБД может находиться в так называемом "спящем режиме", из которого они обычно выходят с интервалами в сотни миллисекунд, однако возможны крайние случаи, когда эти интервалы составляют 60 с. Не принимая во внимание последнее обстоятельство, передача команд по практическим соображениям должна осуществляться несколько раз за время переноса канала для обеспечения того, чтобы все устройства СБД освободили канал.

Приложение 3

Использование характеристик радаров радиолокационной службы, морской радионавигационной службы и метеорологической службы

С техническими характеристиками некоторых радаров радиолокационной службы, морской радионавигационной службы и метеорологической службы, работающих в полосах между 5250–5350 МГц и 5470–5725 МГц, можно ознакомиться в Рекомендации МСЭ-R М.1638. Эта информация используется для определения необходимых для реализации в СБД технических требований к механизму ДЧС, который определен как необходимый для обеспечения возможности внедрения СБД в подвижной службе в этих полосах частот, применяемых радаром. При разработке характеристик ДЧС, в частности, рассматривались радары А-S, описанные в Рекомендации МСЭ-R М.1638.

В таблице 1 Рекомендации МСЭ-R М.1638 приведены распределения в пределах диапазона 5 ГГц службе радиоопределения.

Приложение 4

Параметры и методика для расчета вероятности обнаружения систем службы радиоопределения системами СБД, включая устройства RLAN, с использованием ДЧС в диапазоне 5 ГГц в ходе контроля в рабочем режиме

В следующей методике рассматривается вероятность того, что устройство СБД, действующее в диапазоне 5 ГГц с использованием ДЧС, успешно обнаружит радар службы радиоопределения, функционирующий в диапазоне 5 ГГц, в ходе контроля в рабочем режиме.

Шаг 1: Определить, сколько времени отдельное устройство будет находиться в главном луче антенны радара (т. е. ширина луча по уровню 3 дБ/скорость сканирования антенны). В таблице 2 приведены параметры для использования в качестве основы при проведении исследования. Время анализа – это период, в течение которого СБД находится в главном луче радара при одной развертке, исходя из диаграммы направленности антенны радара и скорости сканирования.

ТАБЛИЦА 2

Радар	С	К	Р	С
Ширина луча по уровню 3 дБ	0,95	2,5	2,6	2
Скорость сканирования (градусы/с)	36	Не применяется	72	20
Время анализа (мс)	26	100	36	100

Шаг 2: Радары С, К, Р и S представляют наиболее строгие случаи и могут быть использованы для определения совместного использования частот со всеми радарными, представленными в документе, содержащем характеристики радаров. В радаре К не используется тип функции сканирования 360°.

Шаг 3: На основе распределения устройств СБД, в которых применяются распределения скорости передачи данных и длины пакетов, указанные в таблице 3, определяется форма сигнала, отражающая время передачи СБД, и периоды прослушивания длительностью $(x) \cdot 9 + 50$ мс, где x – случайное целое значение между 2 и 32 (т. е. 31 значение равномерно распределенных, дискретных возможных длительностей).

ТАБЛИЦА 3

Оценка времени передачи RLAN

Размер пакетов (байты)	Весовой коэффициент	Скорость передачи данных (Мбит/с)	Вес
64	0,6	6	0,1
538	0,2	12	0,1
1500	0,2	18	0,1
		24	0,3
		36	0,3
		54	0,1

Форма сигнала передачи СБД для каждого случая передачи пакетов СБД определяется путем случайного выбора передачи пакетов с использованием весовых коэффициентов, представленных в таблице 3 для размеров пакетов, и затем расчета времени передачи как "размера пакетов"/(скорость передачи данных · 8). После каждого пакета следует период молчания, требуемый для сети СБД в целях содействия совместному использованию среды доступа (т. е. канала СБД) многочисленными устройствами, работающими в сети. Этот период молчания предоставляется для контроля в рабочем режиме. Период молчания выбирается как описано выше. Затем так же, как и первый пакет, создается другой случайно выбранный пакет, после которого следует другой период молчания. Это повторяется до тех пор, пока длительность сигнала не будет той же, что и длительность сигнала устройства СБД в главном луче антенны, рассчитанная на шаге 1.

Шаг 4: Создать форму сигнала исходя из частоты повторения импульсов (ЧПИ) и ширины импульсов анализируемого радара. Используемые в качестве основы значения представлены в таблице 4. Сигнал должен иметь ту же длительность, которая была рассчитана на шаге 1.

ТАБЛИЦА 4

**Основные данные радаров для определения
вероятности обнаружения**

Радар	C	K	P	S
Ширина импульса (мкс)	0,95	1	20	1
ЧПИ (импульсов/с)	200	3 000	500	200

Шаг 5: Определить, имеет ли место событие обнаружения, путем определения того, приведены ли в соответствие импульсы радаров в моделированной форме сигнале радара с периодами прослушивания в моделированной форме сигнала сети СБД.

Шаг 6: Повторить моделирование несколько раз, зарегистрировать наличие событий обнаружения или их отсутствие, с использованием этих данных рассчитать вероятность обнаружения (т. е. процента моделирований, в течение которых импульс радара считается обнаруженным).

Шаг 7: Вероятность обнаружения при n вращениях:

p : вероятность обнаружения при одном вращении;

p_n : вероятность обнаружения при n вращениях;

$$p_n = 1 - (1 - p)^n.$$

Приложение 5

Оценка помех, связанных с одним устройством СБД и системами службы радиоопределения в диапазоне 5 ГГц, с использованием расчетов бюджета линии

1 Базовая информация

В настоящем Приложении рассматривается случай помех со стороны одной СБД. Значения, полученные из расчетов, которые представлены в настоящем Приложении, были использованы в качестве начальных значений при осуществлении моделирования суммарных помех (см. Приложение 6) для определения порога обнаружения.

2 Методика

Расчеты, представленные в настоящем Приложении, основаны на анализе бюджета линии. Порог определяется по результатам анализа бюджета линии в предположении, что этот порог должен быть достигнут, когда радар испытывает действие помех со стороны одиночного устройства СБД (т. е. когда сигнал СБД в приемнике радара превышает допустимый для радара уровень помех). Это основано на предположении наличия симметричной трассы распространения между трассой и радаром.

Данный метод, основанный на бюджете линии, считается целесообразным для исследования статических случаев, включающих одну СБД и один радар. Он основан на Рекомендациях МСЭ-R SM.337 и M.1461 и применяется в конкретном случае ДЧС.

3 Расчет по Рекомендации МСЭ-R М.1638, основанный на бюджете линии с радаром

Определение максимально допустимого уровня помех, создаваемых приемнику радара излучениями одиночного устройства СБД, основано на Рекомендации МСЭ-R М.1461, в которой сказано, что этот уровень не должен быть ниже $N + (I/N)$, где N – уровень собственного шума приемника радара, а I/N – отношение помех к шуму (берется равным –6 дБ, как задано в Рекомендациях МСЭ-R М.1461 и МСЭ-R М.1638).

Таблица с результатами расчетов приведена в Дополнении 1 к настоящему Приложению. Из этой таблицы следует, что если не учитывать радар J (в соответствии с этими условиями), то необходимый пороговый уровень обнаружения составляет –52 дБм для защиты от одиночной СБД.

4 Расчет, основанный на бюджете линии, для некоторых новых радаров

В дополнение к радарам, описанным в Рекомендации МСЭ-R М.1638, рядом администраций в Районе 1 недавно были развернуты два новых наземных радара. Некоторые параметры были предоставлены в распоряжение для выполнения расчетов бюджета линии. Они приведены в Дополнении 2 к настоящему Приложению.

На основе этих расчетов получено, что необходимый порог обнаружения равен –62 дБм для недопущения создания помех рассматриваемым радарам со стороны одиночного устройства СБД мощностью 1 Вт.

5 Возможность переменного порога обнаружения

В расчетах, представленных в настоящем Приложении, предполагается наличие одной внешней СБД с э.и.и.м., равной 1 Вт, которая представляет собой наихудший случай анализа одиночного источника помех. Было выражено мнение, что случай СБД с э.и.и.м., равной 1 Вт, не относится к большинству развернутых СБД.

Следовательно, может быть предложено переменное значение порога обнаружения, изменяющееся в зависимости от уровня э.и.и.м. СБД. В соответствии с методикой, используемой в настоящем Приложении, порог обнаружения пропорционален э.и.и.м. СБД.

В соответствии с методикой, используемой в настоящем Приложении для сценариев, которые касаются одиночного устройства СБД, порог обнаружения пропорционален э.и.и.м. СБД.

При этих условиях, если, например, СБД мощностью 1 Вт должна обнаружить радар мощностью $-N$ дБм, то для СБД мощностью 200 мВт соответствующий порог может быть установлен на уровне $-(N - 7)$ дБм.

6 Влияние архитектуры СБД на порог обнаружения

Можно предположить, что в случае централизованной архитектуры СБД одно конкретное устройство в сети или соте будет управлять ДЧС. Возможны условия, при которых возникают значительные различия в потерях на трассе распространения между радаром и устройствами в сети или соте, и предположение о симметричной трассе распространения между радаром и устройством обнаружения будет недействительным.

Администрации должны рассмотреть меры по обеспечению того, чтобы устройство СБД в одиночной сети не создавало помех радарам.

Дополнение 1 к Приложению 5

Расчет порога обнаружения на основе бюджета линии для радаров по Рекомендации МСЭ-R М.1638

	Характеристики	A	C	E	F	G	H1	H2	I	И	J	K	L	M	N	O	P	Q
РАДАР	Функция	Метеорологическая	Метеорологическая	Метеорологическая	Метеорологическая	Метеорологическая	Метеорологическая	Метеорологическая	Метеорологическая	Метеорологическая	Метеорологическая	Измерительная	Измерительная	Измерительная	Измерительная	Измерительная	Поиск на поверхности и в воздухе	Поиск на поверхности и в воздухе
	Тип платформы	Наземная/судно	Наземная	Наземная	Наземная	Наземная	Наземная	Наземная	Наземная	Наземная	Наземная	Наземная	Наземная	Наземная	Наземная	Наземная	Судно	Судно
	Пиковая мощность передачи, подводимая к антенне (кВт)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2,25	250	2 800	1 200	1 000	165	360	285
	Ширина полосы $IF_{3\text{dB}}$ приемника (МГц)	0,5	20	0,91	0,6	0,5	0,7	4	0,1	3	10	1	4,8	4	8	8	1,5	10
	Поляризация антенны	В	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	В/левая круговая	В/левая круговая	В/левая круговая	В/левая круговая	В/левая круговая	Г	Г
	Усиление в главном луче антенны (дБи)	39	44	50	40	40	50	50	50	50	35	38,3	54	47	45,9	42	28	30
	Высота антенны (м)	30	10	30	30	30	30	30	30	30	10							
	э.и.м. радара (дБм)	123,0	128,0	134,0	124,0	124,0	134,0	134,0	134,0	134,0	98,5	122,3	148,5	137,8	135,9	124,2	113,6	114,5
	Коэффициент шума приемника (дБ)	7	4	2,3	3	3	3,5	3,5	1,5	1,5	3	6	5	5	11	5	5	10
	$N = k T B F$ (дБм)	-110,0	-97,0	-112,1	-113,2	-114,0	-112,0	-104,5	-122,5	-107,7	-101,0	-108,0	-102,2	-103,0	-93,9	-99,9	-107,2	-94,0
$N - 6$ дБ	-116,0	-103,0	-118,1	-119,2	-120,0	-118,0	-110,5	-128,5	-113,7	-107,0	-114,0	-108,2	-109,0	-99,9	-105,9	-113,2	-100,0	
СБД	э.и.м. (дБм) наружной системы	30																
	Регулировка мощности передатчика (TPC) (дБ)	0																
	Ширина полосы (МГц)	18																
	Усиление антенны (ненаправленной) (дБи)	0																

10 log (Brad/BWAS)	-15,6	0,5	-13,0	-14,8	-15,6	-14,1	-6,5	-22,6	-7,8	-2,6	-12,6	-5,7	-6,5	-3,5	-3,5	-10,8	-2,6
	185,0	177,0	198,1	189,2	190,0	198,0	190,5	208,5	193,7	172,0	182,3	192,2	186,0	175,8	177,9	171,2	160,0
Бюджет линии для сигнала СБД $N - 6$ дБ	169,4	177,0	185,1	174,4	174,4	183,9	183,9	185,9	185,9	169,4	169,7	186,4	179,4	172,3	174,4	160,4	157,4
Необходимый порог обнаружения	-46,4	-49,0	-51,1	-50,4	-50,4	-49,9	-49,9	-51,9	-51,9	-70,9	-47,4	-38,0	-41,6	-36,4	-50,2	-46,9	-42,9

**Дополнение 2
к Приложению 5**

**Расчет порога обнаружения на основе бюджета линии для новых радаров,
развернутых рядом администраций в Районе 1**

РАДАР	Функция	Поиск в воздухе
	Тип платформы	Наземная/автомобильная
	Пиковая мощность передачи, подводимая к антенне (кВт)	15
	Ширина полосы $IF_{3\text{ dB}}$ приемника (МГц)	4
	Поляризация антенны	В
	Усиление в главном луче антенны (дБи)	35
	Высота антенны (м)	10
	э.и.и.м. радара (дБм)	106,8
	Коэффициент шума приемника (дБ)	5
	$N = k T B F$ (дБм)	-103
	$N - 6$ дБ	-109
СБД	э.и.и.м. (дБм) наружной системы	30
	Регулировка мощности передатчика (TRC) (дБ)	0
	Ширина полосы (МГц)	18
	Усиление антенны (ненаправленной) (дБи)	0

$10 \log (B_{rad}/B_{WAS})$	-6,5
Потери при распространении для сигнала СБД, принятого приемником радара $N - 6$ дБ (дБ)	175,0
	168,4
Необходимый порог обнаружения (дБм)	-61,7

Отметим, что в данной таблице предполагается наличие одиночной СБД с э.и.и.м. 1 Вт, которая может быть наибольшим значением мощности в статистическом распределении э.и.и.м. при развертывании СБД (например, как представлено в таблице 6 Приложения 6). Например, учет наименьшей э.и.и.м. (< 100 мВт) приведет к соответствующему увеличению на 10 дБ значения T_{DFS} .

Приложение 6

Параметры и методика для проведения исследований суммарных помех, связанных с СБД, включая RLAN, и системами службы радиоопределения в диапазоне 5 ГГц

Следующие соображения должны быть использованы для определения базового сценария исследований, проводимых при определении параметров ДЧС:

- Рекомендация МСЭ-R М.1461 применялась при расчетах помех.
- Применялась диаграмма направленности антенны радара, представленная в Дополнении 1 к настоящему Приложению.
- Применялась диаграмма направленности СБД, представленная в Дополнении 2 к настоящему Приложению.
- При проведении исследований совместного использования частот применялась вероятность обнаружения (см. Приложение 4) для определения суммарных помех, создаваемых радаром. Эта вероятность устанавливалась для каждого шагового интервала.
- Применялся шаговый интервал в 1°.
- Для описания развертывания СБД применялись три концентрических кольца, как показано в таблице 5. Равномерное распределение устройств в каждой зоне должно быть использовано по каждой объемной зоне, включая высоту.

ТАБЛИЦА 5

Распределение пользователей СБД

	Городская зона	Пригородная зона	Сельская зона
Радиус от центра (км)	0–4	4–12	12–25
Пользователи СБД (%)	60	30	10
Высота зданий (м)	30	6	6

- В данный момент времени использовалось 2753 устройств СБД, работающих в совмещенном канале с системами службы радиоопределения.
- Использовалось распределение мощности, приведенное в таблице 6.

ТАБЛИЦА 6

Распределение мощности СБД

Уровень мощности	1 Вт	200 мВт	100 мВт	50 мВт
Пользователи СБД (%)	5	25	40	30

- Моделирование работы радаров слежения начиналось со случайного размещения и случайного начального угла, после чего они перемещались прямо вверх в направлении противоположной стороны горизонта.
- Моделирование работы морских радаров начиналось на уровне горизонта сельской зоны и отслеживалось до центра городской зоны.
- Моделирование работы радаров воздушных судов начиналось на уровне горизонта сельской зоны и отслеживалось до центра городской зоны.

- Исследования были сосредоточены на следующих радарх:
С, I, К, Р и S, определенных в Рекомендации МСЭ-R М.1638.
- В отношении наземных радаров при определении потерь на трассе распространения для каждого устройства СБД использовался случайный коэффициент распространения. Использовалось значение от 20 до 35 $\log D$. Кроме того, применялось случайное ослабление при распространении в зданиях/на местности. Использовалось значение от 0 до 20 дБ. При определении этих значений применялось равномерное распределение.
- В отношении радаров воздушных судов использовалось значение потерь в свободном пространстве, равное +17 дБ.
- В отношении морских радаров использовалось значение потерь в свободном пространстве от +0 до 20 дБ.
- Применялся расчет расстояния прямой видимости для случая гладкой Земли. Любое устройство СБД, находящееся за пределами прямой видимости, не принималось во внимание.

Дополнение 1 к Приложению 6

В настоящее время в МСЭ не существует эталонных диаграмм направленности радаров, поэтому в качестве базовой предоставляется приведенная ниже диаграмма. Статистическая модель усиления антенны используется для определения усиления антенны радара в направлениях азимута и угла места. Модель задает усиление антенны в зависимости от внеосевого угла (θ) при заданном усилении в основном луче антенны (G). Модель включает отдельные алгоритмы для антенн с очень большим усилением, большим усилением и средним усилением, соответствующих антеннам с усилениями, превышающими 48 дБи, усилениями между 22 и 48 дБи, и усилениями между 10 и 22 дБи, соответственно. На рисунке 1 представлена общая форма распределения усиления антенны. В таблице 7 представлены уравнения для углов θ_M (область первого бокового лепестка), θ_R (область около бокового лепестка) и θ_B (область вдали от бокового лепестка). В таблице 8 представлена зависимость усиления антенны от внеосевого угла для антенн с очень большим усилением, в таблице 9 – для антенн с большим усилением и в таблице 10 – для антенн со средним усилением. Угол θ выражен в градусах, а все значения усиления – в децибелах относительно изотропной антенны (дБи).

РИСУНОК 1

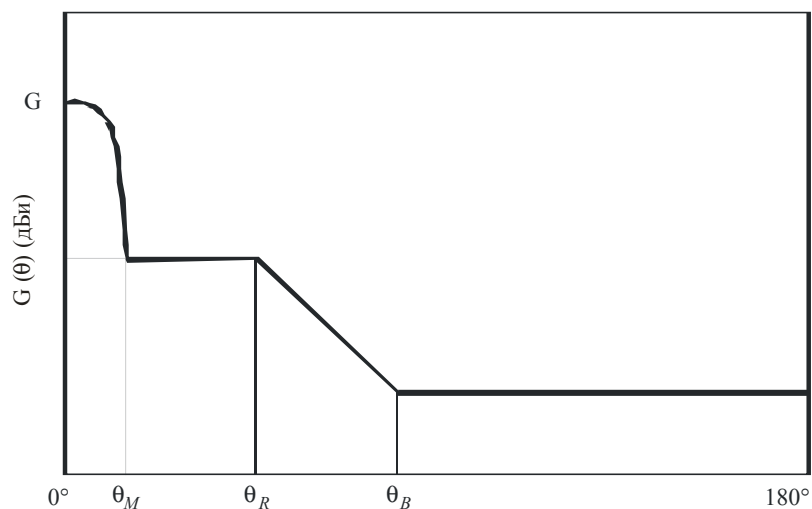


ТАБЛИЦА 7
Определения углов

Очень большое усиление ($G > 48$ дБи)	Большое усиление ($22 < G < 48$ дБи)	Среднее усиление ($10 < G < 22$ дБи)
$\theta_M = 50 (0,25 G + 7)^{0,5} / 10^{G/20}$ $\theta_R = 27,466 10^{-0,3G/10}$ $\theta_B = 48$	$\theta_M = 50 (0,25 G + 7)^{0,5} / 10^{G/20}$ $\theta_R = 250 / 10^{G/20}$ $\theta_B = 48$	$\theta_M = 50 (0,25 G + 7)^{0,5} / 10^{G/20}$ $\theta_R = 250 / 10^{G/20}$ $\theta_B = 131,8257 10^{-G/50}$

ТАБЛИЦА 8
Уравнения для антенн с очень большим усилением ($G > 48$ дБи)

Угловой интервал (градусы)	Усиление (дБи)
$0 - \theta_M$ $\theta_M - \theta_R$ $\theta_R - \theta_B$ $\theta_B - 180$	$G - 4 \times 10^{-4} (10^{G/10}) \theta^2$ $0,75 G - 7$ $29 - 25 \log(\theta)$ -13

ТАБЛИЦА 9
Уравнения для антенн с большим усилением ($22 < G < 48$ дБи)

Угловой интервал (градусы)	Усиление (дБи)
$0 - \theta_M$ $\theta_M - \theta_R$ $\theta_R - \theta_B$ $\theta_B - 180$	$G - 4 \times 10^{-4} (10^{G/10}) \theta^2$ $0,75 G - 7$ $53 - (G/2) - 25 \log(\theta)$ $11 - G/2$

ТАБЛИЦА 10
Уравнения для антенн со средним усилением ($10 < G < 22$ дБи)

Угловой интервал (градусы)	Усиление (дБи)
$0 - \theta_M$ $\theta_M - \theta_R$ $\theta_R - \theta_B$ $\theta_B - 180$	$G - 4 \times 10^{-4} (10^{G/10}) \theta^2$ $0,75 G - 7$ $53 - (G/2) - 25 \log(\theta)$ 0

Дополнение 2 к Приложению 6

Диаграммы направленности антенны СБД

Диаграмма направленности антенны СБД в направлениях азимутов является ненаправленной. Диаграмма направленности антенны СБД в направлениях углов места была определена путем рассмотрения диаграмм направленности антенн СБД. Используемая диаграмма направленности описана в таблице 11. Отметим, что в результате использования направленных антенн СБД, учитывая ту же э.и.и.м., могут быть уменьшены помехи, создаваемые приемнику службы радиоопределения, однако помехи приемнику СБД могут значительно увеличиться, если установится связь между главными лучами.

ТАБЛИЦА 11

Диаграмма направленности антенны СБД по углу места

Угол места, φ (градусы)	Усиление (дБи)
$45 < \varphi \leq 90$	-4
$35 < \varphi \leq 45$	-3
$0 < \varphi \leq 35$	0
$-15 < \varphi \leq 0$	-1
$-30 < \varphi \leq -15$	-4
$-60 < \varphi \leq -30$	-6
$-90 < \varphi \leq -60$	-5

С тем чтобы э.и.и.м. большинства устройств составляла 1 Вт, обычно требуется антенна с усилением 6 дБи. Для этой диаграммы направленности дается следующее описание, согласно Рекомендации МСЭ-R F.1336:

$$G(\theta) = \max[G_1(\theta), G_2(\theta)]$$

$$G_1(\theta) = G_0 - 12 \left(\frac{\theta}{\theta_3} \right)^2$$

$$G_2(\theta) = G_0 - 12 + 10 \log \left[\left(\max \left\{ \frac{|\theta|}{\theta_3}, 1 \right\} \right)^{-1,5} + k \right]$$

$$\theta_3 = 107,6 \times 10^{-0,1G_0},$$

где:

$G(\theta)$: усиление антенны (дБи);

θ : угол места (градусы);

$k = 0,5$;

$G_0 = 6$ дБи.

Приложение 7

Анализ результатов оценки помех и рекомендация в отношении порога ДЧС

Для соответствующих радаров диапазона 5 ГГц представлено подробное резюме результатов моделирования с использованием методики, подробно описанной в Приложениях 5 и 6, соответственно, для моделирования статических помех со стороны одиночного устройства СБД и суммарных помех вследствие развертывания СБД.

В таблицу 12 сведены значения, полученные на основании расчетов, представленных в Приложении 5, для случая помех со стороны одиночной СБД.

ТАБЛИЦА 12

Значения, полученные на основе расчетов, представленных в Приложении 5

Радар по Приложению 5	Анализ бюджета линии по Приложению 5	-62 дБм для устройства мощностью 1 Вт
		-55 дБм для устройства мощностью 0,2 Вт
		-52 дБм для устройства мощностью 0,1 Вт

В таблице 13 представлена сводка результатов, касающихся защитных пороговых уровней, полученных на основе расчетов при моделировании суммарных помех.

ТАБЛИЦА 13

Требуемые защитные пороговые уровни

Тип радара	Сценарий моделирования	Порог ДЧС для обеспечения защиты (T_{DFS}) (Примечание 1)
Вращающиеся радары А, С, Е, F, G, H, I, J Радары Р и Q	Стандартный по Приложению 6	-52 дБм и эксплуатационные соображения, используемые в отношении радиолокационных систем
Радар I	Приложение 6, но высота антенны радара составляет от 500 до 1 000 м	-62 дБм
Радар S	Стандартный по Приложению 6	См. Примечание 2
Радар К	Стандартный по Приложению 6	-67 дБм
	Приложение 6, но вдвое меньшее число устройств	-64 дБм
	Приложение 6, но все устройства имеют мощность 50 мВт	-62 дБм

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Предполагая, что усиление приемной антенны приведено к 0 дБи в отношении СБД.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Ситуация с совместным использованием частот этим радаром и СБД является крайне сложной. Первоначальные расчеты на основе базовых результатов показывают, что требуемые значения порога обнаружения ДЧС должны были бы быть ниже рабочего минимального уровня шума устройств СБД. В результате рассмотрения выяснилось, что данные системы ограничены только военными воздушными судами. Была достигнута договоренность не учитывать этот случай при разработке требования к порогу обнаружения.

Примечания по используемым параметрам и методикам

Воздействие изменений параметров и методик можно резюмировать следующим образом:

- a) В результате снижения вдвое плотности активных устройств T_{DFS} увеличивается на 3 дБ. Аналогично, в результате удвоения плотности активных устройств T_{DFS} уменьшается на 3 дБ.
 - b) Мощность передачи одиночного источника шума при расчете бюджета линии имеет непосредственное воздействие (дБ за дБ) на требуемый порог защиты. При анализе суммарных помех воздействие зависит от распределения уровней мощности при моделировании.
 - c) В большинстве случаев взаимодействие переменных при моделировании суммарных помех не является интуитивным, и поэтому нельзя сделать простые выводы исходя из изменений одной переменной.
-