

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1460-1
(03/2006)

Технические и рабочие характеристики и критерии защиты радаров радиоопределения в полосе частот 2900–3100 МГц

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/publications/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, 2010 г.

© ITU 2010

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.1460-1*,**

**Технические и рабочие характеристики и критерии защиты радаров
радиоопределения в полосе частот 2900–3100 МГц**

(Вопросы МСЭ-R 226/5 и МСЭ-R 216/5)

(2000-2006)

Сфера применения

В данной Рекомендации содержатся технические и рабочие характеристики, а также критерии защиты для систем радиоопределения, работающих в полосе частот 2900–3100 МГц, которая распределена на первичной основе для службы радиоопределения. Рекомендация была разработана для поддержки исследований по совместному использованию частот вместе с Рекомендацией МСЭ-R М.1461, касающейся процедур анализа для определения совместимости радаров, работающих в службе радиоопределения, и других службах.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что такие характеристики радара, как характеристики антенны, распространения сигнала, определения цели и необходимая большая ширина полосы радара принимают оптимальные для выполнения радаром своих функций значения в определенных полосах частот;
- b) что технические характеристики радаров радиоопределения обуславливаются назначением системы и широко варьируются даже в пределах одной полосы частот;
- c) что МСЭ-R рассматривает возможное введение в действие новых видов систем или служб в полосах частот между 420 МГц и 34 ГГц, используемых радаром в службе радиоопределения;
- d) что требуются типовые технические и рабочие характеристики радаров, действующих в службе радиоопределения, если необходимо определить возможность введения новых типов систем в полосах частот, распределенных службе радиоопределения,

отмечая,

- a) что технические и рабочие характеристики морских радиомаяков, работающих в полосе частот 2900–3100 МГц, содержатся в Рекомендации МСЭ-R М.824;
- b) что предполагается, что технические и рабочие характеристики радаров воздушной радионавигации и метеорологических радаров, работающих в полосе частот 2900–3100 МГц, аналогичны характеристикам радаров, работающих в полосе частот 2700–2900 МГц, которые, в свою очередь, содержатся в Рекомендации МСЭ-R М.1464;
- c) что результаты некоторых испытаний, иллюстрирующие чувствительность морских радаров, содержатся в Отчете МСЭ-R М.2050. Выдержки из этого материала воспроизведены в Приложении 3,

* Данная Рекомендация должна быть доведена до сведения Международной морской организации (ИМО), Международной организации гражданской авиации (ИКАО), Международной ассоциации служб навигационного обеспечения и маячных служб (МАМС), Международной электротехнической комиссии (МЭК) и Всемирной метеорологической организации (ВМО).

** 5-я Исследовательская комиссия по радиосвязи в 2009 году внесла в настоящую Рекомендацию редакционные поправки в соответствии с Резолюцией 1 МСЭ-R.

признавая,

- а) что радионавигационная служба является службой безопасности согласно определению в п. 4.10 Регламента радиосвязи;
- б) что требуемые критерии защиты зависят от конкретных видов сигналов помех, таких, как описанные в п. 3 Приложения 3;
- с) что применение критериев защиты может потребовать учета статистического характера критериев и других элементов методики для проведения исследований совместимости (например, антенного сканирования, влияния движения передатчика и потерь при распространении). Дальнейшее развитие этих статистических аспектов, если потребуется, может быть отражено в последующих пересмотренных изданиях настоящей Рекомендации,

рекомендует,

- 1 чтобы технические и рабочие характеристики радаров радиоопределения, описанные в Приложении 1, рассматривались как типовые для радаров, работающих в полосе частот 2900–3100 МГц;
- 2 чтобы данная Рекомендация, вместе с Рекомендацией МСЭ-R М.1461, использовалась как руководство при анализе совместимости радаров радиоопределения с системами других служб;
- 3 чтобы величина отношения мощности сигнала помехи к уровню мощности шума радарного приемника, I/N , равная –6 дБ, использовалась в качестве критерия уровня необходимой защиты для радаров радиоопределения в полосе частот 2900–3100 МГц, даже при наличии многочисленных источников помех. Более подробная информация содержится в Приложении 2;
- 4 чтобы результаты испытаний чувствительности к помехам, которые проведены с использованием судовых радионавигационных радаров, работающих в полосе частот 2900–3100 МГц, и содержатся в Приложении 3, использовались при оценке помех, воздействующих на судовые радары радионавигации, отмечая, что результаты получены, когда цели при испытаниях были нефлуктуирующие, и что также должны учитываться флуктуации эффективной площади отражения радара (RCS)¹. (См. также Отчет МСЭ-R М.2050.)

Приложение 1

Технические и рабочие характеристики радаров радиоопределения в полосе частот 2900–3100 МГц

1 Введение

Многие транспортируемые и судовые радары работают в полосе частот 2900–3100 МГц. Судовые радиолокационные радары рассмотрены в пп. 2–4. Радионавигационные радары кратко рассмотрены в пп. 5 и 6, а метеорологические радары – в п. 7.

2 Технические характеристики радиолокационных не метеорологических радаров

Характеристики трех типичных судовых радиолокационных радаров представлены в таблице 1, а характеристики трех типичных радиолокационных радаров, базирующих на суше, представлены в таблице 2.

Все вышеуказанные радиолокационные системы являются высокомошными радаром наблюдения. Большинство радиолокационных радаров, работающих в данной полосе частот, используются, в первую очередь, для обнаружения воздушных объектов. Это необходимо для измерения высоты цели, дальности до нее и ее азимута. Некоторые из воздушных целей малы, а некоторые могут

¹ Вопрос флуктуирующих RCS изучается МСЭ-R.

находиться в пределах до 300 морских миль, поэтому эти радиолокационные радары должны обладать высокой чувствительностью и должны обеспечивать сильную степень подавления всех видов мешающих отражений, таких как от воды, земли или тумана. Радиолокационное излучение в данной полосе частот не предназначено для запуска радарных маяков.

Главным образом исходя из данного назначения и соответствующих требований, радиолокационные радары, использующие данную полосу частот, обладают, как правило, следующими общими характеристиками:

- они обычно обладают высокой пиковой и средней мощностью передатчика;
- их передатчики, как правило, чаще используют усилители мощности с задающим генератором частотой, чем генераторы мощности. Обычно такие радары могут настраиваться на частоту, причем некоторые из них обладают быстрой перестройкой частоты. В некоторых из них используется линейная частотная модуляция (импульс с линейной ЧМ) или внутриимпульсная модуляция с фазовой кодировкой;
- во многих из них используются множественные или управляемые по углу наклона лучи, с электронным управлением положением диаграммы направленности антенны;
- некоторые из них обладают возможностью управления мощностью, т. е. способностью уменьшения мощности передачи в некоторых лучах, или для выполнения некоторых функций, используя полную мощность для других функций;
- они обычно объединяют разнообразные возможности по приему и обработке сигналов, такие, как использование вспомогательных принимающих антенн с гашением бокового лепестка; возможность обработки пакетов когерентных несущих импульсов с последующим подавлением мешающих отражений путем установления (индикации) движущейся цели (ИДЦ), постоянной частоты ложной тревоги (CFAR) и, в некоторых случаях, адаптивного выбора рабочих частот, основанного на распознавании помех на различных частотах.

Некоторые или все радиолокационные радары, характеристики которых представлены в таблицах 1 и 2, обладают этими свойствами, хотя они не демонтируют все разнообразие свойств, которые могут появиться в системах в будущем.

ТАБЛИЦА 1

Характеристики судовых радиолокационных радаров в диапазоне 2900–3100 МГц

Характеристики	Радар № 1	Радар № 2	Радар № 3
Полный диапазон настройки (МГц)	2 910–3 100,5	Номинально 2 900–3 100	2 910–3 100,5
Возможности настройки и отношение частота/угол возвышения	Детерминированные: Высокая частота \Leftrightarrow низкий угол возвышения		
Частота на горизонте (МГц)	Спокойное море: 3 048–3 051	Спокойное море: 3 055	Спокойное море: 3 051
Зона покрытия/режим работы	Дальнедействующий Дальнедействующий/ ограниченный угол возвышения Близкодействующий Близкодействующий/ ограниченный угол возвышения (езде нормальные, совпадающие видеолучи или импульсы ИДЦ)	Нормальная (возвышение $\leq 45^\circ$) 5° Режим burn-thru (прожиг): 1 фикс. луч в 1,6° ЛЧМ: 1 луч с ЛЧМ волной Дальнедействующий ИДЦ, 3-импульсный; 5° или 45° Близкодействующий ИДЦ, 4-импульсный; 5° или 45° Пассивный	Дальнедействующий (возвышение $\leq 12,8^\circ$) Дальнедействующий/низкий угол возвышения ($\leq 4,8^\circ$) Большой угол ($\leq 41,6^\circ$) Ограниченное возвышение ($\leq 12,8^\circ$) Большая скорость передачи данных ($\leq 41,6^\circ$) ИДЦ ($\leq 36,9^\circ$)
Тип волны Тх импульса	Немодулированная	Нормальный, 5°, и ИДЦ-режимы: подымпulse с 9-пошаговым изменением частоты (1,5 МГц между соседними подымпulseми); Режим burn-thru: немодулированная Режим ЛВЧ: линейная ЧМ	Немодулированная

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Характеристики	Радар № 1	Радар № 2	Радар № 3
Источник(и) Тх РЧ	Клистрон	Усилитель со скрещенными полями (амплитрон)	Клистрон
Тх фильтр		Фильтр верхних частот; $f_{co} \geq 2 \text{ 840 МГц}$	
Максимальная пиковая мощность Тх	0,9–1 МВт от горизонта до 35°	2,2 МВт от горизонта до 5°	1,0–1,5 МВт от горизонта до 35°
Пиковые мощности Тх для высоких углов возвышения и/или режимов уменьшенного диапазона	Мощность уменьшается постепенно от приблизительно 1 МВт при 35° до 300 кВт при 41,6°	600 кВт при 5,5°–21°; 60 кВт выше 21° и по горизонту в большей части импульсов ИДЦ	Мощность плавно уменьшается от примерно 1 МВт при 35° до 300 кВт при 41,6°
Длительность импульса/подымпурса Тх (мкс)	Начальные единицы: 4 и 3 или 2 Конечные единицы: 10, 4,6 и 2,5	Нормальная, 5°, и ИДЦ: 27 (9 смежных 3 мкс подымпурсов); Режим burn-thru (прожиг) и ЛВЧ – режим: 27	Дальнего действия и дальнего действия/с низким возвышением: 10 Высокий угол и ограниченное возвышение: 4,6 ВЧ и ИДЦ: 2,5
Коэффициент сжатия импульсов	Не применяется	Нормальный, ИДЦ и burn-thru (прожиг): не применяется ЛЧМ: 9	Не применяется
Ширина полосы Тх 3 дБ	ДИ = 10 мкс: приблизительно 100 кГц ДИ = 4,6 мкс: приблизительно 225 кГц ДИ = 2,5 мкс: приблизительно 700 кГц	Нормальная и ИДЦ: 300 кГц/подымпурс ЛЧМ: 300 кГц Burn-thru (прожигом/а): 34 кГц	ДИ = 10 мкс: приблизительно 100 кГц ДИ = 4,6 мкс: приблизительно 225 кГц ДИ = 2,5 мкс: приблизительно 700 кГц
Ширина полосы Тх 20 дБ		Нормальная и ИДЦ: 2 МГц/подымпурс ЛЧМ: 700 кГц Burn-thru (прожиг): 240 кГц	
Максимальный выпрямленный ток (PRI) (мкс) ⁽¹⁾	Изменяемый: 2 050–500 (2 050 по горизонту) Фиксированный: 2 116	Нормальный: Изменяемый 2 830–732 (2 830 по горизонту) burn-thru, ЛЧМ и низкое возвышение: соответственно: 2 830, 4 850 или 6 180	Изменяемый: 3 106–426 (3 106 по горизонту)
Среднее значение PRI для импульсов полной мощности, включая горизонтальные лучи (мкс)		Нормальный режим: 5 120 5° режим: 4 977 Дальнедействующий для 3-импульсного ИДЦ: 5°: 4 357 45°: 6 760 Близкодействующий для 4-импульсного ИДЦ: 5°: 10 534 45°: 10 695 (1 или 2 подымпурса/импульса достигают горизонта)	Дальнедействующий: 7 491 Дальнедействующий/ низкое возвышение: 6 190 Широкий угол: 10 972 Ограниченное возвышение: 7 383 ВЧ: 14 020 ИДЦ: 9 886 или 10 903 (при чередующихся сканированиях азимута)
Поляризация	Горизонтальная		
Коэффициент усиления антенны (дБи)	Начальные единицы: 33,5 Конечные единицы: 37	38,5	37
Ширина диаграммы направленности антенны (градусы)	Азимут: 1,9 Возвышение: 2,25	Азимут: 1,5 Возвышение: 1,6	Азимут: 1,9 Возвышение: 2,25
Смещение частоты для изменения возвышения обратной волны 1/2	2,25 МГц (0,5° на МГц)	4,1 МГц (0,39° на МГц)	2,25 МГц (0,5° на МГц)

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Характеристики	Радар № 1	Радар № 2	Радар № 3
Подавление 1-го бокового лепестка (дБ)	Начальные единицы: Азимут: 16 Возвышение: 20 Конечные единицы: Азимут: 25 Возвышение: 25	Азимут: 25 Возвышение: 15	Азимут: 25 Возвышение: 25
Подавление удаленного бокового лепестка	Часто ограничено рассеянием структуры		
Вид сканирования антенны по азимуту (градусы)	Непрерывный 360		
Количество периодов обращения рамки антенны (с)	Начальные элементы Нормальный режим: 4 Режим ИДЦ: 5,2 Совпадающее видео: 12,5 Конечные элементы: 8, 6, 4	4 и 8	8, 6 и 4
Сканирование антенны по возвышению (градусы)	Начальные элементы: 0–48 Конечные элементы: 0,3–41,6	0–45	0,3–41,6
Формирование отчетливых лучей по возвышению	Последовательные Rx по единственному каналу	Одновременные Rx по 9 параллельным каналам, плюс последовательный переход от импульса-к-импульсу	Последовательные Rx по единственному каналу
Rx ширина полосы рч ⁽²⁾	200 МГц (оценка)	≥200 МГц	200 МГц
Rx ширина полосы ПЧ ⁽²⁾	500 кГц	350 кГц на канал 12 МГц суммарно	Дальнего действия: 80 кГц Высокий угол: 174 кГц Высокая скорость передачи данных и режим ИДЦ: 348 кГц
Вычисление отношения усиления к шуму (дБ)		Импульсный режим: 9	
Чувствительность полезного сигнала или уровень шума (дБм) (по отношению ко входу антенны)	Уровень шума: –109		
Способность подавления помех	Совпадающее видео ИДЦ Последние элементы: подавление бокового лепестка	STC FTC AGC INT CSG WPB Подавление бокового лепестка Подавление единичного луча Корреляция импульс-к-импульсу Вырезание шума (Dicke fix)	Подавление бокового лепестка Видео регистрация Dicke Fix Метка помех ⁽³⁾
Период использования	1960 год – ... (заменены радары типов № 2 и № 3)	1965 год – по настоящее время	1966 год – по настоящее время

(1) В большинстве режимов работы радаров №№ 1, 2 и 3 межимпульсный интервал, как и пиковая мощность, уменьшается с возрастанием угла сканирования.

(2) Rx уровней насыщения ВЧ и ПЧ по отношению к порту антенны.

(3) Метка помех выражается видимой линией, указывающей направление источников определенного вида помех.

ТАБЛИЦА 2

**Характеристики радиолокационных радаров, базирующихся на суше
и работающих в полосе частот 2900–3100 МГц**

Характеристики	Радар № 4	Радар № 5	Радар № 6
Полный диапазон настройки (МГц)	2 905–3 080	2 901,5–3 098,4	2 900–3 100
Возможности настройки и отношение частота/угол возвышения	Детерминированная: Низкая частота \Leftrightarrow низкий угол возвышения 0,1°–0,15° на МГц	а) фиксированная частота б) быстрая перестройка частоты от импульса к импульсу (не больше 16 частот): – с зондированием среды – случайная с) ИДЦ (последовательность 12 импульсов): быстрая перестройка частот (зондирование обстановки или случайная)	а) фиксированная частота б) быстрая перестройка частоты от импульса к импульсу (16 частот из одного из 4 наборов по 16 частот каждый): – с зондированием среды – случайная с) ИДЦ (последовательность 4 импульсов): быстрая перестройка частот (зондирование среды или случайная)
Частота по горизонту (МГц)	2 924–2 935	Не зависит от угла возвышения	
Зона покрытия/режим работы	Обычный (0°–18°) С кодированием импульса (сжатие импульса при 0°–2,24°, обычный выше 2,24°) Режим ИДЦ ($\leq 18^\circ$) Прожиг (один выбранный луч с возвышением 0,8°)	Сжатие импульса (0°–20°) ИДЦ со сжатием импульса (0°–20°)	Подтвержденная изменением дальность в 240 морских миль Сжатие импульса (0°–20°) ИДЦ со сжатием импульса (0°–20°)
Тип волны Тх импульса	Нормальный и режимы ИДЦ: подымпульсы с пошаговым изменением частоты (сканирование частота/возвышение внутри импульса) Низкое возвышение/ импульсы высокой мощности с 6 подымпульсами; импульсы высокого возвышения и низкоомощные импульсы ИДЦ имеют по 9 импульсов. В обоих случаях промежутки между двумя соседними подымпульсами равен 2,8 МГц Кодированные импульсы: три смежных 9,9 мкс подымпульса, каждый состоит из 13 кодовых чипов Прожиг: (немодулированный)	Бифазный кодированный (Баркер 13)	
Выходное устройство Тх РЧ	Усилитель со скрещенными полями	Твистрон	
Фильтр Тх	Фильтр высоких частот		Нет Подавление 2 гармоники 60 дБ Подавление 3 гармоники 50 дБ
Максимальная пиковая мощность Тх	2,2 МВт – возвышение от 0° до 7,2° и 60 кВт при излучении ИДЦ от 0° до 3°	2,8 МВт	3,0 МВт

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

Характеристики	Радар № 4	Радар № 5	Радар № 6
Пиковые мощности T_x при больших углах возвышения и/или режимах уменьшенной дальности	665 кВт от $7,2^\circ$ до $12,6^\circ$ возвышения 60 кВт при $12,6^\circ$ возвышения	Мощность T_x распределена среди многих лучей, формируя приближенно cosec ² диаграмму направленности	Мощность T_x распределена среди многих лучей с возвышением от 0° до 20°
Ширина импульса/подымпulses T_x	Нормальный: 6 смежных 5 мкс подымпulses при малом возвышении и высокой мощности; 9 смежных 3 мкс подымпulses при большом возвышении МТГ: смежных 3,3 мкс подымпulses Кодовый импульс: 3 смежных 9,9 мкс импульса, каждый с 13 подымпulses (0,76 мкс импульсы)	6,5 мкс	6,5 мкс – кодированные импульсы
Коэффициент сжатия импульса	Кодированный импульс: 13	13	
Ширина полосы T_x 3 дБ	Нормальный и ИДЦ: 350 кГц на подымпulse Кодированные импульсы: 1,3 МГц для лучей со сжатием импульса	Приблизительно 2 МГц	1,4 МГц
Ширина полосы T_x 20 дБ		9,5 МГц	2,7 МГц (5,9 МГц при 40 дБ, 40 МГц при 60 дБ)
Максимальный выпрямленный ток (PRI) (мкс) ⁽¹⁾	Изменяемый: 3 772 мкс по горизонту до 1 090 мкс при 18° , кроме 1 090 мкс для ИДЦ	Фиксированный: 4 082, 4 000 или 3 876 мкс Детерминировано настроены со сдвигом: 3 597→3 788→4 255→ 4 405→3 876→4 082 мкс→ повтор	Фиксированные частоты повторения: 245, 250 и 258 импульс/с (4,082, 4,0 или 3,876 мс) Последовательность дрожащих интервалов импульс-импульс 4,08→3,59→3,79→ 4,25→4,40→3,87 мс→ повтор Могут использоваться два других межимпульсных дрожащих интервалов
Среднее значение PRI для импульсов полной мощности, включая горизонтальные лучи	Нормальный: примерно 9 670 мкс (1 или 2 подымпulses/импульса достигают горизонта)	Все импульсы покрывают 0° – 20°	272,5 импульс/с
Поляризация	Горизонтальная	Вертикальная	Горизонтальная
Коэффициент усиления антенны (дБи)	41	T_x : 34,5 R_x : 38 (Мощность T_x делится между 13 лучами, обратный сигнал поступает только по 6 каналам)	T_x : 35 (Энергия T_x распределена в $0,5^\circ$ – 20°) R_x : 36,7, 35,7, 35,3, 35,5, 32,1 и 31,9 от нижнего луча до верхнего
Ширина диаграммы направленности антенны (градусы)	Азимут: 2,15 Возвышение: 0,84	Азимут: 1,1 Возвышение: 20 cosec ²	Азимут: 1,6 Возвышение: 20 при передаче; от 2,3 до 6,0 при приеме

ТАБЛИЦА 2 (окончание)

Характеристики	Радар № 4	Радар № 5	Радар № 6
Смещение частоты при изменении возвышения луча на 1/2			Не зависит от частоты
Подавление 1-го бокового лепестка (дБ)	Азимут: 25 Возвышение: 25	18,5 (предполагается по азимуту)	Тх: 20 в вертикальной плоскости Rx: не меньше 35 по азимуту; не меньше 49 по возвышению
Подавление удаленного бокового лепестка			Ультранизкие боковые лепестки
Вид азимутального сканирования антенны (градусы)	Непрерывное 360		
Количество периодов обращения рамки антенны (с)	10		9,4 (6,4 об./мин.)
Сканирование антенны по возвышению (градусы)	-1 – 18	Не сканируется. Охват Тх-луча по возвышению 0°–20°	
Формирование отчетливых лучей по возвышению	Последовательные Rx по единственному каналу	20° Тх-лучей подразделяются на 6 Rx-лучей и обрабатываются одновременно по 6 параллельным каналам	6 уложенных Rx-лучей обрабатываются одновременно по 6 параллельным каналам
Rx ширина полосы РЧ	200	>200 (для каждого канала использует преобразователь частоты с подавлением помех от зеркального канала)	
ВЧ и ПЧ уровни насыщения Rx по отношению ко входу антенны		-35 дБм	Динамические ряды: 90 дБ, с использованием до 46,5 дБ STC
Rx в диапазоне ПЧ	Нормальный и ИДЦ режимы: 350 кГц Кодированный импульс: 1,3 МГц	1,6 МГц	1,1 МГц при 3 дБ 3,4 МГц при 20 дБ 12,1 МГц при 60 дБ
Вычисление отношения усиления к шуму (дБ)	Нормальный/не-ИДЦ: 3 дБ (2-импульсное накопление видео) Кодированный импульс: 11 дБ	10 дБ (сжатие импульса) + 9 дБ (интеграция импульса) = 19 дБ	11 дБ (сжатие импульса) используется 4-импульсная ИДЦ
Чувствительность полезного сигнала или уровень шума (дБм) (по отношению ко входу антенны)	Нормальный режим: уровень шума: -116 Кодированный импульс: уровень шума: -110	-105	
Способность подавления помех	2-импульсная видеоинтеграция Регистрация FTC Режим кодирования импульсов (сжатия импульсов) Корреляция импульс-импульс Отслеживание стационарных целей	Быстрая перестройка частоты Сжатие импульсов Подавление бокового лепестка Ступенчатые PRI с последдетекторным интегрированием Жестко ограничивающий CFAR (без ИДЦ) или STC (с ИДЦ) Канал отслеживания необработанного сигнала	Чрезвычайно низкие боковые лепестки принимающей антенны Прочие сходные с радаром № 5
Период использования	1975 год – по настоящее время	1975 год – по настоящее время	Поздние 1980-е годы – по настоящее время

(1) В большинстве режимов работы радара № 4 межимпульсный интервал, как и пиковая мощность, уменьшается с возрастанием угла сканирования.

В таблицах 1 и 2 использованы следующие термины и сокращения:

\Leftrightarrow :	соответствие (между несущей частотой и углом возвышения)
AGC:	автоматическое управление усилением
burn-thru:	режим, в котором мощность сосредоточена в небольшом секторе по углу возвышения, с тем чтобы облегчить установление цели в неблагоприятных условиях
BW:	ширина полосы или ширина диаграммы направленности, в зависимости от контекста
Chirp-thru:	Вид режима burn-thru, при котором используется сжатие импульса для снижения обратного сигнала при обширных помехах
Coincident video:	Совпадающее видео (корреляция "импульс-к-импульсу")
CSG:	генерация чистой метки. Способ наблюдения сигналов активных источников, при котором радар используется только в качестве приемника. Может использоваться вместе с подавлением бокового лепестка или без него.
Dicke fix:	строгое ограничение сложного принятого сигнала (обратный сигнал радара плюс помехи), пришедшего в гораздо более широком диапазоне, чем ожидаемый сигнал радара, с последующей фильтрацией в узкую полосу частот. Не путать с широкополосными помехами.
f_{co} :	граничная частота фильтра
FTC:	константа короткого интервала
INT:	интегрирование некогерентного множественного (видео) импульса
Jam strobe:	то же, что CSG
PRI:	интервал повторения импульса
PRF:	частота повторения импульса
PW:	ширина импульса
STC:	управление временем чувствительности
WPB:	подавление широкого импульса

Все справочные данные таблиц 1 и 2, касающиеся углов, измеренных в градусах, касаются углов возвышения, если не указано другого.

2.1 Особые характеристики

Радары № 1, № 2, № 3 и № 4 выполняют механическое сканирование по азимуту и частотное сканирование по возвышению. Из них, радары № 2 и № 4 обычно выполняют пошаговое сканирование по возвышению внутри каждого нового импульса, т.к. каждый импульс можно разделить на 9 смежных подимпульсов с пошаговым изменением несущей частоты от одного подимпульса к другому. Радары № 2 и № 4 также содержат 9 параллельных приемных/обрабатывающих каналов (не считая канала подавления бокового лепестка). Каждый канал приемника обрабатывает возвратный сигнал от отдельных лучей по возвышению, соответствующих отдельным подимпульсам внутри одного интервала импульса. В таком режиме эти радары могут просматривать около 5° (радар № 2) или около 3° (радар № 4) по возвышению за одно время импульса или время прохождения сигнала от радара туда и обратно, с разрешением около $1,6^\circ$ (радар № 2) или $0,84^\circ$ (радар № 4). Эти радары просматривают различные 5-градусные (радар № 2) и 3-градусные (радар № 4) секторы по возвышению за соответствующие межимпульсные интервалы.

Радары № 1 и № 3 передают только по одному лучу за один импульс, и содержат только один приемный канал (не считая канала подавления бокового лепестка). В течение каждого интервала повторения импульса они просматривают новый сектор по возвышению.

Требуемый измерительный диапазон, определяющий интервал повторения импульсов, обычно велик на низких углах возвышения, но уменьшается при больших углах возвышения, потому что большой дальности в этом случае соответствуют надатмосферные высоты. При наибольших углах возвышения максимальная мощность передачи сигнала может быть уменьшена, т. к. более короткие расстояния требуют меньшей средней энергии для обнаружения цели, а интенсивность передачи возрастает благодаря более короткому интервалу между импульсами. В радаре № 2 уменьшение максимальной мощности передачи происходит за счет обесточивания конечных и промежуточных устройств усиления мощности, уменьшая таким образом воздействие высокого напряжения и получая более чистый спектр излучения. В радаре № 1 и № 3 мощность передачи остается высокой вплоть до углов, равных приблизительно 35° и уменьшается при дальнейшем увеличении угла возвышения, как естественное следствие зависимости коэффициента усиления от частоты в конечном усилителе.

Импульсно-частотные последовательности радаров № 2 и № 4 довольно сильно отличаются и являются достаточно сложными. Например, в нормальном режиме работы радара № 2, каждое законченное сканирование (развертка) по возвышению содержит 18 импульсов передачи, из которых каждый состоит из 9 подимпульсов с пошагово меняющейся частотой. Опорная частота каждого из 18 импульсов различается, чтобы внести свой вклад в эффект сканирования, за исключением 3 импульсов, чьи частоты совпадают с другими тремя. В 5-градусных режимах ИДЦ группы 3 или 4 идентичных импульсов, разделенных одинаковыми интервалами, излучаются на углах возвышения, не превышающих 5° , и перемежаются 15 непериодическими (не-ИДЦ) импульсами, излучаемыми на всех углах возвышения, вплоть до 45° в каждом законченном сканировании по углу возвышения. В большинстве режимов работы лучи, связанные со всеми подимпульсами, в 18 или более импульсах, которые составляют сканирование по углу возвышения, перекрываются по азимуту, потому что антенна поворачивается за время импульса на величину, меньшую, чем ширина луча ($1,5^\circ$). Таким образом, отраженный сигнал цели, принадлежащий одному из подимпульсов, перекрывается как по азимуту, так и по возвышению возвратными сигналами нескольких других подимпульсов. Корреляция "луч-к-лучу" и "импульс-к-импульсу" между этими перекрывающимися отражениями помогает уменьшить уровень ложных целей по отношению к шуму и добиться надежного получения метки цели в присутствии асинхронных импульсных помех.

В таблицах содержатся расчетные значения для средних интервалов между полными импульсами, излучаемыми радаром № 2, № 3 и № 4 которые излучаются по горизонту (радар № 3) или содержат хотя бы один подимпульс уровня горизонта (радары № 2 и № 4) продолжительностью 3 или 3,3 мкс. Расчеты учитывают тот факт, что в некоторых режимах работа ИДЦ на коротких расстояниях прерывается другими операциями в режиме дальнего действия. При любой опорной частоте только один из подимпульсов может попасть в полосу пропускания других систем, т. к. частота пошагово распределена между подимпульсами. В любом случае, два смежных импульса произведут примерно то же воздействие на приемник, что и один.

Радары № 5 и № 6 не используют частотное сканирование. Однако они все же формируют многочисленные одновременные принимаемые лучи и имеют 6 параллельных (одновременных) принимающих каналов, каждый из которых покрывает определенный сектор возвышения. Так как частотное сканирование отсутствует, они способны наблюдать любой район пространства на любой из многочисленных частот, представленных в их рабочем диапазоне шириной 200 МГц. Фактически эти радары могут вести наблюдение, быстро переключаясь с одной частоты на другую. В режимах, отличных от ИДЦ, они могут перепрыгивать на любую из данных частот перед каждым новым импульсом. В режиме ИДЦ они могут менять частоту через каждые 12 импульсов (в случае радара № 5) или через каждые 4 импульса (в случае радара № 6). В целях использования этой особенности в них присутствует возможность просмотра, с помощью которой можно определить степень распространения (проникновения) сигнала на местности, на каждой посещаемой частоте и затем записать результат в память.

Специфичная форма волны сжатия импульсов, используемая радаром № 4, не может быть строго определена. Однако из того факта, что степень сжатия установлена равной 13 и форма волны кодирована, разумно принять, чтобы для формы волны использовался бифазный код Баркера. Для длины 13 существует только один такой код.

Отслеживание стационарных целей или устраняющее свойство радара № 4, известное так же, как карта мешающих импульсов, – это алгоритм, обрабатывающий результаты вычислений, который устанавливает число обнаружений, происшедших в каждой области "азимут/дальность/возвышение" в недавнем прошлом. С каждым новым обнаружением это число возрастает, при нерезультативном обследовании какой-либо области, это число, согласно установленным правилам, убывает. Если число обнаружений в данном районе начинает превышать определенное пороговое значение, оно не предъявляется оператору и не используется для других целей, т. к. велика вероятность, что оно на самом деле является результатом местного мешающего шума.

Из-за существования множества режимов работы, для этих радаров трудно определить уровень чувствительности обнаружения количественно недвусмысленно точно. Чувствительность обнаружения должна оцениваться по результатам вычислений, в которых учтено значение шума, порядка 4–5 дБ для современных радаров, хотя более ранние радары, например, типа 1, вероятно, обладали большим шумом. Для радара № 6 чувствительность обнаружения устанавливается точно.

Радарные передатчики, использующие устройства с перекрещивающимися полями, такие, как в радарах № 2 и № 4, испускают широкополосный шум довольно большой величины, такой же, как и радары, использующие генераторы мощности с перекрещивающимися полями (магнетроны). Определение этой величины выходит за рамки данной Рекомендации.

2.2 Характеристики, представляющие особенный интерес

Взаимодействия, включающие излучения радиолокационных радаров и прием этих сигналов радарными радионавигационными, представляют больший интерес, чем взаимодействия противоположного типа. Это объясняется тем, что радары радиолокации, работающие в данном диапазоне, обычно имеют широкий набор возможностей избежать воздействия помех того типа, который создают морские навигационные радары. Было установлено, что несущие частоты морских навигационных радаров, работающих в данном диапазоне, за последние несколько десятилетий сконцентрировались почти полностью в районе между 3020 и 3080 МГц. Таким образом, представляет интерес тот факт, что радары радиолокации № 1, № 2 и № 3, которые также работают в условиях моря, излучают свои горизонтальные лучи почти полностью в данной спектральной области. Все три этих радара используют антенны с регулируемой по углу возвышения частотой. Поскольку эти радары являются судовыми, они должны компенсировать поведение корабля (бортовую и килевую качку) с помощью приспособляющегося к этому поведению изменения частоты. Как следствие, точная частота, с которой генерируется их горизонтальное излучение, вынуждена меняться, поскольку корабль испытывает бортовую и килевую качку, и поскольку антенна механически поворачивается для обеспечения азимутального сканирования. Тем не менее центроид частотного распределения, соответствующего горизонтальному излучению, лежит очень близко к частоте 3050 МГц, которая в то же время является центроидом распределения частот навигационных радаров. Таким образом, горизонтальное излучение судовых радаров, описанных в таблице 1, сосредоточено в или рядом с частотным диапазоном навигационных радаров.

Очень важно, что все три эти судовых радиолокатора используют горизонтальную поляризацию, которая является преобладающим видом поляризации, используемым навигационными радарными в течение последних десятилетий.

Также заслуживает упоминания, что максимальная мощность передачи некоторых импульсов достигается радиолокаторами № 1, № 2, № 3 и № 4, когда их лучи направлены горизонтально, как показывают значения, приведенные в таблицах 1 и 2.

Таким образом, условия, которые преобладали последние несколько десятилетий, привели к максимальному возрастанию возможности соединения помех судовых радиолокационных радаров указанных типов и помех обычных морских навигационных радаров. Если существуют какие-либо наблюдения в течение нескольких последних десятилетий, касающиеся помех радионавигационным радарам, относимым к этим радиолокаторам, их перенос должен рассматриваться в этом контексте.

Радар № 6 принципиально отличается от радара № 5 благодаря использованию антенны с плоской решеткой со свёрхнизкими боковыми лепестками в отличие от зеркальной антенны радара № 5.

Сверхнизкие лепестки в данном случае получены, возможно, отчасти, благодаря тому факту, что, хотя на приемник антенны поступает множество лучей, электронное управление ими отсутствует. Поэтому на возбуждение решетки не влияет разбиение на группы фазовращателей или ухудшение, происходящее, когда управление положением диаграммы направленности антенны происходит далеко от равносигнального направления или нормали

3 Рабочие характеристики не метеорологических систем радиолокации

Радиолокаторы в этом диапазоне гораздо менее многочисленны, чем морские навигационные радары. Почти каждый корабль, имеющий водоизмещение, превышающее 3000 тонн, несет навигационный радар, работающий в этом диапазоне.

Считается, что судовые радиолокаторы, описанные здесь, работают почти всегда, когда корабль находится в пути. Под наиболее часто используемыми режимами подразумеваются режимы, дающие большую возможность обзора по вертикали и горизонтали. Таким образом, использование нормального режима радаров № 2 и № 4 самоочевидно, в то время как режиму их работы с высоким углом обзора соответствует первичный режим работы радара № 3. Режимы, покрывающие ограниченные секторы по высоте, такие, как burn-thru и chirp-thru, обычно оставляются для особых обстоятельств, и даже эти режимы могут использоваться только в узких азимутальных секторах, в то время как работа с наибольшими углами возвышения выполняется в остальных азимутальных секторах. Режимы ИДЦ предполагается использовать только в соответствующих условиях, таких, как штормовое море или близость суши.

От радиолокаторов сухопутного базирования ожидается работа в течение небольшой части суток, за исключением некоторых областей применения. Исключение составляют случаи, когда они используются в целях навигации. Радары типа № 5 обычно работают на фиксированных частотах, за исключением некоторых особых обстоятельств.

4 Неметеорологические радиолокационные системы будущего

В общих чертах, радиолокаторы, которые могут быть разработаны в будущем для работы в диапазоне 2900–3100 МГц, будут, как ожидается, походить на описанные ниже.

Будущие радиолокаторы, как ожидается, будут обладать, по крайней мере, такой же гибкостью, как уже описанные выше, включая способность работать по-разному в различных секторах по азимуту и по возвышению.

Имеет смысл предположить, что некоторые будущие конструкции будут стремиться обладать способностью к работе в диапазоне, далеко превышающем 3100 МГц.

Ожидается, что они будут иметь антенны с электронным управлением, как у существующих радаров №№ 1–4. Однако сегодняшние технологии делают фазовое управление реальной и привлекательной альтернативой частотному управлению, а многочисленные радиолокаторы, созданные в последние годы для работы в других диапазонах, используют фазовое управление как по азимуту, так и по возвышению. В отличие от частотного управления, радары с фазовым управлением способны управлять лучом независимо от частоты. Помимо других преимуществ, это дает возможность облегчить совместимость в меняющихся условиях.

Некоторые из радиолокаторов будущего, как ожидается, будут иметь среднюю мощность, по крайней мере, не меньшую, чем описанные здесь. Однако разумно ожидать, что конструкторы будущих радаров, работающих в данном диапазоне, постараются уменьшить помехи широкополосного шума по сравнению с современными радарными, использующими вакуумные устройства со скрещивающимися полями. Это уменьшение шума будет достигаться в некоторых новых локаторах благодаря использованию твердотельных систем передатчик/антенна. В этом случае коэффициент мощности передачи будет выше, чем в современных радарных ламповых передатчиках, а импульсы будут длиннее.

5 Технические и рабочие характеристики судовых радионавигационных систем в диапазоне 2900–3100 МГц²

Характеристики типичных судовых радаров радионавигации представлены в таблицах 3 и 4.

Характеристики морских радионавигационных маяков (радиолокационных маяков), некоторые из которых работают в диапазоне 2900–3100 МГц, содержатся в Рекомендации МСЭ-R М.824.

В таблице 3 приводятся данные о мощности передатчиков и количестве судовых радаров для Международной морской организации (ИМО).

ТАБЛИЦА 3

Корабельные радары радионавигации

Категория радара	Пиковая мощность	Количество всего
ИМО и рыболовство	≤75	>300 000

Характеристики радара, влияющие на эффективность спектра излучения, включая критерии защиты, представляют собой характеристики, которые связаны с антенной и приемником/передатчиком радара. В большей части радаров, используемых ИМО, применяются щелевые антенные решетки.

Технические характеристики для радаров категории ИМО, приведены в таблице 4. Диапазон значений каждой из характеристик задается максимальным и минимальным значениями.

ТАБЛИЦА 4

Морские радары радионавигации (Категории ИМО, включая рыболовство) Передатчик/приемник – типичные характеристики

Характеристики	2 900–3 100 МГц	
	Максимум	Минимум
<i>Антенна (для приема/передачи):</i>		
Ширина луча (до –3 дБ) (градусы)		
По горизонтали	4,0	1,0
По вертикали	30,0	24,0
Ослабление бокового лепестка (дБ)		
В пределах ±10°	28	23
Вне пределов ±10°	32	31
Усиление (дБ)	28	26
Скорость вращения (об./мин.)	60	20

² Характеристики фиксированных морских гражданских радаров, используемых, например, службами управления движением судов (VTS), не рассматриваются, поскольку зависят от конкретного местоположения и выполняемых функций, таких как наблюдение за прибрежным плаванием судов и их проходом в гавань.

ТАБЛИЦА 4 (окончание)

Характеристики	2 900–3 100 МГц	
	Максимум	Минимум
<i>Передатчик:</i>		
Пиковая мощность (кВт)	75	30
Частота (МГц)	3 080	3 020
Продолжительность импульса ⁽¹⁾ (мкс)	1,2	0,05
Частота повторения импульсов ⁽¹⁾ (Гц)	4 000	375
<i>Приемник:</i>		
Промежуточная частота ПЧ (IF) (МГц)	60	45
Ширина диапазона ПЧ (МГц)		
Короткие импульсы	28	6
Средние/длинные импульсы	6	2,5
Значение шума (дБ)	8,5	3

⁽¹⁾ При использовании данной таблицы для вычисления средней мощности нужно обратить внимание, что максимальная частота повторения импульса связана с минимальной продолжительностью импульса и наоборот.

6 Радары воздушной радионавигации

Франция

Пока не принято решение о том, является ли использование данного диапазона для управления воздушным движением широко распространенным, и, в свою очередь, происходит ли это исключительно во время обзора воздушного пространства вблизи аэропортов, во время наблюдения за движением на авиационных маршрутах, или роль играют оба фактора. Так как большинство радаров наблюдения за движением на авиационных маршрутах имеют большую дальность действия по сравнению с радаром, наблюдающим за воздушным пространством аэропортов, и обычно работающими в полосе частот 1215–1400 МГц, использование полосы частот 2900–3100 МГц любой воздушной навигационной службой становится предпочтительным для наблюдения зоны подлета к аэропорту и обстановки в районе аэропорта, похоже, что полоса частот 2900–3100 МГц используется для управления движением гражданских авиасудов в областях, где полоса частот 2700–2900 МГц уже плотно насыщена частотами подобных радаров. В частности, в сопроводительной информации практически всех производителей радаров управления движением гражданских воздушных судов, работающих в полосе частот 2,3–3,4 ГГц, существующих на сегодняшний день, указано, что возможность их настройки ограничена 2700–2900 МГц. Можно предположить, что радары, используемые для воздушной радионавигации в полосе частот 2900–3100 МГц, будут очень похожи на описанные в данной Рекомендации. Это, скорее всего, радары, работающие в 3-х измерениях, а не в 2-х, как радары управления движением гражданских воздушных судов, действующие в диапазоне 2700–2900 МГц. В той мере, в какой эти первые могут походить на радары диапазона 2700–2900 МГц, их характеристики описаны в Рекомендации МСЭ-R М.1464-1. Изучение особенностей использования полосы частот 2900–3100 МГц для воздушной радионавигации продолжается.

7 Технические и рабочие характеристики метеорологических радаров в полосе частот 2900–3100 МГц

Технические и рабочие характеристики типичных метеолокаторов, работающих в полосе частот 2,3–3,4 ГГц, представлены в Рекомендации МСЭ-R М.1464. Данные радары используются преимущественно в полосе частот 2700–2900 МГц. Метеолокаторы работают в данной полосе частот совместно с другими радаром, но из-за насыщенности спектра радиочастот некоторые метеорологические радары в некоторых странах также используются в полосе частот 2900–3100 МГц.

В этих радарх используется эффект Допплера для наблюдения за наличием опасных природных явлений, таких, как торнадо и сильные ураганы, для определения их скорости и направления движения. Они также дают численные данные для определения зоны выпадения сильных осадков, что может помочь в гидрологическом прогнозе возможного наводнения. Возможности определения опасных погодных явлений и характера их поведения, присущие этим радарам, вносят свой вклад в точность и оперативность служб оповещения. Преимущества радаров позволяют вовремя определять опасные погодные явления, угрожающие жизни и имуществу, от раннего определения разрушительных ветров до оценки количества выпадающих осадков, предсказания подъема рек и наводнений.

Эти радары образуют объединенную сеть, покрывающую целиком США, соединяющую Гуам, Пуэрто-Рико, Японию, Южную Корею, Китай и Португалию. Диапазон 2700–3100 МГц предлагает превосходные характеристики распространения сигнала и возможности для метеопрогнозов и предупреждений. Плановая модернизация радара может продлить срок его службы до 2040 года.

Приложение 2

Критерии защиты для радаров

Влияние широкополосной продолжительной помехи шумового типа на снижение чувствительности приема для радаров радиоопределения и метеолокаторов предсказуемо зависит от ее интенсивности. В любом азимутальном секторе, где проявляется эта помеха, спектральная плотность ее мощности может, с разумным приближением, просто суммироваться со спектральной плотностью теплового шума приемника радара. Если, в отсутствие помехи, обозначить спектральную плотность шума приемника как N_0 , а такую же плотность для шумовой помехи как I_0 , то спектральная плотность эффективной мощности шума выражается просто как $I_0 + N_0$. Возрастание уровня этого эффективного шума свыше 1 дБ приведет к значительному ухудшению, эквивалентному уменьшению дальности обнаружения примерно на 6%. Такое же увеличение соответствует отношению $(I + N)/N$, равному 1,26, или отношению I/N , равному примерно –6 дБ. Это представляет собой терпимый суммарный эффект воздействия многочисленных источников помех; допустимое значение отношения I/N для каждого источника помех зависит от количества источников помех, их размеров и расположения и должно рассматриваться при анализе данного сценария.

Воздействие импульсных помех труднее поддается количественной оценке и сильно зависит от конструкции приемника/процессора и от режима работы системы. В частности, коэффициенты дифференциальной обработки обратных сигналов подтвержденной цели, которые синхронизированы импульсно, и импульсы помех, которые обычно несинхронизированы, часто имеют заметное влияние на воздействие импульсных помех того или иного уровня мощности. Такими помехами могут быть вызваны несколько видов ухудшения работы. Их рассмотрение может быть целью анализа взаимодействий между отдельными типами радаров. В целом, многочисленные возможности радаров описанных здесь типов, как ожидается, помогут в подавлении маломощных импульсных помех, особенно из нескольких изолированных источников. Методы подавления маломощных циклических помех содержатся в Рекомендации МСЭ-R М.1372 "Эффективное использование радиочастотного спектра радарными станциями в службе радиоопределения".

Нужно заметить, что проводятся исследования возможности учета статистических факторов и эксплуатационных особенностей в критериях защиты для радарных систем радиоопределения. Такой статистический подход может быть полезным в случае непродолжительных сигналов.

1 Критерии защиты для судовых радионавигационных радаров

Надлежащая работа систем радионавигации может быть нарушена в том случае, если нежелательные сигналы приведут к возникновению избыточного количества различного типа помех, ухудшающих качество приема. В зависимости от особенностей взаимодействующих систем и рабочих ситуаций, эти помехи могут быть следующих типов:

- диффузные эффекты, например, десенсибилизация или уменьшение радиуса действия, исчезновение сигнала цели или уменьшение обновления информации;
- дискретные эффекты, например, помехи на приеме, увеличение частоты ложных тревог.

Будучи связанными с этими типами деградации, критерии защиты должны основываться на пороговых значениях следующих параметров, например для систем избежания столкновений:

- допустимое уменьшение дальности действия и соответствующего снижения чувствительности приемника;
- допустимое уменьшение масштабов сканирования;
- допустимая максимальная частота ложных тревог;
- допустимая частота потери сигналов цели.

Эти критерии защищенности и пороговые значения, принятые для их оценки в случае судовых систем радионавигации, нуждаются в дальнейшем развитии.

Требования к работе судовых радаров, зависят от конкретных условий и задач, стоящих перед ними. Это относится к расстоянию до берега или препятствий на море. Проще говоря, можно выделить три вида сценария: океанский, прибрежный и гавань/порт.

Пока не существует международного соглашения по критериям защищенности, требуемым для радаров, устанавливаемых на корабле для действия в условиях вышеуказанных сценариев. Однако в Рекомендации МСЭ-R М.1461 установлен общий уровень помехи/шум, равный –6 дБ.

ИМО разработала пересмотр стандартов рабочих характеристик для судовых радаров с учетом современных требований МСЭ к нежелательным излучениям. В этих пересмотренных стандартах ИМО впервые признается возможность возникновения помех со стороны других радиослужб и включены новые требования к определению специфических целей в терминах стандартных флуктуаций эффективной площади отражения радара и требуемого диапазона как функции полосы частот работы радара. Определение цели основывается на индикации ее в восьми сканированиях из последовательных десяти при вероятности ложной тревоги, равной 10⁻⁴. Эти требования к установлению целей определены при условии отсутствия морских мешающих отражений, радиоканалов, возникающих из-за тумана или испарений, при возвышении антенны над уровнем моря не менее 15 м.

Важнейшим является тот факт, что международные морские власти безоговорочно утверждают, в последней редакции Конвенции ИМО "О безопасности жизни на море" (SOLAS), что радар является важнейшим средством для предотвращения столкновений.

Это утверждение должно рассматриваться в контексте обязательного оборудования системами автоматической идентификации (AIS) только тех судов, которые перечислены в транспортных требованиях ИМО. Эти системы полагаются на данные внешних справочных систем, например, GPS, для подтверждения указания относительного положения в терминах сценария предотвращения столкновений.

Однако установка подобных систем не может учесть появления многих морских объектов, например, айсбергов, плавающих обломков и остовов, судов, не оснащенных AIS. Эти объекты являются потенциальным источником столкновений с кораблями, и должны быть своевременно обнаружены судовыми радаром. Таким образом, радары останутся, в обозримом будущем, основной системой для предотвращения столкновений.

Интенсивные обсуждения с морскими властями, включая пользователей, привело к выработке требования, что во время плавания недопустимы помехи, которые можно устранить с помощью регламентарных мер.

В то же время, сохраняется намерение продолжать наши попытки, чтобы определить, для современных судовых радаров связь отношения помехи к шуму (I/N) и вероятности обнаружения (см. Приложение 3).

Приложение 3

Результаты испытаний восприимчивости к помехам

В США и Соединенном Королевстве проводятся испытания с целью определения уязвимости современных судовых радаров по отношению к помехам различных видов. Три морских радара радионавигации, работающих в полосе частот 2900–3100 МГц, с характеристиками, аналогичными указанным в таблице 4, были проверены на уязвимость к помехам, вызванным различными типами сигналов, включая четырехуровневую фазовую манипуляцию (QPSK), многостанционный доступ с кодовым разделением (CDMA), широкополосные CDMA, ортогональное частотное уплотнение (OFDM) и импульсные сигналы.

Результаты испытаний представлены зависимостью между вероятностью обнаружения и отношением величины помех к шуму (I/N) для каждого типа источника помех.

Нужно упомянуть, что не существует спецификаций приемника, выработанных МСЭ или другой международной организацией для морских радаров, и поэтому неудивительно, что существует огромное разнообразие характеристик приемников, работающих в этой среде. Результаты испытаний отражают это разнообразие, и демонстрируют как постоянное ухудшение вероятности обнаружения с ростом уровня помех, так и граничные частоты, при которых приемник больше не способен воспринимать конкретный уровень помех, основываясь на 90% вероятности обнаружения (в пределах одного сканирования).

Эти различия действительно присутствуют в используемых сегодня радарах.

1 Характеристики испытываемых радаров

Каждый из подвергшихся испытанию радаров является радаром типовой категории ИМО. Характеристики для каждого радара (определяемых, как радары А, В и С), представлены ниже, в таблицах 5–7. Номинальные значения для основных параметров радаров были получены из регулирующих документов одобрения типа рекламных брошюр и технических руководств. Не проверялись радары крупных катеров (яхт). Радары А и С в своих приемных конструкциях используют логарифмический усилитель/детектор, в то время как радар В использует отдельный видеодетектор, подключенный после логарифмического усилителя. Для всех радаров управление чувствительностью по времени (STC) и константа быстрого времени (FTC) во время испытаний не активировались.

2 Особенности подавления помех у приемника радара

Во всех радарах устройство их электронной схемы и процесс обработки сигнала направлены на смягчение влияния помех от близлежащих радаров. Радар А обладает широкими возможностями обработки сигналов и слежения за целью, включая свойство адаптивной локальной константы частоты ложных тревог (CFAR) и способность корреляции сканирования к сканированию. Радары В и С используют корреляторы "импульс-импульс" и "сканирование-сканирование" с целью уменьшения влияния помех от других радаров. Радары В и С не используют CFAR – обработку сигнала. Описание этого способа уменьшения влияния помех описано в Рекомендации МСЭ-R М.1372.

3 Спектры излучения сигналов помех

Спектры излучения сигналов помех показаны ниже, на рис. 1–3. За исключением сигнала QPSK (квадратурной манипуляции фазовым сдвигом), который был подан на радар А, и сигнала QAM (квадратурной амплитудной модуляции), который был подан на другие радары, остальные сигналы помех были введены совпадающими по азимуту с сигналом цели. Во всех случаях излучения были той же частоты, что и частота работы радара.

ТАБЛИЦА 5

Параметры приемника и передатчика радара А

Параметр	Значение			
Ширина диаграммы направленности по горизонтали (градусы)	1,9			
Частота (МГц)	3 050 ± 30			
Мощность импульса (кВт)	30			
Границы (нм/и)	0,375–1,5	3–6	12	24–96
Длина импульса (мкс)	0,08	0,30	0,60	1,2
Частота повтора импульсов, Гц	2 200		1 028	600
Ширина диапазона ПЧ (МГц)	28	3	3	3
Подавление ложного отклика, дБ	60			
Значение шума системы (дБ)	4			
Ширина ВЧ диапазона (МГц)	Неизвестна			
Скорость сканирования антенны (об./мин.)	26			
Время сканирования (с)	2,31			
Ширина диаграммы направленности по вертикали (градусы)	22			
Поляризация	Горизонтальная			

ТАБЛИЦА 6

Параметры приемника и передатчика радара В

Параметр	Значение			
Частота (МГц)	3 050 ± 10			
Мощность импульса (кВт)	30			
Границы (нм/и)	0,125–1,5	3–24	48	96
Длина импульса (мкс)	0,070	0,175	0,85	1,0
Частота повтора импульсов, Гц	3 100	1 550	775	390
Ширина диапазона ПЧ (МГц)	22	22	6	6
Подавление ложного отклика, дБ	Неизвестно			
Значение шума системы (дБ)	5,5			
Ширина ВЧ диапазона (МГц)	Неизвестна			
Скорость сканирования антенны (об./мин.)	24/48			
Ширина диаграммы направленности по горизонтали (градусы)	2,8			
Ширина диаграммы направленности по вертикали (градусы)	28			
Поляризация	Горизонтальная			

ТАБЛИЦА 7

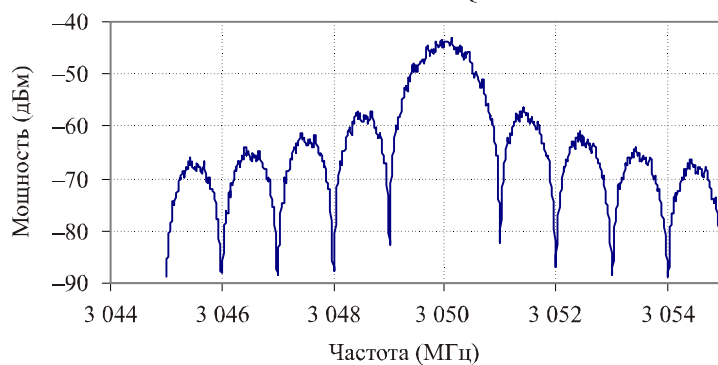
Параметры приемника и передатчика радара С

Параметр	Значение		
Частота (МГц)	3 050 ± 10		
Мощность импульса (кВт)	30		
Границы (нм/и)	0,125–3	6–24	48–96
Длина импульса (мкс)	0,050	0,25	0,80
Частота повтора импульсов, Гц	1 800		785
Ширина диапазона ПЧ (МГц)	20	20	3
Подавление ложного отклика, дБ	Неизвестно		
Значение шума системы (дБ)	4		
Ширина ВЧ диапазона (МГц)	Неизвестна		
Скорость сканирования антенны (об./мин.)	25/48		
Время сканирования (с)	2,31		
Ширина диаграммы направленности по горизонтали (градусы)	2,0		

РИСУНОК 1

Спектр излучения формы сигнала QPSK

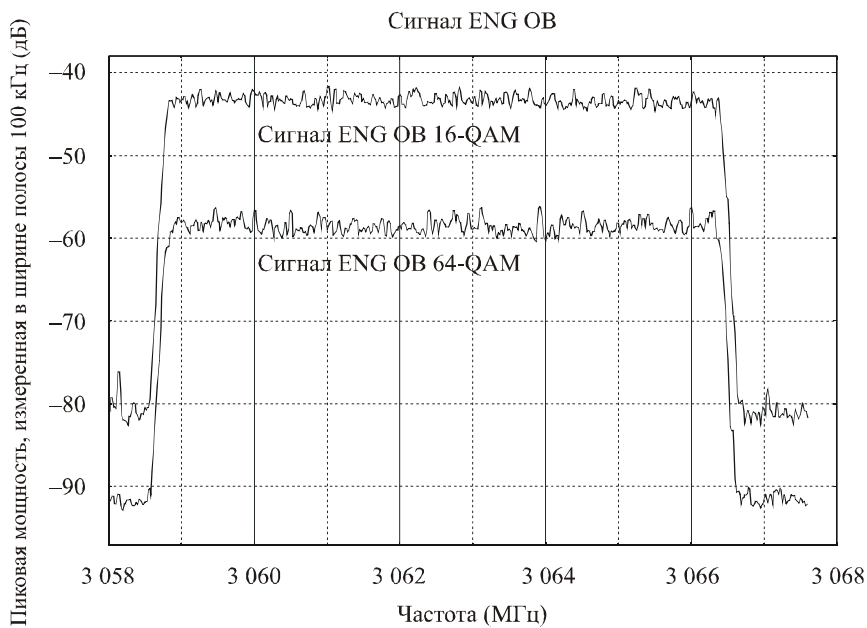
2 Мбит/с сигнал QPSK



1460-01

РИСУНОК 2

Электронный сбор новостей (ENG)/Источник наружного вещания (ОВ)
с типами носителей данных 16 и 64 QAM (ETSI 300 744)

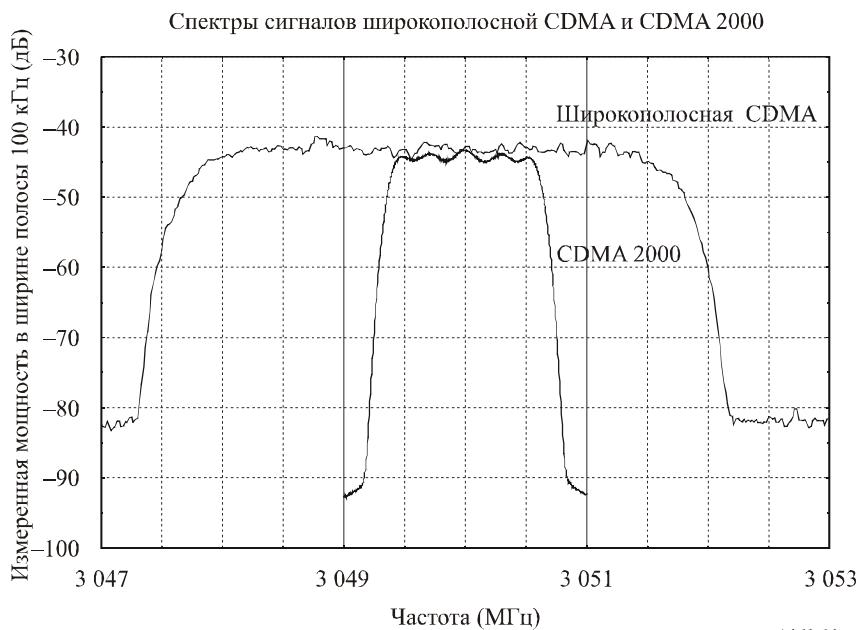


ПРИМЕЧАНИЕ. – Кривые спектра скомпенсированы по амплитуде для графической наглядности.

1460-02

РИСУНОК 3

Сигналы Европейской широкополосной CDMA и CDMA 2000
для Соединенных Штатов/Японии (обратная связь)



1460-03

4 Генерирование сигнала цели без флуктуаций

Комбинация из генераторов сигналов произвольной формы (AWG), генераторов ВЧ-сигналов, дискретных схем, портативных ПК и других РЧ-компонентов (кабелей, блоков сопряжения, блоков объединения и т. д.), была использована для генерации десяти разнесенных на равное расстояние целей вдоль трехмильной радиальной линии, которые имеют одинаковый уровень мощности РЧ-сигнала. Уровень мощности сигнала имитированных целей был отрегулирован так, чтобы вероятность обнаружения цели составила примерно 90%. Десять импульсов цели, запускаемых каждым устройством запуска радара, укладываются в промежуток возвратного сигнала развертки радара для близкого обнаружения, т. е. одного "зондирования". Следовательно, импульсы имитируют мишени вдоль одного радиального направления, т. е. одного пеленга. Для правильной настройки дисплея, мощность РЧ-сигналов генератора цели была выбрана такой, чтобы все десять целей были видны на радиальной линии на дисплее пиксели на дюйм при типичных рабочих настройках видеоаппаратуры радара. Базовые величины программных функций, которые контролировали сопровождение цели – настройка яркости фона, цвета и контрастности, – были найдены испытателями оборудования с помощью производителей и профессиональных моряков, имеющих опыт работы с этими радарными на кораблях различных размеров. Когда эти величины были определены, они использовались в дальнейшем в программе испытаний данного радара.

Система генерации целей дает нефлуктуирующие цели: на любом расстоянии эффективная площадь отражения цели была одинаковой.

5 Результаты испытания

5.1 Радар А

Наблюдения видеоцелей на индикаторе кругового обзора (ИКО) радара производились с помощью излучения, полученного с помощью подключенного к приемнику радара генератора QPSK (квадратурной манипуляции фазовым сдвигом). Уровень мощности излучения (QPSK) был отрегулирован таким образом, чтобы изображение на ИКО соответствовало начальному режиму поиска в ожидании цели.

При регулировке уровня мощности сигнала QPSK, выбирались такие значения, чтобы уровень излучений QPSK не ухудшал работу радара при отображении видеоцелей. Результаты показывают, что влияние сигнала QPSK не было заметно на экране ИКО при уровне мощности примерно -112 дБм (измеренном внутри полосы шириной 3 МГц). Мощность шума приемника радара составляет примерно -104 дБм. Итоговое отношение I/N составляет примерно -8 дБ.

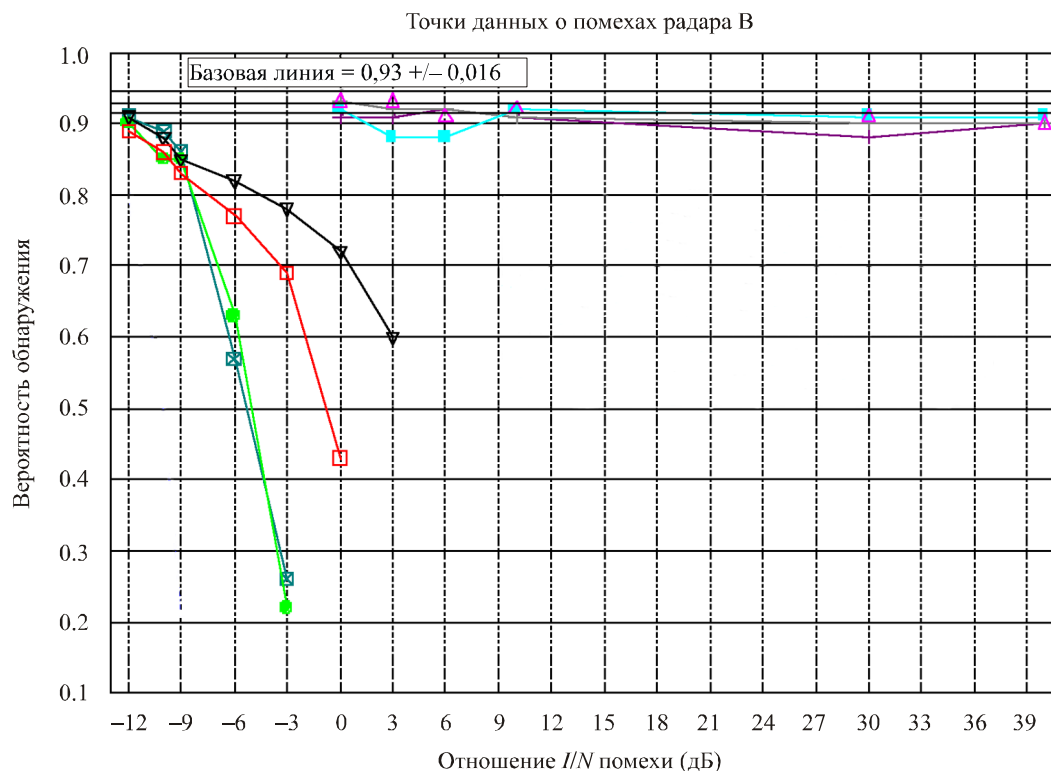
5.2 Радар В

Для радара В можно было наблюдать влияние, которое нежелательные сигналы оказывали на отдельные цели. Для каждого нежелательного сигнала, удалось подсчитать уменьшение видимых на ИКО целей с возрастанием уровня I/N . Подсчеты целей выполнялись на каждом уровне I/N для каждого типа помех. Базовая линия отсчета возможности отслеживания цели строилась до начала каждого испытания. Результаты испытаний радара В представлены на рис. 4, где изображена зависимость обнаружения цели (P_d) от уровня I/N для каждого типа помех. Основная (базовая) линия P_d имеет значение 0,93 с пределами погрешности плюс-минус 0,016 относительно этого значения. Заметим, что каждая точка на рис. 4 соответствует 500 ожидаемым целям.

На рис. 4 показано, что, за исключением случая импульсных помех, для всех нежелательных сигналов, использовавших цифровую модуляцию, вероятность обнаружения цели уменьшалась ниже базовой линии, использовавшейся в этих испытаниях, минус величину, равную стандартному отклонению, для значений I/N , превышавших -12 дБ.

РИСУНОК 4

Кривая Pd (вероятности обнаружения) для радара В



- ⊠ Помехи ENG-OB 64 QAM
- + Импульсные помехи 1 мкс 0,1% dc
- + Импульсные помехи 2 мкс 0,1% dc
- + Импульсные помехи 2 мкс 1% dc
- △ Импульсные помехи 1 мкс 1% dc
- Помехи 16 QAM
- ▽ Помехи CDMA 2000
- Помехи широкополосной CDMA

1460-04

5.3 Радар С

Для радара С возникли трудности с подсчетом уменьшения вероятности обнаружения цели при введении помех в приемник радара. Помехи привели к одинаковому ослаблению сигнала целей с одинаковой скоростью, независимо от того, какое место в последовательности целей они занимали. Оказалось невозможным заставить "исчезнуть" отдельную мишень, увеличивая мощность помех, и подсчитать количество потерянных целей для подсчета вероятности обнаружения. Таким образом, данные, полученные для радара С, показывают, влияет ли на появление всех целей одновременно данный уровень I/N для данного типа помех. Данные для радара С обобщены ниже, в таблицах 8 и 9.

Данные таблицы 8 показывают, что нежелательные сигналы QAM влияли на видимость целей на экране ИКО радара С при уровне I/N , равном -9 дБ. При таком уровне, яркость целей на экране ИКО слегка меркла, по сравнению с первоначальной. При уровнях -6 дБ, они гасли сильнее, и при уровнях I/N выше -3 дБ, яркость уменьшалась настолько, что цели переставали быть видимыми на экране.

Данные таблицы 9 показывают, что нежелательные сигналы CDMA влияли на видимость целей на экране ИКО радара С при уровне I/N , равном -6 дБ. При этом уровне яркость мишеней на ИКО заметно уменьшилась по сравнению с первоначальной. При уровне I/N , равном -3 дБ и выше, яркость становилась настолько малой, что они переставали быть заметны на ИКО.

Для радара С введенные импульсные помехи с длиной импульса 2,0 или 1,0 мкс, и коэффициентом заполнения 0,1 и 1%, не повлияли на видимость мишеней на ИКО при самом высоком значении уровня I/N , равном 40 дБ.

ТАБЛИЦА 8

Радар С с непрерывными помехами ENG/OB

I/N (дБ)	64 QAM	16 QAM
-12	Не влияют	Не влияют
-10	Не влияют	Не влияют
-9	Яркость немного меньше	Яркость немного меньше
-6	Яркость мала	Яркость мала
-3	Цели не видны	Цели не видны
0	Цели не видны	Цели не видны
3	Цели не видны	Цели не видны
6	Цели не видны	Цели не видны

ТАБЛИЦА 9

Радар С при вводе помех CDMA

I/N (дБ)	Широкополосная CDMA	CDMA2000
-12	Не влияют	Не влияют
-10	Не влияют	Не влияют
-9	Не влияют	Не влияют
-6	Цели меркнут	Цели меркнут
-3	Цели не видны	Цели не видны
0	Цели не видны	Цели не видны
3	Цели не видны	Цели не видны
6	Цели не видны	Цели не видны

6 Обобщение результатов испытаний

Испытания радаров проводились при использовании нефлуктуирующих целей и с целью определения для отдельных радаров уровней I/N источников помех, при которых помехи "не влияют" (т. е. радар работает в своих базовых условиях). Необрабатываемые отражения, принимаемые радаром, так называемые "метки", или "сырое видео", которые наблюдались при этих испытаниях, засчитывались, как цели.

"Не влияет" обозначает уровень, относящийся к 90-процентной вероятности обнаружения, и выражен ниже через I/N для каждого радара и источника помех. Результаты обобщены в таблице 10. Определение приемлемого уровня помех для этих типов радаров может быть до некоторой степени субъективно, т. к. зависит от остроты зрения и опытности оператора, который смотрит на экран, подсчитывает цели и определяет яркость метки. Однако из-за особенностей конструкции радара, другого способа проведения испытаний, кроме наблюдения целей оператором/испытателем на экране ИКО, не существует.

ТАБЛИЦА 10

Обобщенные результаты для нефлуктуирующих целей

Источник помех	Радар А	Радар В	Радар С
QPSK	-8	-	-
64 QAM	-	-10	-10
16 QAM	-	-12	-10
Импульсные 0,1	-	+40	+30
Импульсные 1,0	-	+40	+30
CDMA2000	-	-10	-9
CDMA WB	-	-10	-9

Необходимо заметить, что существуют и другие воздействия помех, уменьшающие эффективность работы радара. В качестве примера приведем создание "ложных мишеней". В судовых радарах обычно отсутствует обработка "постоянной ложной тревоги" (CFAR). Только радар А, используемый дополнительно в целях регулирования движения, обладал способностью более сложной обработки CFAR и был способен отображать вычисленные/синтезированные цели.

Результаты этих испытаний показывают, что, когда излучение устройств, использующих цифровую модуляцию, было направлено на протестированные радары, а значение I/N при этом превышало -6 дБ, на ИКО некоторых радаров изображение тускло, пропадало или возникали сигналы ложных целей. При данном значении I/N для других радаров все эти воздействия уже успели проявиться. Пока мы не даем рекомендаций, каким должно быть требуемое значение I/N для других сценариев, кроме рассмотренного ($I/N = -6$ дБ).

Ни один из испытывавшихся типов радаров не устанавливается на прогулочные катера/яхты (pleasure crafts). Устанавливаемые на такие суда радары наиболее многочисленны (в настоящее время в мире их насчитывается более 2 000 000). Устройство радаров подобного типа не позволяет подавлять/обрабатывать сигналы помех, в отличие от радаров А, В и С; отсутствуют также возможности уменьшения помех, описанные в Рекомендации МСЭ-R М.1372. Поэтому для удовлетворения требованиям, помогающим избежать столкновения, могут потребоваться дополнительные меры защиты.

Испытания показали, что радары могут противостоять маломощным циклическим импульсным помехам при высоких уровнях I/N благодаря включению дополнительных схем, уменьшающих воздействие помех близлежащих радаров и/или дополнительной обработке сигнала. Уменьшение воздействия помех от других радаров благодаря корреляторам "сканирование-к-сканированию" или "импульс-к-импульсу" и обработке CFAR, описанным в Рекомендации МСЭ-R М.1372, довольно хорошо себя зарекомендовали. Однако те же способы неприменимы при постоянных или мощных помехах, которые проявляются в приемнике радара в виде шума.

Так как большинство морских радаров, работающих в полосе частот 2900–3100 МГц, очень похожи по устройству и характеристикам, не следует ожидать большого различия в критериях защиты для этих радаров, использованных в испытаниях. Следовательно, результаты, полученные в ходе испытаний, должны быть применимы ко всем схожим радарам, работающим в полосе частот 2900–3100 МГц.

Официальные органы, которые захотели бы провести подобные исследования по совместному использованию частот с целью возможного совместного использования частот в указанном диапазоне, должны пользоваться этими результатами как руководством в своих исследованиях, учитывая, что результаты испытаний, представленные в разделах 5 и 6 и, в частности, в таблице 10, получены на нефлуктуирующих целях. Если бы испытания проводились с флуктуирующими целями, они дали бы, скорее всего, другие результаты.